

**BIS- JA BAS-TEMPERAMENTTIPIIRTEIDEN YHTEYS AIVOJEN
LEPOTILAN AKTIIVISUUTEEN**

Emmi Korhonen
Emilia Ronkainen
Pro gradu -tutkielma
Psykologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Heinäkuu 2021

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Psykologian laitos

KORHONEN, EMMI; RONKAINEN, EMILIA: BIS- ja BAS-temperamenttipiirteiden yhteys

aivojen lepotilan aktiivisuuteen

Pro gradu -tutkielma, 28 sivua

Ohjaaja: Tiina Parviainen

Psykologia

Heinäkuu 2021

Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena selvittää välttämis- ja lähestymiskäyttäytymistä kuvaavien BIS- ja BAS-temperamenttipiirteiden yhteyttä aivojen lepotilan aktiivisuuteen. Aivoaktivaation osalta olimme kiinnostuneita aivojen rytmisen toiminnan ja erityisesti niin kutsutun alfarytmin voimakkuudesta ja taajuudesta. Tutkielman aineisto koostui kahdessa eri tutkimusprojektissa kerätystä MEG-aineistosta ja koehenkilöiden täyttämistä temperamenttikyselyistä. MEG-mittauksista hyödynnettiin lepotilan aikana suoritetuista mittauksista 4 minuutin mittaiset jaksot, joissa koehenkilöt olivat silmät kiinni. Esikäsitellylle MEG-aineistolle suoritettiin lähdeanalyysi, jonka avulla sensoreihin paikantuva aktiivisuus pystyttiin paikantamaan aivokuorelle. Temperamenttipiirteistä luotiin ryhmämuuttujat: BIS-pistemäärien perusteella muodostettiin matalan ja korkean BIS-piirteiden ryhmä, ja BAS-pistemäärien perusteella matalan ja korkean BAS-piirteiden ryhmä. Tilastollisina analyyseina käytettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa, toistomittausten varianssianalyysejä sekä toistomittausten t-testiä.

Temperamenttipiirteiden ja aivojen lepoaktiivisuuden yhteyttä koskevat aikaisemmat tutkimukset ovat keskittyneet aivojen etuosien aktiivisuuden asymmetrian tutkimiseen. Aikaisemmat tutkimustulokset eivät anna vahvaa näyttöä aivojen etuosien aktiivisuuden yhteydestä temperamenttipiirteisiin, minkä lisäksi taemmat aivoalueet huomioivaa tutkimustietoa on niukasti. Siksi tässä tutkimuksessa huomioitiin aktiivisuuden puolierot koko aivokuoren alueelta. Lisäksi lähdemallinnus mahdollisti aikaisempaa tarkemman aktiivisuuden paikantamisen aivokuorelle.

Temperamenttipiirteet eivät korreloineet alfarytmin amplitudin tai taajuuden kanssa. Tulokset osoittivat yhdysvaikutuksen BIS-piirteiden ja alfarytmin voimakkuuden puolieron kanssa ohimolohkoissa. Matalan BIS-piirteiden ryhmässä alfarytmi oli vasemmanpuoleisella ohimolohkolla voimakkaampi kuin oikeanpuoleisella. Lisäksi löytyi yhdysvaikutus BAS-piirteiden ja alfarytmin voimakkuuden puolieron kanssa päälakilohkoissa. Korkean BAS-piirteiden ryhmässä alfarytmi oli oikeanpuoleisella päälakilohkolla voimakkaampi kuin vasemmanpuoleisella. Tulokset antavat viitteitä sille, että BIS- ja BAS-piirteillä on yhteyttä aivojen lepotilan aktiivisuuteen erityisesti paikantuen ohimo- ja päälakilohkoille. Tarkempi tutkimus on kuitenkin tarpeen, koska tulokset olivat uusia ja joiltain osin erilaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa.

Avainsanat: MEG, lepotila, temperamentti, alfarytmi, lähdemallinnus

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 BIS- ja BAS-temperamenttipiirteet	2
1.2 Aivojen lepotila	4
1.3 Aivojen lepotilan yhteys BIS- ja BAS-temperamenttipiirteisiin.....	6
1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	8
2 MENETELMÄT	9
2.1 Tutkittavat	10
2.2 BIS- ja BAS-piirteiden mittarit	10
2.3 MEG-mittaukset	11
2.4 MEG-aineiston analyysi	11
2.5 Tilastolliset analyysit.....	15
3 TULOKSET	15
4 POHDINTA	18
4.1 BIS ja lepotilan aktiivisuus.....	18
4.2 BAS ja lepotilan aktiivisuus	20
4.3 Temperamenttipiirteistä riippumattomat puolierot aivojen lepotila-aktiivisuudessa	21
4.4 Tämän tutkimuksen tuoma lisäarvo ja jatkotutkimusaiheet	21
4.5 Rajoituksia.....	22
4.6 Yhteenvedo.....	23
LÄHTEET.....	24

1 JOHDANTO

Psykologian eri aloilla on jo pitkään oltu kiinnostuneita biologisten tekijöiden yhteydestä psykologisiin ominaisuuksiin. On tutkittu eri persoonallisuus- tai temperamenttipiirteiden yhteyttä neurobiologisiin tekijöihin sekä mielenterveyden häiriöihin. Temperamentilla on vahva biologinen ja geneettinen perusta (Mervielde & De Pauw, 2012). Temperamentti kuvaa yksilöllisiä taipumuksia ilmentää motivaatiota, emootioita ja tarkkaavuuden kohdentamista sekä sitä kautta informaation käsittelyä (Rothbart, 2012).

Yksi tunnetuimmista temperamentin määritelmistä on Grayn vahvistusherkkyysteoria (*reinforcement sensitivity theory*, RST). Teorian mukaan temperamentti koostuu kahdesta piirteestä, joista toinen kuvaa taipumusta lähestymiskäyttäytymiseen ja toinen välttämiskäyttäytymiseen (Gray & McNaughton, 2003). Piirteillä ajatellaan olevan hermostollinen perusta. Lähestymiskäyttäytymisen säätelyyn osallistuvia aivoalueita kutsutaan käyttäytymistä aktivoivaksi systeemiksi (*behavioural activation system*, BAS) ja välttämiskäyttäytymiseen osallistuvia aivoalueita käyttäytymistä jarruttavaksi systeemiksi (*behavioural inhibition system*, BIS). Myöhemmin Gray ja McNaughton (2003) ovat lisänneet teoriaan kolmannen piirteen, joka kuvaa ihmisen reaktiota pelkoa herättävään tilanteeseen. Se on taistele-pakene-lamaannu-systeemi (*fight/flight/freeze system*, FFFS), joka pohjautuu BIS:n sekä BAS:n tapaan hermostoon.

Tutkimalla, missä määrin aivojen toiminnalliset eroavaisuudet yksilöiden välillä ovat yhteydessä BIS- ja BAS-temperamenttipiirteiden kuvaamiin käyttäytymiseroihin, voidaan oppia ymmärtämään paremmin ihmisten reaktioita ja kokemuksia erilaisissa tilanteissa. Myös piirteiden yhteyttä psykopatologiaan on tutkittu ja erilaisia tuloksia niiden yhteydestä muun muassa ahdistuneisuuteen, masentuneisuuteen tai addiktioihin on julkaistu. Lisäksi yhteyksistä muihin piirteisiin, kuten impulsiivisuuteen ja negatiivisiin emootioihin, on aikaisempaa tutkimustietoa. Tutkimalla BIS- ja BAS-piirteiden neurobiologista perustaa voidaan siis mahdollisesti tunnistaa riskitekijöitä psyykkisille ongelmille. Lisäksi voidaan oppia ymmärtämään paremmin aivotoiminnan yhteyttä ihmisen yksilöllisiin tapoihin havainnoida todellisuutta ja toimia erilaisissa tilanteissa.

Temperamentin neurobiologista perustaa voidaan tutkia aivokuvantamismenetelmien avulla. Tässä tutkimuksessa hyödynnämme aivokuvantamismenetelmistä magnetoenkefalografiaa (MEG). MEG:llä pystytään mittaamaan aivojen sähköisen toiminnan aikaansaamia magneettikenttiä (Hansen, ym., 2010). Useissa aikaisemmissa temperamentin ja aivojen lepoaktiivisuuden välistä yhteyttä

käsitlevissä tutkimuksissa kuvantamismenetelmänä on käytetty elektroenkefalografia (EEG). EEG tuottaa samankaltaista informaatiota kuin MEG, mutta on paikannustarkkuudeltaan hieman heikompi (Hansen ym., 2010). Aivoista voidaan mitata lepoaktiivisuutta tilanteessa, jossa henkilö antaa ajatustensa kulkea vapaasti, ilman päämäärää tai suoritettavaa tehtävää (Shephard ym., 2018).

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää, miten BIS- ja BAS-temperamenttipiirteet ovat yhteydessä aivojen rytmiseen toimintaan lepotilassa. Aikaisemmissa tutkimuksissa koeasetelmaa on ohjannut vahva hypoteesi siitä, että otsalohkojen aktiivisuuden puolierot ovat yhteydessä temperamenttipiirteisiin. Siksi EEG-mittauksista on tarkasteltu useimmiten vain aivojen etuosien kanavien mittaamaa aktiivisuutta. Todellisuudessa EEG-mittauksissa havaitun aktiivisuuden lähde saattaa olla muualla kuin aivojen etuosissa. Jotta saataisiin parempi ymmärrys siitä, millä aivoalueilla mitattu aktiivisuus tapahtuu, tarvitaan lähdetason analyysia. MEG-kuvantaminen mahdollistaa aivojen sähköisen toiminnan tarkemman paikantamisen kuin EEG, jolloin lähdetason analyysin tekeminen on mahdollista. Tarkastelemme koko pään alueelta mitatun MEG-datan yhteyttä BIS- ja BAS-temperamenttipiirteisiin. Käytämme lähdetason analyysia, jonka avulla aktiivisuus voidaan paikantaa MEG-laitteen sensoreiden sijasta aivokuoren alueille.

1.1 BIS- ja BAS-temperamenttipiirteet

Grayn määritelmä temperamentille on saanut alkunsa hänen eläinmalleilla toteuttamistaan tutkimuksista (Gray & McNaughton, 2003). Gray on tutkinut ahdistukseen ja pelkoon liittyviä aivoalueita rotilla. Näiden tutkimusten pohjalta on kehitetty vahvistusherkkyysteoria (RST). Teoria perustuu siis neurobiologiaan ja BIS- sekä BAS-piirteiden ajatellaan liittyvän kahteen toisistaan erillään olevaan neuraaliseen järjestelmään, jotka aktivoituvat erilaisissa tilanteissa. Alkujaan Gray on kehittänyt RST:n 1970-luvulla, mutta 2000-luvulla Gray ja McNaughton ovat päivittäneet teoriaa. BAS-piirre on pysynyt päivitetystä teoriasta entisen kaltaisena, mutta BIS-piirteen määritelmä on muuttunut hieman (Zuckerman, 2012).

Alkuperäisen RST:n mukaan BIS-käyttäytymistäipumus kuvaa herkkyyttä tietynlaisille ärsykkeille. Sen ajatellaan aktivoituvan tilanteissa, joissa on rangaistuksen tai palkinnon menettämisen uhka (Gray & McNaughton, 2003). Grayn ja McNaughtonin (2003) uudistetun teorian mukaan BIS-piirre on yhteydessä reaktioiden säätelyyn ristiriitatilanteissa, joihin liittyy jokin uhka, mutta mahdollisesti myös palkkio. BIS-käyttäytymistäipumuksen aktivaation oletetaan aikaansaavan

negatiivisten seurausten arviointia, joten mitä enemmän BIS aktivoituu, sitä todennäköisemmin henkilö pyrkii välttämään riskejä ja negatiivisia seurauksia. Kun BIS aktivoituu, ajatellaan sen herättävän myös ahdistuneisuuden tunnetta.

BAS-käyttäytymistäipumuksen ajatellaan aktivoituvan tilanteissa, joissa on mahdollisuus palkkioon. Sen aktivaatio on yhteydessä lähestymiskäyttäytymiseen sekä odotukseen mielihyväästä (Gray & McNaughton, 2003). Carver ja White (1994) jakavat BAS-piirteen kolmeen alapiirteeseen. Ensimmäinen piirre kuvaa taipumusta tehdä sitkeästi töitä tavoitteiden eteen (*drive*), toinen piirre kuvaa taipumusta tavoitella palkitsevia kokemuksia hetken mielihohteesta ja kuinka voimakkaasti kaipaa uusia palkitsevia kokemuksia (*fun seeking*) ja kolmas alapiirre kuvaa reaktiota tilanteessa, joka on palkitseva tai herättää odotuksia palkkiosta (*reward responsiveness*).

Gray ja McNaughton (2003) ajattelevat BAS-piirteen liittyvän aivojen dopaminergisiin toimintoihin. Dopaminergisiin hermoverkkoihin liittyvien alueiden, eli ventromediaalisen prefrontaalikorteksin (vmPFC) ja ventraalinen tegmentaaliset alueen sekä vmPFC:n ja pihtipoimun etuosan neuraalisten yhteyksien on havaittu olevan yhteydessä BAS-piirteeseen (Adrián-Ventura ym., 2019). Grayn ja McNaughtonin (2003) mukaan BIS-piirre liittyy samoihin aivoalueisiin, jotka ovat yhteydessä ahdistukseen. Heidän mukaansa näitä aivoalueita ovat septohippokampaalinen järjestelmä, mantelitumake, pihtipoimu ja prefrontaalikorteksi. Joitakin funktionaalista magneettikuvausta (fMRI) hyödyntäviä tutkimuksia on tehty BIS-käyttäytymistäipumukseen liittyvistä aivoalueista ja niissä tulokset ovat osittain tukeneet Grayn ja McNaughtonin teoriaa. Aivoalueiden koon yhteyttä BIS-käyttäytymistäipumukseen arvioivassa tutkimuksessa yhteyttä mantelitumakkeen kokoon ei havaittu, mutta hippokampuksen suurempi koko oli yhteydessä korkeampaan BIS-arvoon (Cherbuin ym., 2008).

Yhteyksiä temperamenttipiirteiden ja mielenterveydellisten ongelmien välillä on tutkittu kyselylomakkeisiin pohjautuvien menetelmin. Katzin ja kollegoiden (2020) meta-analyysin perusteella BIS-piirre on positiivisesti yhteydessä ahdistuneisuuteen ja masennukseen, ja BAS-piirre puolestaan negatiivisesti yhteydessä masennukseen. Laajassa amerikkalaisessa tutkimuksessa havaittiin samanlainen yhteys BIS-piirteen ja masennuksen sekä ahdistuksen välillä, lisäksi BAS-käyttäytymistäipumuksen alapiirre, joka liittyy uusien palkitsevien kokemusten kaipaukseen (*fun seeking*) oli yhteydessä alkoholin ja huumeiden käyttöön (Johnson ym., 2003). Kyseisessä tutkimuksessa oli otettu huomioon myös ADHD ja käytöshäiriöt, mutta niiden yhteyttä temperamenttipiirteisiin ei havaittu.

BIS- ja BAS-piirteisiin liittyviä aivoalueita ja käyttäytymistä on alkujaan tutkittu eläinkokeilla (Gray & McNaughton, 2003). Ihmisillä samanlaisia tutkimuksia ei ole mahdollista tehdä ja lisäksi ihmisen käyttäytyminen ja hermosto ovat monimutkaisempia verrattuna Grayn tutkimisiin rottiiin. Siksi

vahvistusherkkyysteorialla ei voida kuvata ihmisen käyttäytymistä yksiselitteisesti. BIS- ja BAS-piirteet kuvaavat taipumuksia reagoida erilaisiin tilanteisiin. Temperamentin lisäksi reaktioihin vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten ympäristö ja aikaisemmat elämäkokemukset (Rothbart, 2012). BIS- ja BAS-temperamenttipiirteiden arviointiin ihmisillä on kehitetty kyselylomake, jolla pystytään arvioimaan piirteiden voimakkuutta eri yksilöillä (Carver & White, 1994). Vaikka kyselylomaketta pidetään luotettavan tapana arvioida piirteitä, se ei yksinään kuvaa piirteiden taustalla olevia neurobiologisia ominaisuuksia.

1.2 Aivojen lepotila

Aivoissa tapahtuu aktiivisuutta myös lepotilassa. Kompleksisuus ja säännönmukaisuus ovat lepotilan aktiivisuudelle ominaisia piirteitä (Raichle & Snyder, 2007). Aivoista voidaan mitata lepotilan aktiivisuutta silloin, kun tutkittava ei ole sitoutunut suorittamaan tiettyä tehtävää tai toimintoa (Shephard ym., 2018). Aivojen lepoaktiivisuus on yhdistetty käyttäytymisen eri piirteisiin sekä tapahtumiin liittyviin kognitiivisiin prosesseihin, kuten tarkkaavuuteen ja muistiin (Burleigh ym., 2020). Myös spontaani ajattelu tapahtuu lepotilan aikana (Christoff ym., 2004).

Aivojen lepotilassa tapahtuvaa aktiivisuutta tutkittaessa on löydetty aivoalueita, joiden muodostama verkosto on aktiivinen lepotilassa, mutta joiden aktiivisuus heikkenee ulospäin suuntautuvien tehtävien aikana (Buckner & Di Nicola, 2019). Näiden aivoalueiden muodostamaa verkostoa, jonka Bucknerin ja Di Nicolan (2019) mukaan ajatellaan muodostuvan useammasta alaverkostosta, kutsutaan nimellä lepotilaverkosto (*default mode network*, DMN). Keskeisimmät DMN:ään kuuluvat aivoalueet ovat ventraalinen mediaalinen prefrontaalikorteksi, dorsaalinen mediaalinen prefrontaalikorteksi, pihtipoimun takaosa, lateraalinen parietaalikorteksi ja entorinaalinen korteksi (Raiche, 2015).

Aivojen lepotilassa esiintyy erilaista rytmistä toimintaa, jota voidaan mitata MEG:llä tai EEG:llä. Rytmisellä toiminnalla tarkoitetaan hermosolujen sähköisten impulssien muodostamaa aktiivisuutta, jota voidaan kuvata taajuuksilla ja amplitudeilla (Hansen ym., 2010). Aivojen toiminnassa säännöllisesti esiintyvien rytmien taajuusalueita on nimetty kreikkalaisin kirjaimin. Esimerkiksi lepotilassa mitatut thetarytmi (4–7 Hz) ja betarytmi (13–30 Hz) ovat yhteydessä riskinottoon päätöksenteossa (Massar ym., 2014). Eniten tutkittu rytmi, joka liittyy myös aivojen lepoaktiivisuuteen (Schneider ym., 2016), on alfarytmi (8–13 Hz). Tutkimusten mukaan alfarytmin

syntymisessä taempana aivoja sijaitseva pariето-okkipitaalinen aivokuori on keskeinen alue (Vanni ym., 1997) ja se saa alkunsa myös talamuksesta ja visuaaliselta aivokuorelta (Bollimunta ym., 2011; Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999).

Alfarytmin ajatellaan olevan käänteisesti yhteydessä aivojen aktivaation määrään, eli mitä voimakkaampi alfarytmi on, sitä vähemmän alueella on aktiivisuutta (Schneider ym., 2016). Alfarytmin voidaankin havaita lisääntyvän erityisesti silloin, kun tutkittavan silmät ovat kiinni (Klimesch, 1999). Klimeschin (1999) mukaan tehtävän aikana alfarytmi puolestaan heikkenee ja mitä vaativampi tehtävä, sitä enemmän alfarytmi on epäsynkronisoitunut. Tutkimusten mukaan epäsynkronisaatio kuvaa visuaalisen aivokuoren lisääntyntä toimintaa, joka on seurausta visuaalisesta ärsykkeestä (Barry ym., 2007). Alfarytmin keskeinen rooli on toimia mekanismina, joka rajoittaa tarkkaavuutta, kun huomio pitää osata siirtää ärsykkeistä pois (Fuxe & Syndre, 2011) eli alfarytmin voisi nähdä osana valikoivaa tarkkaavuutta.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on oltu kiinnostuneita ahdistuneisuuden ja alfarytmin välisestä yhteydestä. Tutkimusten mukaan korkea ahdistuneisuuden taso on yhteydessä korkeampiin alfarytmin tasoihin aivojen lepotilassa kuin vähemmän ahdistuneilla (Knyazev & Slobodskaya, 2003). Ward ja kollegat (2018) olettavat tutkimuksensa perusteella, että voimakkaasti ahdistuneet ovat matalammassa valmiustilassa levossa kuin suorittaessaan inhibitiota vaativaa tehtävää, koska heidän alfarytminsä oli selvästi voimakkaampi lepotilassa kuin tehtävän suorittamisen aikana. Matalampaa ahdistuneisuutta kokevilla ei puolestaan ollut eroa alfarytmin voimakkuudessa lepotilan ja tehtävän aikana. Koska aivojen lepotilan ja tehtävän aikainen alfarytmi on heillä tasapainossa, vähemmän ahdistuneet saattavat olla valmiimpia suorittamaan tehtävää suoraan lepotilasta kuin voimakkaammin ahdistuneet. Joidenkin tutkimusten perusteella aivojen lepotilan alfarytmi saattaa olla vasempaan otsalohkoon painottuvaa ahdistuneilla ja masentuneilla yksilöillä (Thibodeau ym., 2006).

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että yksilölliset erot ja ympäristö voivat olla yhteydessä aivopuoliskojen alfarytmin aktivaation eroihin. Alfarytmin korkeampi asymmetria eli epätasapaino levossa on havaittu olevan yhteydessä populaatiossa yleisesti esiintyviin negatiivisiin tunteisiin (Thibodeau ym., 2006; Tomarken ym., 1992). Lisäksi aivojen lepotilan rytmisessä toiminnassa on havaittu yksilöllisiä eroavaisuuksia, jotka säilyvät samalla yksilöllä samankaltaisena yli ajan (Corsi-Cabrera ym., 2007; Liu ym., 2020). Alfarytmin taajuuden yksilöllisiin eroavaisuuksiin vaikuttavat geneettiset tekijät. Esimerkiksi Smit kollegoineen (2006) on havainnut kaksostutkimuksissa alfarytmin taajuuden heritabiliteetin olevan 80 %. Koska myös temperamentti koostuu suhteellisen pysyvistä piirteistä, on mahdollista, että temperamenttipiirteet ovat yhteydessä erilaisiin aivojen sähköisen toiminnan profiileihin.

1.3 Aivojen lepotilan yhteys BIS- ja BAS-temperamenttipiirteisiin

Useimmissa aikaisemmissa tutkimuksissa on käytetty EEG:tä aivojen rytmisen toiminnan mittaamiseen lepotilassa. Aivojen rytmistä aktiivisuutta pystytään mittaamaan EEG:n lisäksi myös MEG:llä. EEG:llä havaitaan hermosolujen yhtäaikaisen toiminnan luomia sähköisiä kenttiä, mutta niiden mitattavuutta heikentävät sähköjohtavuuden muutokset aivojen, kallon ja päänahan välillä (Hansen ym., 2010). MEG-laite puolestaan mittaa useiden hermosolujen samanaikaisen sähköisen aktivaation aikaansaamia magneettikenttiä, joiden mitattavuuteen muutokset eri kudosten sähköjohtavuudessa eivät vaikuta (Liljeström ym., 2009).

Osassa tutkimuksissa, joissa on tutkittu temperamenttipiirteiden yhteyttä aivoalueiden kokoon tai toiminnallisiin yhteyksiin eri alueiden välillä, on käytetty menetelmänä funktionaalista magneettikuvausta (fMRI). Sen toiminta perustuu aivojen veren virtaukseen sekä veressä olevan hapen määrään (Liljeström ym., 2009). Ajallisesti fMRI ei ole tarkka menetelmä, koska sillä ei voida havaita aivojen sähköistä toimintaa, kuten MEG:llä ja EEG:llä (Glover, 2011). MEG:n etuina ovat hyvä ajallinen tarkkuus ja kohtuullinen paikallinen tarkkuus. Meidän tutkimuksemme MEG sopii menetelmänä parhaiten, sillä se kuvaa fMRI:iin verrattuna paremmin koehenkilön sen hetkistä olotilaa ja mahdollistaa EEG:tä tarkemman aktiivisuuden paikantamisen.

Aivojen lepotilan yhteyttä BIS- ja BAS-temperamenttipiirteisiin on tutkittu eri tavoin ja tulokset ovat olleet vaihtelevia. Useissa tutkimuksissa on huomioitu vain aivojen etuosissa esiintyvä aktivaatio. Mielenkiinto aivojen etuosien aktivaatioon on syntynyt Davidsonin (1992) teoriasta, jonka mukaan oikeanpuoleisen aivokuoren etuosista mitattu voimakkaampi alfarytmi olisi yhteydessä lähestymiskäyttäytymiseen ja vasemmanpuoleisen aivokuoren etuosista mitattu voimakkaampi alfarytmi olisi puolestaan yhteydessä välttämiskäyttäytymiseen. Teorian perusteella aikaisemmissa tutkimuksissa hypoteesina on ollut BAS-piirteen yhteys voimakkaampaan vasemmanpuoleiseen aktivaatioon ja BIS-piirteen yhteys voimakkaampaan oikeanpuoleiseen aktivaatioon. Aiemmissä tutkimuksissa, joissa on havaittu BIS- ja BAS-piirteiden olevan yhteydessä aivojen etuosien asymmetriaan, on ajateltu, että BIS-piirre olisi yhteydessä Davidsonin (1992) ehdottamaan vetäytymissysteemiin (*withdrawal motivation system*). Harmon-Jonesin ja Allenin (1997) tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu BIS-piirteellä olevan yhteyttä otsalohkojen aktiivisuuden asymmetriaan, joten piirteen ei oletettu olevan yhteydessä tähän vetäytymissysteemiin. Myöskään muissa aivojen etuosia koskevissa tutkimuksissa ei olla aina löydetty yhteyttä aivojen lepotilan ja

temperamenttipiirteiden välillä (Schneider ym., 2016). On kuitenkin tärkeää tutkia myös muita aivoalueita ja niiden aktivaation yhteyttä temperamenttiin. Tutkimusten heikkoutena on ollut myös se, että niissä ei olla huomioitu aivoista mitattuja signaaleja tarpeeksi monipuolisesti, eikä analyyseissa olla käytetty paikannusmenetelmiä.

Balconin ja kollegoiden (2017) tutkimuksessa, jossa käytettiin menetelmänä EEG:n lisäksi fNIRS-kuvantamista todettiin, että voimakkaampi oikeanpuoleinen aivojen etuosista lepotilan aikana mitattu alfarytmi on yhteydessä korkeampaan BAS-arvoon. Lisäksi myös voimakkaamman vasemmanpuoleisen aivojen etuosista lepotilan aikana mitatun alfarytmin todettiin olevan yhteydessä korkeampaan BIS-arvoon. Muut EEG-tutkimukset eivät anna tieteellistä tukea sille, että BIS-piirre olisi yhteydessä voimakkaampaan vasemmanpuoleiseen lepotilassa mitattuun alfarytmiin (De Pascalis ym., 2018; Hewig ym., 2005; Schneider ym. 2016). Sen sijaan BAS-piirteen ja voimakkaamman oikeanpuoleisen alfarytmin yhteys on havaittu useammassa tutkimuksessa. Esimerkiksi myös De Pascalis ja kollegat (2013) ovat EEG-tutkimuksessaan havainneet BAS-piirteen olevan yhteydessä voimakkaampaan oikeanpuoleiseen aivojen etuosien alfarytmiin. Tosin uudemmassa tutkimuksessa De Pascalis ja kollegat (2018) havaitsivat vain yhden BAS-käyttäytymistäipumuksen alapiirteen olevan yhteydessä voimakkaampaan oikeanpuoleiseen aivojen etuosien alfarytmiin. Näyttäisi kuitenkin siltä, että BAS-piirteen ja voimakkaamman oikeanpuoleisen alfarytmin yhteydelle löytyy hieman enemmän tieteellistä näyttöä kuin BIS-piirteen ja voimakkaamman vasemmanpuoleisen alfarytmin yhteydelle. Tämän perusteella tutkimustulokset eivät kuitenkaan tue vahvasti teoriaa otsalohkojen aktiivisuuserojen yhteydestä BIS- ja BAS-piirteisiin. Näissä tutkimuksissa mielenkiinnonkohteena on ollut nimenomaan alfa-aktiivisuus ja muiden aivojen sähköisen toiminnan taajuuksien yhteyksiä Grayn temperamenttipiirteisiin on tutkittu hyvin vähän.

Aikaisempaa tutkimustietoa, jossa olisi otettu huomioon koko pään alueelta mitattu lepotila-aktiivisuus ja tutkittu sen yhteyttä Grayn temperamenttipiirteisiin, on niukasti saatavilla. Schneider ja kollegat (2016) tutkivat EEG:llä mitatun lepotila-aktivaation sekä BIS- ja BAS-piirteiden korrelaatiota ottaen huomioon otsa-, päälaki- ja takaraivolohkojen alueilla sijaitsevien elektrodien mittaustulokset. Pieni positiivinen korrelaatio takaraivolohkon voimakkaamman vasemmanpuoleisen aktivaation ja BIS-pistemäärän väliltä havaittiin tässä tutkimuksessa. Tämä antaisi viitteitä siitä, että takaraivolohkolla sijaitseva aivojen lepotilassa mitattu alfarytmi olisi yhteydessä BIS-piirteeseen ja korkeamman BIS-pistemäärän saaneilla aktiivisuus olisi voimakkaampaa vasemmalla aivopuoliskolla. Lepotila-aktiivisuuden yhteys BIS- ja BAS-piirteisiin on kuitenkin edelleen epäselvä. Siksi olisi tarvetta tutkia lepotila-aktiivisuuden ja temperamenttipiirteiden yhteyttä uudentalaisista näkökulmista.

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena paikantaa lepotilan alfarytmi ja tutkia sen mahdollisia yhteyksiä temperamenttiin MEG:llä mitatun aineiston avulla tarkemmin kuin aiemmissa tutkimuksissa. Analysoimme aineistoa lähdetasolla koko pään alueelta, jotta saadaan monipuolisempi kuva alfarytmin sijoittumisesta eri puolille aivokuorta.

1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, löytyykö aivojen lepotilassa mitatun alfarytmin voimakkuutta kuvaavan amplitudin ja taajuuden keskiarvoissa aivopuoliskojen välistä eroa eri aivoalueilla. Tutkimme vaikuttavatko BIS- tai BAS-pistemäärät mahdolliseen aivopuoliskojen väliseen alfarytmin puolieroon. Tiedon aivopuoliskojen aktivaatiosta saimme mallintamalla lähdetasolla MEG-kanavilta mitatun aivodatan, ja tarkastelussa keskityimme erityisesti aivopuoliskojen välillä paikallisesti symmetrisiin aktivaatioihin. Tutkimme myös, onko aivopuoliskojen välillä temperamenttipiirteistä riippumattomia puolieroja alfa-aktiivisuuden suhteen. Lisäksi testasimme korreloivatko alfarytmin amplitudi tai taajuus BIS- tai BAS-piirteiden kanssa. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Onko lepotilan alfarytmi yhteydessä temperamenttiin?
2. Onko oikean- ja vasemmanpuoleisten aivolohkojen välillä eroa alfarytmin amplitudissa ja taajuudessa?

Aikaisemman tutkimuksen perusteella ahdistuneisuudella ja masennuksella on yhteyttä voimakkaampaan lepotilan alfarytmiin erityisesti vasemmanpuoleisessa otsalohkossa. BIS-piirteiden on puolestaan havaittu olevan yhteydessä ahdistuneisuuteen ja masennukseen. Davidsonin (1992) teorian mukaan välttämiskäyttäytyminen on yhteydessä voimakkaampaan vasemmanpuoleiseen aivojen etuosien alfarytmiin, ja taipumus lähestymiskäyttäytymiseen on yhteydessä voimakkaampaan oikeanpuoleiseen aivojen etuosien alfarytmiin. Myös Thibodeaun ja kollegoiden (2006) mukaan ahdistukseen taipuvaisilla ja korkean BIS-pistemäärän saavilla alfarytmi on voimakkaampaa vasemmanpuoleisessa otsalohkossa. Ensimmäisenä hypoteesina on, että korkeat BIS-pistemäärät ovat yhteydessä voimakkaampaan alfarytmiin erityisesti vasemmanpuoleisessa otsalohkossa, ja

korkeat BAS-pistemäärät ovat yhteydessä voimakkaampaan alfarytmiin erityisesti oikeanpuoleisessa otsalohkossa.

Aikaisemmat tutkimukset koskien taempia aivokuoren alueita ovat vähäisiä. Toisena hypoteesina on, että taemmiltakin alueilta löytyy kuitenkin temperamenttipiirteisiin yhteydessä olevia puolieroja, sillä alfarytmin on havaittu saavan alkunsa aivojen takaosissa parieta-okkipitaaliselta aivokuorelta. Myös Schneiderin ja kollegoiden (2016) tutkimustulokset antavat viitettä sille, että ainakin BIS-piirteiden ja alfarytmin väliltä voi löytyä yhteyksiä aivojen taaemmista osista. Koska aikaisemmat tutkimustulokset ovat vähäisiä, emme tee oletuksia siitä, minkä suuntaisia puolieroja aktiivisuudesta havaitaan.

Kolmas hypoteesi koskee toista tutkimuskysymystä eli temperamenttipiirteistä riippumatonta alfa-aktiivisuuden asymmetriaa. Oletamme aiempaan tutkimukseen nojaten (Ward ym., 2018), että oikeasta aivopuoliskosta löytyy voimakkaampi alfarytmi temperamenttipiirteistä riippumatta.

2 MENETELMÄT

Tutkimuksemme aineisto koottiin kahdesta eri tutkimuksesta, joista toinen liittyi meditaatioon ja toinen interoseptioon eli aistihavaintoon kehon sisäisestä tilasta (Kehotietoisuus, aivot ja liikunta). Meditaatiotutkimus toteutettiin Aalto yliopiston, Helsingin yliopiston ja Jyväskylän yliopiston yhteistyönä. Interoseptioon liittyvä tutkimusprojekti alkoi syksyllä 2015 ja sen toteutti Jyväskylän yliopiston Monitieteinen Aivotutkimuskeskus yhteistyössä Psykologian laitoksen sekä Liikuntatieteellisen tiedekunnan kanssa.

Tässä tutkimuksessa hyödynsimme näissä aikaisemmissa tutkimuksissa koottua aineistoa lepotilamittauksien sekä temperamenttipiirteitä mittaavien kyselylomakkeiden tulosten osalta. Näiden tutkimusten tutkimussuunnitelmat olivat saaneet Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta puoltavan lausunnon.

2.1 Tutkittavat

Meditaatiota koskevan tutkimushankkeen MEG-mittauksiin osallistui 29 koehenkilöä, jotka olivat iältään 21–48-vuotiaita. Tähän tutkimukseen otoksesta hyödynnettiin 24 (9 naista) koehenkilön mittaustuloksia. Yhden koehenkilön mittaustulokset poikkesivat merkittävästi muista mittauksista, eikä niitä sen vuoksi voinut ottaa mukaan analyysiin. Lisäksi neljän henkilön osalta mittaustilanteeseen liittyvien teknisten ongelmien takia mittaustulokset jouduttiin jättämään pois tästä tutkimuksesta.

Interoseptiota koskevassa tutkimushankkeessa oli mukana yhteensä 71 tutkittavaa. Tutkittavat olivat 18–35-vuotiaita ja heidät rekrytoitiin opiskelijoiden sähköpostilistojen sekä ilmoitustauluilla olevien ilmoitusten avulla Jyväskylän yliopistosta sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulusta. Tässä tutkimuksessa otoksesta hyödynnettiin 47 tutkittavan (24 naista) aineistoja, sillä heidän osaltansa oli saatavilla sekä temperamenttikyselyiden vastaukset että MEG-mittaukset.

Lopulliseksi otoskooksi saatiin siis 71 (33 naista, 18–48-vuotiaita). Molemmissa tutkimuksissa tutkittavat olivat perusterveitä, eikä heillä ollut aikaisempaa historiaa neurologisista sairauksista.

2.2 BIS- ja BAS-piirteiden mittarit

Tämän tutkimuksen temperamenttia koskeva aineisto on kerätty käyttämällä Carverin ja Whitesin (1994) BIS/BAS skaaloja. Tutkittavia pyydettiin vastaamaan 20:een Likert-asteikolliseen kysymykseen, joissa oli neliportainen vastausasteikko (1 = “vahvasti eri mieltä” ja 4 = “vahvasti samaa mieltä”). Kysely sisältää yhden mittarin BIS-piirteelle (7 osiota, $\alpha = .77$) eli *Inhibition Activity* sekä kolme alapiirrettä BAS-piirteelle eli *Drive* (4 osiota, $\alpha = .76$), *Fun Seeking* (4 osiota, $\alpha = .71$) ja *Reward Responsiveness* (5 osiota, $\alpha = .73$). Tässä tutkimuksessa emme ottaneet erikseen huomioon BAS-piirteiden kolmea alapiirrettä, vaan käytimme näistä yhteenlaskettua BAS-pistemäärää.

2.3 MEG-mittaukset

Kaikilta tutkittavilta mitattiin aivojen lepoaktivaation rytmistä toimintaa MEG:llä (Elekta Neuromag, TRIUX) koko pään kattavalla, 306-kanavaisella MEG-kypärällä. Mittauksessa käytettiin 1000 Hz mittaustiheyttä tuottaen 306 aikasarjaa. Sekä interoseptiota että meditaatiota koskevien tutkimushankkeiden MEG-mittaukset suoritettiin Jyväskylän monitieteisessä aivotutkimuskeskuksessa.

Meditaatiotutkimuksessa jokaiselta tutkittavalta mitattiin 30 minuutin MEG-aineisto. Mittausten alussa ja lopussa oli 2 minuutin lepoilajaksot, joiden välissä oli kolme 8 minuutin tehtävää. Sen lisäksi mitattiin vielä erillinen 8 minuutin mittainen lepoilajakso, josta 4 minuuttia koehenkilö oli silmät auki ja 4 minuuttia silmät kiinni. Interoseptiota koskevassa tutkimuksessa tutkittavilta mitattiin yhteensä 12 minuuttia kestävä lepoilajakso, josta 8 minuuttia heitä pyydettiin olemaan silmät auki ja 4 minuuttia silmät kiinni. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin molempien tutkimusten osalta 4 minuuttia kestäneitä mittauksia, joiden aikana koehenkilöt olivat silmät kiinni.

2.4 MEG-aineiston analyysi

Esikäsittely

MEG-aineisto esikäsiteltiin signal-space separation -menetelmällä (MAXFilter 3.0; MEGIN Oy, Helsinki, Finland), jolla poistettiin ulkopuolisten magneettikenttien aiheuttamat häiriöt mittaustuloksista. Koehenkilöiden välillä pään asento voi olla erilainen suhteessa MEG-laitteen kypärään. Näiden asentoerojen sekä pään liikkeiden vaikutusta mittaustuloksiin kompensoitiin käyttämällä MAXFilter-ohjelmaa. Silmien liikkeistä ja räpäytyksistä sekä sydämen sykkeestä aiheutuu häiriötä MEG-signaaliin, joten niiden aiheuttamat muutokset signaalissa on poistettava ennen lopullista analyysia. Tämä toteutettiin puoliautomaattisesti käyttämällä riippumattomien

komponenttien analyysia (*independent component analysis*, ICA). Aineiston käsittely toteutettiin MNE-Pythonilla.

Lähdemallinnus

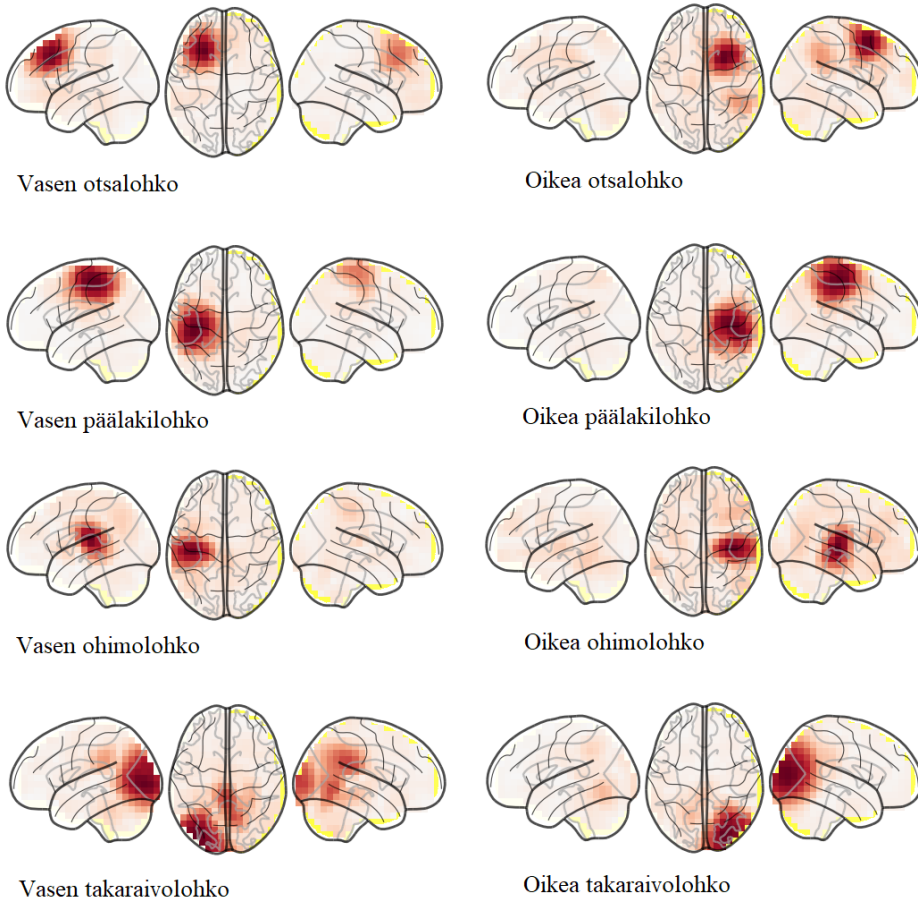
Esikäsitellylle MEG-aineistolle tehtiin lähdeanalyysi, jonka avulla sensoreilla mitattu aktiivisuus pystyttiin paikantamaan aivokuorelle. Eri kohtia aivokuorella edustavat vokselit, jotka muodostavat kolmiulotteisen esityksen aivokuoresta.

Lähdeanalyysia varten jokaiselta koehenkilöltä digitalisoidut pään mittapistet sijoitettiin keskiarvotettuun pään malliin ja sovitettiin yhdenmukaisiksi. Keskiarvotettu pään malli saatiin FreeSurfer –ohjelmistopakettista ja sovittaminen tehtiin käyttäen MNE-Pythonin coregistration-toimintoa. Muodostettuihin pään mallinnoksiin tehtiin varsinainen lähteiden paikantaminen. Lopulta MEG-analyysissa oleva käänteisongelma ratkaistiin käyttäen miniminormiestimaattia (*minimum norm estimate*), jossa kohinan normalisointiin hyödynnettiin dynamic Statistical Parametric Mapping -algoritmia (dSPM).

Spektrianalyysi

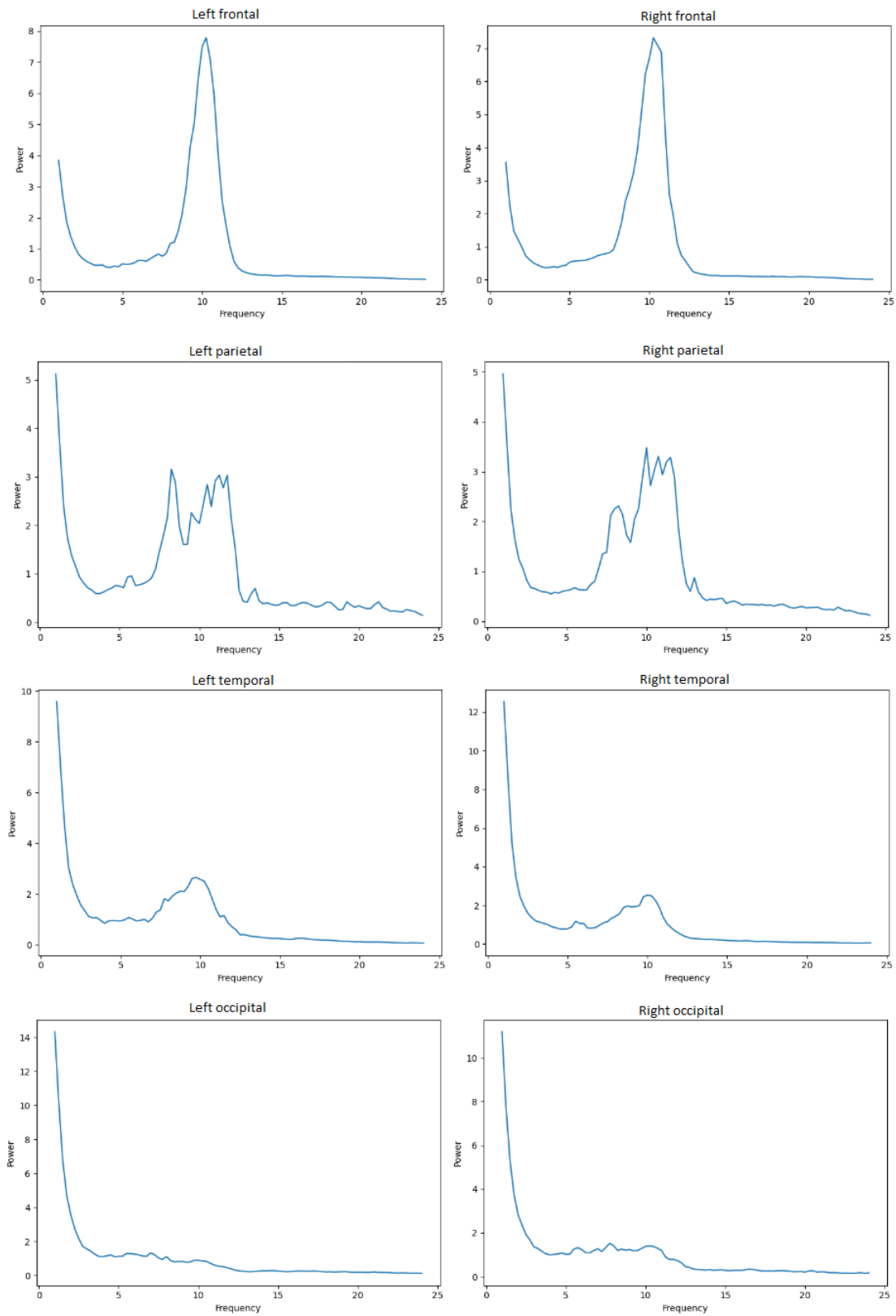
Vokseleihin paikannetut aikasarjat muunnettiin aika-voimakkuus- sekä aika-voimakkuus-taajuus –esityksiksi. Ryhmä-ICA-analyysia käyttämällä aineistosta muodostui kahdeksan komponenttia, jotka näyttivät karkeasti ottaen edustavan vasemman- ja oikeanpuoleisten aivopuoliskojen alueita: “oikea otsalohko”, “vasen otsalohko”, “oikea päälakilohko”, “vasen päälakilohko”, “oikea ohimolohko”, “vasen ohimolohko”, “oikea takaraivolohko” ja “vasen takaraivolohko” (KUVIO 1).

KUVIO 1. Komponenttien sijainnit.



Jokainen komponentti kuvaa kullekin alueelle ominaista aivojen sähköisen toiminnan spektriä (KUVIO 2). Spektri kuvaa aivojen rytmisen toiminnan voimakkuutta jakautuneena taajuuksien yli. Koska tässä tutkimuksessa keskityttiin aivojen alfarytmiin, spektristä laskettiin, mikä taajuus on voimakkain lähellä 10 hertsiä ja kuinka voimakkaana kyseinen taajuus esiintyy. Näin saatiin alfarytmin taajuutta kuvaava arvo (Hz) sekä alfarytmin voimakkuutta kuvaava arvo (amplitudi) jokaista komponenttia kohden.

KUVIO 2. Keskiarvotetut spektrit aivolohkoja edustavissa komponenteissa.



2.5 Tilastolliset analyysit

Muuttujien jakauman normaalisuutta tutkittiin Kolmogorov-Smirnov- ja Shapiro-Wilk -testien avulla. Temperamenttipiirteistä vain BIS jakautui normaalisti, joten BIS- ja BAS-piirteiden korrelointia keskenään testattiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. BIS- ja BAS-piirteiden yhteyttä alfarytmin voimakkuuteen ja taajuuteen testattiin tutkimalla kunkin komponentin taajuuden ja amplitudin sekä temperamenttipiirteiden välistä korrelaatiota.

Lisäksi taajuuden ja amplitudin puolieroja vasemman ja oikean aivopuoliskon välillä tarkasteltiin temperamenttipiirteiden perusteella muodostetuissa ryhmissä toistomittausten varianssianalyysillä. Varianssianalyysia varten koehenkilöt jaettiin BIS-piirteen suhteen kahteen ryhmään (matala BIS ja korkea BIS) sekä BAS-piirteen suhteen kahteen ryhmään (matala BAS ja korkea BAS). BIS- ja BAS-pisteet jaettiin korkean ja matalan tason ryhmiin mediaanin perusteella. Alfarytmin voimakkuuden ja taajuuden eroja eri aivokuoren alueilla tutkittiin toistomittausten varianssianalyysillä, joka suoritettiin jokaiselle alueelle erikseen. Riippuvina muuttujina varianssianalyysissa olivat alfarytmin taajuus ja amplitudi, ryhmän sisäisinä faktoreina (*within subject factor*) olivat oikea ja vasen aivopuolisko sekä ryhmämuuttujana (*between subjects factor*) oli korkea ja matala BIS tai korkea ja matala BAS.

Jos toistomittausten varianssianalyysissa havaittiin yhdysvaikutus BIS- tai BAS-ryhmän sekä oikean- ja vasemmanpuoleisen amplitudin tai taajuuden välillä, testasimme toistomittausten t-testillä korkean tai matalan BIS- tai BAS-ryhmän sisällä aivopuoliskojen välistä eroa. Tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS Statistics 26 -ohjelmaa.

3 TULOKSET

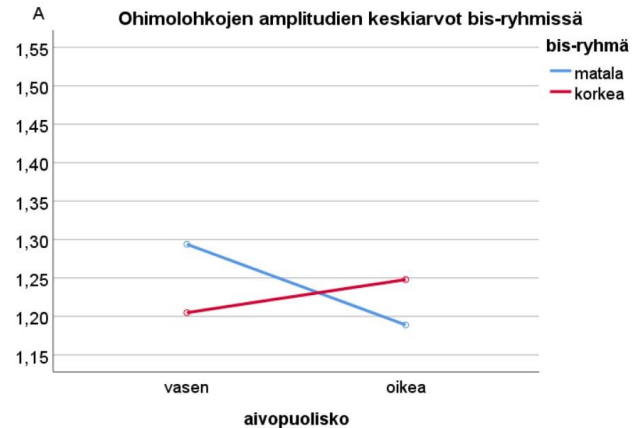
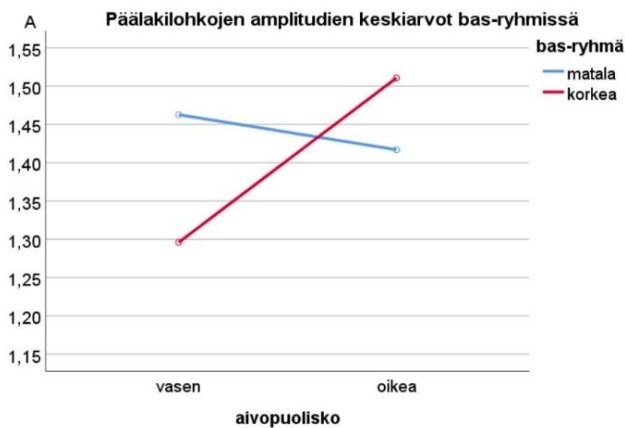
Temperamenttipiirteiden ja alfarytmin amplitudin tai taajuuden välistä korrelaatiota testattiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käyttäen, sillä vain osa muuttujista jakautui normaalisti. Tilastollisesti merkitsevää yhteyttä minkään aivokuoren alueen aktiivisuuden ja BIS- tai BAS-pistemäärien välillä ei havaittu.

Toistomittausten varianssianalyysejä käyttäen havaittiin aivopuoliskolla olevan tilastollisesti merkitsevä päävaikutus amplitudiin takaraivolohkojen komponenteissa ($F(1, 69) = 14.96, p < .001$) ja otsalohkojen komponenteissa ($F(1, 687) = 24.69, p < .001$). Takaraivolohkoissa aivopuoliskon päävaikutuksen suuruus (p^2) oli 0.18 ja otsalohkoissa 0.26. Molempien lohkojen alfa-komponentti oli voimakkaampi oikealla puolella. Tilastollisesti merkitsevä aivopuoliskon päävaikutus taajuudessa löytyi otsalohkojen komponenttien väliltä ($F(1, 69) = 6.34, p < .05$). Taajuuden osalta otsalohkoissa aivopuoliskon päävaikutuksen suuruus (p^2) oli 0.08. Oikeanpuoleisen otsalohkon alfa-komponentin taajuus oli keskiarvoltaan korkeampi kuin vasemmanpuoleisen.

Toistomittausten varianssianalyyseillä löydettiin kaksi tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta päälaki- ja ohimolohkoissa, joista molemmat liittyivät alfarytmin amplitudiin. Otsa- ja takaraivolohkojen amplitudin osalta aivopuoliskon ja BIS- tai BAS-ryhmän yhdysvaikutusta ei löytynyt. Taajuuksien osalta yhdysvaikutuksia (aivopuolisko*BIS-ryhmä tai aivopuolisko*BAS-ryhmä) ei löytynyt. Aivopuoliskon ja BIS-ryhmän yhdysvaikutus löytyi ohimolohkoilta, eli oikean ja vasemman ohimolohkon komponenttien välinen ero alfarytmin voimakkuudessa oli erilainen korkean ja matalan BIS-piirteen ryhmissä ($F(1, 69) = 5.90, p < .05$). Yhdysvaikutuksen suuruus (p^2) oli 0.08. Keskiarvoeroja tutkittiin toistomittausten t-testillä. T-testin tulos osoitti, että ohimolohkoissa alfa-komponentin voimakkuusero aivopuolisko-ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä matalan BIS-ryhmän sisällä ($t(32) = 2.069, p < .05$). Efektikoon suuruus matalassa BIS-ryhmässä oli kuitenkin pieni ($d = .224$). Korkean BIS-ryhmän sisällä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää keskiarvoeroa ($t(37) = -1.199, p = .238$). Kuviossa 3 näkyy, että matalaan BIS-ryhmään kuuluvilla vasemmassa ohimolohkossa alfa-komponentin voimakkuus oli suurempi kuin oikeassa ohimolohkossa. Kuviossa näkyvä puoliero korkeaan BIS-ryhmään kuuluvilla taas ei ole riittävän suuri ollakseen tilastollisesti merkitsevä.

Myös päälakilohkojen alfarytmin amplitudiin vaikutti aivopuoliskon ja BAS-ryhmän välinen yhdysvaikutus ($F(1, 69) = 5.02, p < .05$). Yhdysvaikutuksen suuruus (p^2) oli 0.07. Toistomittausten t-testi osoitti, että päälakilohkoissa alfa-komponentin voimakkuusero aivopuolisko-ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä korkean BAS-ryhmän sisällä ($t(36) = -2.557, p < .05$), mutta ei matalan BAS-ryhmän sisällä ($t(33) = .574, p = .570$). Efektikoon suuruus korkeassa BAS-ryhmässä oli pieni ($d = .320$). Korkeaan BAS-ryhmään kuuluvilla alfa-komponentti on voimakkaampi oikeanpuoleisessa päälakilohkossa verrattuna vasemmanpuoleiseen (KUVIO 4).

KUVIO 3. Ohimolohkojen amplitudin keskiarvo BIS-ryhmissä. KUVIO 4. Päälakilohkojen amplitudin keskiarvo BAS-ryhmässä.



TAULUKKO 1. Alfarytmin amplitudin (A) ja taajuuden (f) keskiarvot ja keskihajonnat oikeassa ja vasemmassa aivopuoliskossa

Temperamentti -ryhmät aivoalueittain	Vasen aivopuolisko				Oikea aivopuolisko			
	A		f		A		f	
	ka	kh	ka	kh	ka	kh	ka	kh
Takaraivolohko								
BIS1 (n = 33)	2,01	0,59	10,2	0,6	2,13	0,53	10,16	0,7
BIS2 (n = 38)	1,98	0,56	9,85	0,96	2,09	0,53	10,03	0,94
BAS1 (n = 34)	2,08	0,51	10,13	0,85	2,22	0,49	10,2	0,85
BAS2 (n = 37)	1,92	0,61	9,9	0,8	2,01	0,55	9,99	0,82
Ohimolohko								
BIS1	1,29	0,46	9,75	1,16	1,19	0,48	9,79	1,04
BIS2	1,2	0,43	9,7	1,48	1,25	0,41	9,72	1,09
BAS1	1,27	0,46	9,85	1,22	1,22	0,42	9,94	0,95
BAS2	1,23	0,43	9,6	1,43	1,22	0,47	9,58	1,14
Päälakilohko								
BIS1	1,26	0,57	10	1,33	1,39	0,68	10,17	1,52
BIS2	1,48	0,75	9,91	1,53	1,53	0,7	9,95	1,42
BAS1	1,46	0,71	10,04	1,31	1,42	0,69	10,18	1,52
BAS2	1,3	0,6	9,87	1,55	1,51	0,7	9,93	1,41
Otsalohko								
BIS1	0,8	0,26	9,57	1,15	0,91	0,38	9,99	1,4
BIS2	0,72	0,29	9,51	1,27	0,93	0,39	9,92	1,1
BAS1	0,76	0,29	9,43	1,16	0,9	0,39	10,04	1,2
BAS2	0,75	0,26	9,63	1,26	0,94	0,38	9,87	1,29

4 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin BIS- ja BAS-temperamenttipiirteiden yhteyttä aivojen lepotilan aktiivisuuteen. Aivojen lepoaktiivisuuden osalta oltiin kiinnostuneita alfarytmin taajuudesta ja amplitudista. Aiemmat tutkimukset ovat löytäneet vaihtelevia tuloksia temperamentin ja aivojen lepotilan suhteen, ja tutkimukset ovat painottuneet otsalohkoihin. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia temperamentin ja aivojen lepotilan välistä yhteyttä monipuolisemmin huomioimalla koko aivokuoren alueen lepotilan aktiivisuus.

Ensimmäinen hypoteesi otsalohkojen aktiivisuuden yhteydestä temperamenttipiirteisiin kumoutui. Otsalohkojen alfa-aktiivisuudella ei havaittu olevan ollenkaan yhteyttä temperamenttipiirteisiin. Toinen hypoteesi sai vahvistusta, sillä temperamenttipiirteisiin yhteydessä olevia alfa-aktiivisuuden puolieroja havaittiin kuitenkin taemmilla aivokuoren alueilla: ohimo- ja päälakilohkoilla. Kolmas hypoteesi sai myös vahvistusta, sillä temperamenttipiirteistä riippumaton voimakkaampi oikeanpuoleinen alfarytmi löytyi otsa- ja takaraivolohkoista.

Tässä tutkimuksessa BIS- ja BAS-piirteet eivät korreloineet alfarytmin amplitudiin tai taajuuteen. BIS-piirteellä havaittiin kuitenkin olevan vaikutusta ohimolohkoissa alfarytmin aivopuoliskojen väliseen tasapainoon. Päälakilohkoissa taas havaittiin BAS-piirteellä olevan vaikutusta alfarytmin tasapainoon aivopuoliskojen välillä. Otsa- ja takaraivolohkoilla temperamenttipiirteiden vaikutusta aktiivisuuden puolieroihin ei havaittu.

4.1 BIS ja lepotilan aktiivisuus

Matalan BIS-pistemäärän saaneilla henkilöillä oli voimakkaampi alfarytmi vasemmanpuoleisella ohimolohkolla verrattuna oikeanpuoleiseen ohimolohkoon. Korkean BIS-ryhmän sisällä ei ollut havaittavissa merkitseviä puolieroja.

Ensimmäisen hypoteesin mukaan oletimme, että korkea BIS-pistemäärä olisi yhteydessä suurempaan vasemmanpuoleiseen amplitudiin. Hypoteesia puoltavat aikaisemmat tutkimukset masennukseen ja ahdistuneisuuteen liittyvistä alfa-aktiivisuuden puolieroista. BIS-piirteen on havaittu olevan yhteydessä ahdistukseen ja masentuneisuuteen (Johnson ym., 2003). Thibodeaun ja

kollegoiden (2006) toteuttamassa meta-analyysissä todettiin, että sekä masentuneilla että ahdistuneilla on havaittavissa korkeampi alfarytmin amplitudi vasemmanpuoleisessa otsalohkossa. Kuitenkaan henkilöillä, joilla oli masennusta ja ahdistusta yhtäaikaaisesti ei ollut havaittavissa puolieroja aktiivisuudessa. Tässä tutkimuksessa korkean BIS-ryhmän sisällä ei ollut havaittavissa merkitseviä puolieroja alfarytmin amplitudissa. Matalan BIS-ryhmän sisällä löytyi puoliero ohimolohkoissa. Puolieron voi ajatella olevan hypoteesin vastainen, sillä matalat BIS-pisteet saaneilla amplitudi oli korkeampi vasemmanpuoleisessa ohimolohkossa, kun taas olisimme odottaneet matalan BIS-pistemäärän olevan yhteydessä korkeampaan oikeanpuoleiseen amplitudiin.

Ahdistusta ja masennusta koskevissa tutkimuksissa on kuitenkin heikkoutena ollut se, että niissä on ollut vaikea erottaa, liittyykö asymmetria ahdistukseen vai masennukseen. Joissakin aikaisemmissa tutkimuksissa ei olla havaittu otsalohkojen asymmetriaa silloin, kun koehenkilöillä on ollut ahdistusta, mutta ei masennusta (Kentgen ym., 2000; Nitschke ym., 1999). Tämä voi myös osaltaan selittää sitä, miksi korkean BIS-ryhmän koehenkilöillä ei havaittu merkitseviä puolieroja. Koska ahdistuneisuuteen liittyy ruminaatiota ja liiallista huolehtimista, ahdistuksen ja vasemman otsalohkon alfa-aktiivisuuden välistä yhteyttä on selitetty vasemman aivopuoliskon yhteydellä kielellisyyteen ja voimakkaampaan tehtävään sitoutumiseen (Heller ym., 1997). Tässä tutkimuksessa matala BIS-ryhmä oli yhteydessä voimakkaampaan alfarytmiin vasemmassa ohimolohkossa, joka kuvastaa nimenomaan matalampaa vasemmanpuoleista aktiivisuutta (tai voimakasta aktivaation vaimentamista eli inhibitiota) henkilöillä, joilla on alhaiset BIS-pistemäärät. Myös ohimolohkot liittyvät kielellisiin toimintoihin (Kowialiewski ym., 2020), minkä perusteella tämän tutkimuksen tulokset tukisivat ajatusta kielellisyyden yhteydestä BIS-käyttäytymistäipumukseen.

Schneider ja kollegat (2016) havaitsivat pienen yhteyden oikeanpuoleiselta takaraivolohkolta mitatun korkeamman alfarytmin amplitudin ja korkeamman BIS-pistemäärän kanssa. Kyseisessä tutkimuksessa ei ollut mukana ollenkaan ohimolohkoilta mitattua dataa. Olisi ollut mielenkiintoista tietää, olisiko näistä Schneiderin ja kollegoiden toteuttamista EEG-mittauksista löytynyt samansuuntainen korrelaatio myös ohimolohkoilta. Erityisesti silloin heidän tutkimuksensa tulokset olisi voitu tulkita tämän tutkimuksen tuloksia tukeviksi. Tosin heidän tutkimuksessaan ei käytetty lähdeanalyysia, vaan aktiivisuus paikantui ainoastaan sitä mittaaviin elektrodeihin. Siksi ei voida varmuudella sanoa, miltä aivoalueelta heidän mittaamansa aktiivisuus oli peräisin.

Kuvaaja (KUVIO 3) antaa viitettä siitä, että matalassa BIS-ryhmässä vaikuttaisi olevan poikkeuksellisen korkea vasemman aivopuoliskon alfarytmi. Korkeassa BIS-ryhmässä aivopuoliskot vaikuttavat olevan enemmän tasapainossa keskenään alfarytmin suhteen. Vähäinen taipumus välttämiskäyttäytymiseen vaikuttaisi siis olevan yhteydessä korkeaan vasemman aivopuoliskon alfarytmiin ohimolohkolla.

4.2 BAS ja lepotilan aktiivisuus

Korkeat BAS-pistemäärät saaneilla oikeanpuoleisella päälakilohkolla alfarytmi oli voimakkaampaa verrattuna vasemmanpuoleiseen päälakilohkoon. Matalan BAS-ryhmän sisällä ei ollut merkitseviä eroja. Tulos tarkoittaa sitä, että korkeat BAS-pisteet saaneiden ryhmässä vasemmanpuoleisella päälakilohkolla on havaittavissa enemmän aktiivisuutta levossa suhteessa oikeaan puoleen. Tämä on samansuuntainen tulos kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, joissa korkeat BAS-arvot ovat olleet yhteydessä voimakkaampaan vasemman aivopuoliskon aktiivisuuteen levossa (Harmon-Jones & Allen, 1997). Aikaisemmissa tutkimuksissa tämä yhteys on löytynyt kuitenkin aivojen etuosista, mutta tässä tutkimuksessa vastaavalta alueelta yhteyttä ei havaittu. Koska alfarytmi paikantuu tyypillisesti aivojen takaosiin kuten pariето-okkipitaaliselle aivokuorelle (Vanni ym., 1997), voi olla mahdollista, että päälakilohkoissa näkyvä asymmetria olisi silloin selkein ja osin sen takia tulee esiin tuloksissa.

Tulosten perusteella BAS-käyttäytymistäipumus on yhteydessä päälakilohkoihin, joista osan ajatellaan kuuluvan myös lepotilaverkostoon (DMN) (Raiche, 2015). Tämän perusteella voisi ajatella, että temperamenttipiirteistä ainakin BAS voisi olla yhteydessä DMN:ään tai että juuri päälakilohkolla vaikuttava DMN:n osa edustaisi BAS-piirrettä. Tämä ajatus vaatisi kuitenkin vielä lisää tutkimusta, jotta se voitaisiin todentaa.

Kuviossa 4 esitetty kuvaaja antaa viitteitä siitä, että korkeassa BAS-ryhmässä vaikuttaisi olevan poikkeuksellisen matala alfarytmi vasemmassa aivopuoliskossa. Matalassa BAS-ryhmässä aivopuoliskojen välinen aktiivisuus vaikuttaa olevan enemmän tasapainossa. Korkea taipumus lähestymiskäyttäytymiseen voisi siis ajatella olevan yhteydessä matalaan vasemmanpuoleiseen alfarytmin amplitudiin päälakilohkolla.

Tässä tutkimuksessa ei osoitettu aivojen etuosien aktiivisuuden puolierojen olevan yhteydessä temperamenttipiirteiden kanssa. BIS- ja BAS-piirteet eivät siis mahdollisesti olisi yhteydessä Davidsonin (1992) esittämiin aivojen etuosiin liittyviin lähestymis- ja välttämisprosesseihin. Tulokset ovat yhdenmukaisia Harmon-Jonesin ja Allenin (1997) tutkimustulosten kanssa, joiden perusteella ei havaittu BIS-piirteellä olevan yhteyttä aivojen etuosien aktiivisuuden asymmetriaan.

4.3 Temperamenttipiirteistä riippumattomat puolierot aivojen lepotila-aktiivisuudessa

Sekä amplitudin että taajuuden osalta löytyi puolieroja, jotka eivät olleet selitettävissä temperamenttipiirteillä. Amplitudin keskiarvo erosi oikean ja vasemman aivopuoliskon suhteen takaraivo- ja otsalohkoilla. Molemmilla lohkoilla amplitudi oli suurempi oikealla puolella, mikä tarkoittaa suhteessa suurempaa aktivaation säätelyä oikeassa aivopuoliskossa. Taajuuden osalta puoliero löytyi otsalohkoista, joissa taajuus oli korkeampi oikealla puolella.

Ward ja kollegat (2018) havaitsivat tutkimuksessaan samansuuntaisen alfarytmin amplitudin puolieron EEG:llä mitattuna sekä pään etu- että takaosassa. Heidän tutkimuksessaan selvitettiin ahdistuneisuustaipumuksen yhteyttä alfa-aktiivisuuden asymmetriaan. Ahdistuneisuudella ei kuitenkaan havaittu yhteyttä löytyneeseen korkeampaan oikeanpuoleiseen alfarytmin amplitudiin. Voisi siis ajatella, että aivojen lepotilassa mitattu voimakkaampi oikeanpuoleinen amplitudi on tyypillistä ihmisille heidän temperamenttiinsa tai persoonallisuuteensa liittyvistä piirteistä riippumatta. Yksi mahdollinen alfarytmin asymmetriaa selittävä tekijä voisi olla ikä. Röcke ja kollegat (2009) ovat havainneet nuorilla aikuisilla (20–30-vuotiaat) voimakkaampaa alfarytmin asymmetriaa verrattuna ikääntyneisiin (70–80-vuotiaat). Meidän tutkimuksessamme koehenkilöt olivat iältään melko nuoria (18–48-vuotiaita), joten olisi mahdollista, että se selittäisi myös puolierojen löytymistä.

4.4 Tämän tutkimuksen tuoma lisäarvo ja jatkotutkimusaiheet

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin MEG-mittausdataa koko pään alueelta, mikä tuotti uutta tietoa verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin, joissa on keskitytty pääosin aivojen etuosien aktiivisuuteen. Lisäksi käyttämämme lähdemallinnus mahdollisti aikaisempaa tarkemman aktiivisuuden paikantamisen aivokuorelle. Uusia havaintoja ovat BIS-piirteeseen liittyvän aktiivisuuden paikantaminen ohimolohkoille sekä BAS-piirteeseen liittyvän aktiivisuuden paikantaminen päälakilohkoille. Uutta tietoa olivat myös mahdollinen välttämiskäyttäytymisen yhteys korkeaan

vasemmanpuoleiseen alfarytmiin ja lähestymiskäyttäytymisen yhteys alhaiseen vasemmanpuoleiseen alfarytmiin.

Koko aivokuoren aktiivisuuden huomioivia saman aihepiirin tutkimuksia on hyvin vähän tämän tutkimuksen lisäksi. Siksi vaadittaisiin vielä lisää tutkimustietoa, jotta saataisiin vahvempaa näyttöä havaitsemillemme Grayn temperamenttipiirteiden yhteyksille aivojen lepoaktiivisuuteen. Syitä havaitsemiimme lepotila-aktiivisuuden ja temperamenttipiirteiden yhteyksiin ei voi vielä varmuudella sanoa. Niitäkin koskevalle tutkimustiedolle olisi näin ollen tarve. Koska otsalohkojen aktiivisuuden ei havaittu olevan yhteydessä Grayn temperamenttipiirteisiin, eivät tämän tutkimuksen tulokset myöskään kannusta tutkimaan lisää aivojen etuosien aktiivisuuden yhteyttä BIS- ja BAS-piirteisiin. Sen sijaan olisi mielekkäämpää tutkia ohimo- ja päälakilohkojen aktiivisuuden yhteyttä temperamenttiin sekä syitä, miksi juuri näillä alueilla yhteys oli mahdollista havaita.

4.5 Rajoituksia

Tutkimukseemme liittyy muutamia piirteitä, jotka täytyy ottaa huomioon tuloksia tulkittaessa sekä tulevaa tutkimusta ajatellen. Tässä tutkimuksessa ei huomioitu sukupuolta tai sen välisiä eroja asymmetrian suhteen. De Pascalis kollegoineen (2018) havaitsivat kokeessa mukana olevan tutkijan sukupuolella olevan vaikutusta asymmetrian ja temperamentin yhteyteen. Tämä vaikutus koski tosin vain BAS-piirteiden alapiirteistä impulsiivisuutta ja taistele-pakene-lamaannu-systeemiä (FFFS). Kyseisessä tutkimuksessa oli käytetty toista kyselylomaketta (RST-PQ) mittaamaan temperamenttipiirteitä, minkä vuoksi BAS jakautui erilaisiin alapiirteisiin ja myös FFFS oli huomioitu. Voisi kuitenkin olla kiinnostavaa huomioida sekä koehenkilön sukupuoli että tutkijan sukupuoli tulevissa tutkimuksissa.

Tutkimuksemme otoskoko oli hyvä ottaen huomioon, että tutkimus sisälsi aivokuvantamisaineistoa. Otoskoko on kuitenkin sellainen, että siitä ei voi tehdä kovin luotettavia yleistyksiä ja on olemassa mahdollisuus, että tulokset olisivat toisenlaiset suuremmalla otoskoolla. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä sille, että BIS- ja BAS-temperamenttipiirteillä on yhteyttä aivojen lepotilan aktiivisuuteen.

Temperamenttia mitattiin pelkästään itsearviointikyselyllä, joka vaatii sen, että tutkittava ymmärtää väittämät ja osaa arvioida omaa toimintaansa. Itsearviointikyselyihin liittyy myös mahdollisuus esimerkiksi vastausten kaunisteluun. Lisäkyselyt tai mahdollinen objektiivinen arviointi voivat lisätä luotettavampaa arviota temperamentista.

4.6 Yhteenveto

Ohimolohkoilla havaittiin matalan BIS-piirteen sisällä puolierot lepotilan aktiivisuudessa. Matalat BIS-pisteet saaneilla alfarytmi oli voimakkaampi vasemmalla puolella. Päälakilohkoilla havaittiin korkean BAS-piirteen sisällä puolierot lepotila-aktiivisuudessa. Korkeat BAS-pisteet saaneilla alfarytmin voimakkuus oli matalampi vasemmalla puolella. Näiden tulosten perusteella voitaisiin ajatella BIS-piirteen vaikuttavan ohimolohkoilla ja BAS-piirteen päälakilohkoilla. Lisäksi erityisesti vasemmanpuoleisen ohimolohkon poikkeuksellisen korkealta vaikuttavan amplitudin voisi ajatella liittyvän välttämiskäyttäytymiseen ja vasemmanpuoleisen päälakilohkon poikkeuksellisen matalalta vaikuttava amplitudi lähestymiskäyttäytymiseen.

Puolieroja, joihin temperamenttipiirteet eivät olleet osallisena, löytyi otsalohkoilta ja takaraivolohkoilta. Alfarytmin amplitudi oli korkeampi oikeanpuoleisella otsalohkolla ja takaraivolohkolla sekä taajuus oli korkeampi oikeanpuoleisella otsalohkolla. Näiden aktiivisuuserojen voisi ajatella kuvastavan yleisesti lepotilassa havaittavaa aktiivisuuden lateralisaatiota.

LÄHTEET

- Adrián-Ventura, J., Costumero, V., Parcet, M. & Ávila, C. (2019). Reward network connectivity “at rest” is associated with reward sensitivity in healthy adults: A resting-state fMRI study. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 19, 726–736. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00688-1>
- Balconi, M., Vanutelli, M. & Grippa, E. (2017). Resting state and personality component (BIS/BAS) predict the brain activity (EEG and fNIRS measure) in response to emotional cues. *Brain and Behavior*, 7(5). <https://doi.org/10.1002/brb3.686>
- Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., Magee, C. A. & Rushby, J. A. (2007). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2765–2773. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.clinph.2007.07.028>
- Bollimunta, A., Mo, J., Schroeder, C. E. & Ding, M. (2011). Neuronal mechanisms and attentional modulation of corticothalamic α oscillations. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 31(13), 4935–4943. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1523/JNEUROSCI.5580-10.2011>
- Buckner, R. L. & Di Nicola, L. M. (2019). The brain’s default network: updated anatomy, physiology and evolving insights. *Nature Reviews Neuroscience*, 20, 593–608. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0212-7>
- Burleigh, T. L., Griffiths, M. D., Sumich, A., Wang, G. Y. & Kuss, D. J. (2020). Gaming disorder and internet addiction: A systematic review of resting-state EEG studies. *Addictive behaviors*, 107, 106429. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2020.106429>
- Carver, C. & White, T. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: The BIS/BAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(2), 319–333. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.67.2.319>
- Cherbuin, N., Windsor, T., Anstey, K., Maller, J., Meslin, C. & Sachdev P. (2008). Hippocampal volume is positively associated with behavioural inhibition (BIS) in a large community based sample of mid-life adults: the PATH through life study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(3), 262-269. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1093/scan/nsn018>

- Christoff, K., Ream, J.M. & Gabrieli, J.D.E. (2004). Neural Basis of Spontaneous thought Processes. *Cortex*, 40(4-5), 623-630. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70158-8](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70158-8)
- Corsi-Cabrera, M., Galindo-Vilchis, L., del-Rio-Portilla, Y., Arce, C. & Ramos-Loyo J. (2007). Within-subject reliability and inter-session stability of EEG power and coherent activity in women evaluated monthly over nine months. *Clinical Neurophysiology*, 118(1), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.08.013>
- Davidson, R. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*, 20(1), 125-151. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90065-T](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90065-T)
- De Pascalis, V., Cozzuto, G., Caprara, G. & Alessandri, G. (2013). Relations among EEG -alpha asymmetry, BIS/BAS, and dispositional optimism. *Biological Psychology*, 94(1), 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.016>
- De Pascalis, V., Kathrin, S. & Scacchia, P. (2018). Resting Frontal Asymmetry and Reward Sensitivity Theory Motivational Traits. *Scientific Reports*. 8(1). <https://www.nature.com/articles/s41598-018-31404-7>
- Foxe, J. J. & Snyder, A. C. (2011). The Role of Alpha-Band Brain Oscillations as a Sensory Suppression Mechanism during Selective Attention. *Frontiers in psychology*, 2, 154. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00154>
- Gray, J. & McNaughton, N. (2003). *The Neuropsychology of Anxiety: An Enquiry into the Functions of the Septo-Hippocampal System*. Oxford: Oxford University Press
- Glover, G. (2011). Overview of functional magnetic resonance imaging. *Neurosurgery clinics of North America*, 22(2), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2010.11.001>
- Hansen, P., Kringelbach, M. & Salmelin, R. (2010). *MEG: An Introduction to Methods*. New York: Oxford University Press
- Harmon-Jones, E. & Allen, J. J. (1997). Behavioral activation sensitivity and resting frontal EEG asymmetry: covariation of putative indicators related to risk for mood disorders. *Journal of abnormal psychology*, 106(1), 159–163. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1037//0021-843x.106.1.159>

Heller, W., Nitschke, J. B., Etienne, M. A. & Miller, G. A. (1997). Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety. *Journal of Abnormal Psychology*, 106(3), 376–385.

<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1037/0021-843X.106.3.376>

Hewig, J., Hagemann, D., Seifert, J., Naumann, E. & Bartussek, D. (2005). The relation of cortical activity and BIS/BAS on the trait level. *Biological Psychology*, 71(1), 42-53.

<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.01.006>

Johnson, S., Turner, R., & Iwata, N. (2003). BIS/BAS Levels and Psychiatric Disorder: An Epidemiological Study. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 25, 25–36.

<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1023/A:1022247919288>

Katz, B., Matanky, K., Aviram, G. & Yovel, I. (2020). Reinforcement sensitivity, depression and anxiety: A meta-analysis and meta-analytic structural equation model. *Clinical Psychology Review*,

77. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101842>

Kentgen, L. M., Tenke, C. E., Pine, D. S., Fong, R., Klein, R. G. & Bruder, G. E. (2000).

Electroencephalographic asymmetries in adolescents with major depression: Influence of comorbidity with anxiety disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 109(4), 797–802. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1037/0021-843X.109.4.797>

<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1037/0021-843X.109.4.797>

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*. 29(2-3), 169-195. [https://doi.org/10.1016/S0165-](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

[0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)

Knyazev, G.G. & Slobodskaya, H.R. (2003). Personality trait of behavioral inhibition is associated with oscillatory systems reciprocal relationships. *International Journal of Psychophysiology*, 48(3),

247-261. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(03\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(03)00072-2)

Kowialiewski, B., Van Calster, L., Attout, L., Phillips, C. & Majerus, S. (2020). Neural Patterns in Linguistic Cortices Discriminate the Content of Verbal Working Memory. *Cerebral Cortex*, 30(5),

2997–3014, <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1093/cercor/bhz290>

Liljeström, M., Hultén, A., Parkkonen, L. & Salmelin, R. (2009). Comparing MEG and fMRI views to naming actions and objects. *Human brain mapping*, 30(6), 1845–1856.

<https://doi.org/10.1002/hbm.20785>

- Liu, J., Xu, J., Zou, G., He, Y., Zou, Q. & Gao J. (2020). Reliability and Individual Specificity of EEG Microstate Characteristics. *Brain Topography*, 33, 438–449. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s10548-020-00777-2>
- Massar, S. A., Kenemans, J. L. & Schutter, D. J. (2014). Resting-state EEG theta activity and risk learning: sensitivity to reward or punishment?. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 91(3), 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.10.013>
- Mervielde, I. & De Pauw, S. W. (2012). Models of Child Temperament. Teoksessa Zentner & R. L. Shiner (toim.), *Handbook of Temperament*, 1. painos (s.21-40) New York: The Guilford Press
- Nitschke, J.B., Heller, W., Palmieri, P.A. & Miller, G.A. (1999). Contrasting patterns of brain activity in anxious apprehension and anxious arousal. *Psychophysiology*, 36, 628-637. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1111/1469-8986.3650628>
- Pfurtscheller, G. & Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842–1857. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(99\)00141-8](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(99)00141-8)
- Raiche M. E. (2015). The Brain's Default Mode Network. *Annual Review of Neuroscience*, 38, 433–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>
- Raichle, M. E. & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *NeuroImage*, 37(4), 1083–1099. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1016/j.neuroimage.2007.02.041>
- Rothbart, M. K. (2012). Advances in Temperament: History, Concepts, and Measures. Teoksessa M. Zentner & R. L. Shiner (toim.), *Handbook of Temperament*, 1. painos (s. 3-20) New York: The Guilford Press
- Röcke, C., Li, S-C. & Smith, J. (2009). Intraindividual Variability in Positive and Negative Affect over 45 Days: Do Older Adults Fluctuate Less than Young Adults?. *Psychology and Aging*, 24(4), 863–78. doi:10.1037/a0016276

- Schneider, M., Chau, L., Mohamadpour, M., Stephens, N., Arya, K. & Grant, A. (2016). EEG asymmetry and BIS/BAS among healthy adolescents. *Biological psychology*, 120, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.09.004>
- Shephard, E., Tye, C., Ashwood, K. L., Azadi, B., Asherson, P., Bolton, P. F. & McLoughlin, G. (2018). Resting-State Neurophysiological Activity Patterns in Young People with ASD, ADHD, and ASD + ADHD. *Journal of autism and developmental disorders*, 48(1), 110–122. <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3300-4>
- Smit, C. M., Wright, M. J., Hansell, N. K., Geffen, G. M. & Martin, N. G. (2006). Genetic variation of individual alpha frequency (IAF) and alpha power in a large adolescent twin sample. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 61(2), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.10.004>
- Thibodeau, R., Jorgensen, R. S., & Kim, S. (2006). Depression, anxiety, and resting frontal EEG asymmetry: A meta-analytic review. *Journal of Abnormal Psychology*, 115(4), 715–729. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1037/0021-843X.115.4.715>
- Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. E. & Kinney, L. (1992). Psychometric Properties of Resting Anterior EEG Asymmetry: Temporal Stability and Internal Consistency. *Psychophysiology*, 29(5), 576–592.
- Vanni, S., Revonsuo, A. & Hari, R. (1997). Modulation of the parieto-occipital alpha rhythm during object detection. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 17(18), 7141–7147. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1523/JNEUROSCI.17-18-07141.1997>
- Ward, R. T., Smith, S. L., Kraus, B. T., Allen, A. V., Moses, M. A. & Simon-Dack, S. L. (2018). Alpha band frequency differences between low-trait and high-trait anxious individuals. *Neuroreport*, 29(2), 79–83. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000915>
- Zuckerman, M. (2012). Models of Adult Temperament. Teoksessa Zentner & R. L. Shiner (toim.), *Handbook of Temperament*, 1. painos (s.21-40) New York: The Guilford Press