

Kasvojen identiteetin, ilmeen ja ilmeen  
voimakkuuden vaikutus tapahtumasidonnaisiin  
jännitevasteisiin

Johanna Kristiina Miettinen

Pro gradu -tutkielma (40 sivua)

Kognitiotiede

Nykykielten laitos

Toukokuu 2017

Ohjaaja: Viljami Salmela

Tutkimusprojekti: Face memory – bridging the gap from perceptual features  
to naturalistic memory representations

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty Humanistinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Nykykielten laitos	
Tekijä – Författare – Author Johanna Kristiina Miettinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kasvojen identiteetin, ilmeen ja ilmeen voimakkuuden vaikutus tapahtumasidonnaisiin jännitevasteisiin			
Oppiaine – Läroämne – Subject Kognitiotiede			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2017	Sivumäärä– Sidoantal – Number of pages 40	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p><b>Tavoitteet.</b> Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kasvojen ilmeen ja identiteetin aivotason prosessointia tarkastelemalla tapahtumasidonnaisia jännitevasteita (eng. <i>event related potentials</i>, ERP). Tarkoituksena oli selvittää, voidaanko tehdä päätelmiä kasvojen ilmeen ja identiteetin paikallisesta prosessoinnista aivoissa. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, että eroavatko ilmeiden prosessointi toisistaan, ja vaikuttaako ilmeen voimakkuus ilmeiden erotteluun. Aikaisempi tutkimus kasvojen havaitsemisesta on ollut voimakkaasti keskittyneenä modulaariseen näkemykseen tiedonkäsittelyjärjestelmästä, jonka mukaan kullakin kognitiivisella toiminnolla havaintoprosessissa on omat anatomiset korrelaattinsa ja jossa moduulit ovat selkeästi toisistaan erotettavissa. Vastakkaisena näkemyksenä on verkostonäkemyks, jossa moduulien väliset rajat ovat häilyviä. Tiedon kartoittaminen kognitiivisista prosesseista on tärkeää, kun kehitetään kuntoutusmuotoja ihmisille, joilla kasvojen havaitseminen on poikkeavaa.</p> <p><b>Menetelmät.</b> Tutkimukseen osallistui 17 tervettä koehenkilöä, joille esitettiin yhteensä 112 kasvoärsykettä, joissa ilme ja identiteetti vaihtelivat systemaattisesti. Aikaisempien tutkimusten pohjalta tutkittiin erityisesti niitä tapahtumasidonnaisia jännitevasteita, jotka ovat läsnä kasvoärsykeä havaittaessa, eli positiiviset tai negatiiviset muutokset 100, 170 ja 250 millisekuntia kasvoärsykeä esittämisen jälkeen (ns. P1, N170 ja N250 -vasteet). Ilmeiden ja identiteettien vaikutusta jännitevasteisiin tutkittiin perinteisten yksimuuttuja-analyysien (jännitevasteiden keskiarvojen vertailu) lisäksi myös monimuuttujamenetelmillä (jännitevastejakaumien korrelaatioiden vertailu), joilla kasvoärsykeiden manipulaatioiden aiheuttavat muutokset voitiin saada paremmin esille.</p> <p><b>Tulokset ja johtopäätökset.</b> Jännitevasteiden keskiarvoissa ei havaittu eroja. Koetilanteiden väliset monimutkaiset yhdysvaikutukset saatiin kuitenkin esiin, kun jännitevasteista koostettiin 112 x 112 erilaisuusmatriiseja joihin sovitettiin kahdeksan regressoria sisältävä yleinen lineaarinen malli. Tehtiin myös sovitettuja malleja, joissa jokaista regressoria painotettiin P1, N170 ja N250 -vasteiden ajanhetkien betakertoimilla. Tulokset antavat viltettä sille, että ilmeen prosessointi tapahtuu aivotasolla varhaisemmassa vaiheessa kuin identiteetin, ja että ilmeiden ja identiteettien välillä oli voimakas yhdysvaikutus joka selitti aineistossa esiintyvää vaihtelua. Tulokset tukevat verkostonäkemyksistä, joka ei kuitenkaan kiellä modulaarisuutta täysin.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Kasvojen havaitseminen, EEG, tapahtumasidonnaiset jännitevasteet, P1, N170, N250			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-Thesis (opinnäytteet) <a href="http://ethesis.helsinki.fi">ethesis.helsinki.fi</a>			

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Arts		Laitos – Institution – Department Department of Modern Languages	
Tekijä – Författare – Author Johanna Kristiina Miettinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title The effect of face identity, expression and expression intensity on event related potentials			
Oppiaine – Läroämne – Subject Cognitive Science			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis		Aika – Datum – Month and year May 2017	Sivumäärä– Sidoantal – Number of pages 40
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p><b>Objectives.</b> This study aimed to clarify the brain-level processing of face stimuli by examining event related potentials. The purpose was to examine whether it is appropriate to make conclusions about the localization of brain-level processing of face expression and identity. Additionally, the study wanted to clarify whether there are observable differences between expression processing and does the intensity of the expression affect on the brain-level differentiation of expressions. Prior studies about the perception of face stimuli have been heavily focused on the modular view of the information processing system, in which every cognitive function has its own anatomical correlates and where the modules are clearly distinguishable from each other. The opposing view to this is the network-assumption in which the confines between modules are vague. Knowledge about these cognitive processes is crucial when new rehabilitation forms are being developed for people, from whom face perception is abnormal.</p> <p><b>Methods.</b> 17 healthy test subjects took part in the study. In total, subjects were presented with 112 face stimuli, in which face expression and identity varied systematically. Based on prior studies, the event related potentials, which are known to be present in the perception of face stimuli were especially studied: the positive or negative fluctuations that occur 100, 170 and 250 milliseconds after the presentation of face stimulus (so called P1, N170 and N250 components). The effects of expressions and identities on the event related potentials were examined with traditional one-variable analysis (comparison of averages) as well as with multiple variable methods (comparison of correlations of distributions), which better expose the changes caused by face stimuli manipulations.</p> <p><b>Results and conclusions.</b> The average amplitude and latency of event related potentials did not differ across conditions. The complex interactions between test conditions were exposed by forming 112 x 112 dissimilarity matrices of event related potentials. General linear model, which included eight regressors, was fitted into dissimilarity matrices. Fitted models were also compiled. In those, every regressor was weighted with beta-coefficients at the time points of P1, N170 and N250 components. Based on the results, it is possible to assume that expression processing happens in an earlier phase than identity processing. Additionally, there was a robust interaction between expression and identity, which clarified the variation in the data. These results give support to the network-assumption in the perception of faces. However, the network-assumption does not deny modularity completely.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Face perception, EEG, event related potentials, P1, N170, N250			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-Thesis (opinnäytteet) <a href="http://ethesis.helsinki.fi">ethesis.helsinki.fi</a>			

## Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	1
1.1. Kognitiiviset tiedonkäsittelymallit ja anatomiset korrelaatit	2
1.2. Kliininen näkökulma	6
1.3. EEG ja tapahtumasidonnaiset jännitevasteet	8
1.4. P1, N170 ja N250	9
1.5. Odotetut tulokset	10
2. MENETELMÄT	11
2.1. Koehenkilöt	11
2.2. Ärsykkeet	11
2.3. Kokeen kulku	13
2.4. Jännitevasteiden rekisteröinti	13
2.5. Tulosityyysi	13
2.5.1. EEG-aineisto	13
2.5.2. Tehtäväsuoriutuminen	16
2.5.3. Monimuuttuja-analyysit	17
3. TULOKSET	19
3.1. Tehtäväsuoriutuminen	19
3.2. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet	20
3.3. Monimuuttuja-analyysit	24
4. POHDINTA	30
LÄHTEET	34

## 1. JOHDANTO

Kasvojen havaitseminen on moniulotteinen prosessi, jolla on suuri merkitys jokapäiväisessä sosiaalisessa havaintomaailmassa. Kasvot ovat ainutlaatuinen ja merkittävä ärsykekatgoria. Kasvojen havaitseminen on ollut ihmislajille evolutiivisesti hyödyllistä. Visuaalisesti orientoituneilla eläimillä silmien havaitsemisen tärkeys voidaan ymmärtää evolutiivisessa kontekstissa (henkiinjääminen), mutta tämän lisäksi erityisesti kädelliset havainnoivat tarkkuudella kasvoista myös monimutkaisempaa informaatiota kuten identiteetin, katseen suunnan ja aggression tason (Leopold & Rhodes 2010).

Kasvojen identiteetin ja ilmeen tunnistamiseen liittyviä prosesseja on pyritty hahmottamaan aiemmissa tutkimuksissa muun muassa paikannetuilla tiedonkäsittelymalleilla liittyen kognitiivisten toimintojen anatomisiin korrelaatioihin (esim. Haxby, Hoffman & Gobbini 2000) sekä malleilla jotka kuvailevat kognitiivisten prosessien järjestäytymistä yleistasolla (esim. Bruce & Young 1986).

Yksi kasvojen havaitsemisen tutkimisessa käytetty menetelmä on aivosähkökäyrän (*elektroenkefalografia*, EEG) mittaaminen, joka on erityisen hyvä menetelmä tähän tarkoitukseen muun muassa ajallisen tarkkuutensa vuoksi (Rossion 2014a). Sähköisen aktiivisuuden mittaaminen pään pinnalta tarjoaa paljon tietoa ajallisesta dynamiikasta ja kasvojen havaintoprosessin korkeamman tason järjestäytymisestä aivoissa. Tapahtumasidonnaisia jännitevasteita (eng. *event related potentials*, ERP) tutkimalla voidaan eritellä käsittelyn tasoja liittyen kasvojen havaitsemiseen (Eimer 2000).

Kliinisestä näkökulmasta tarkasteltuna on tärkeää, että näistä havaintoprosesseista saadaan lisää tietoa. Joillakin potilailla tiedonkäsittelyjärjestelmä on vaurioitunut kasvojen havaitsemisen osalta. Toiminnallisessa vauriossa järjestelmän osa-alue tai prosessointi ei toimi terveen järjestelmän tavoin aivovaurion tai kehityksellisen häiriön vuoksi (Valtonen 2014). Kun kehitetään uusia kuntoutusmuotoja häiriöiden hoitoon, voidaan hyödyntää perustason tietoa siitä, miten havaintoprosessit toimivat kasvoja havaittaessa. Neuropsykologisen kuntoutuksen tutkimus on ollut laajaa, mutta sitä on sovellettu vain vähän kasvojen havaitsemiseen (Bate & Bennets 2014).

Kasvosokeuden (eng. *prosopagnosia*) lisäksi myös muut ryhmät, joissa kasvoärsykkeiden prosessointi on yleensä poikkeuksellista (esim. autismikirjon tilat ja psykiatriset häiriöt), voivat hyötyä kohdistetuista kuntoutussovelluksista.

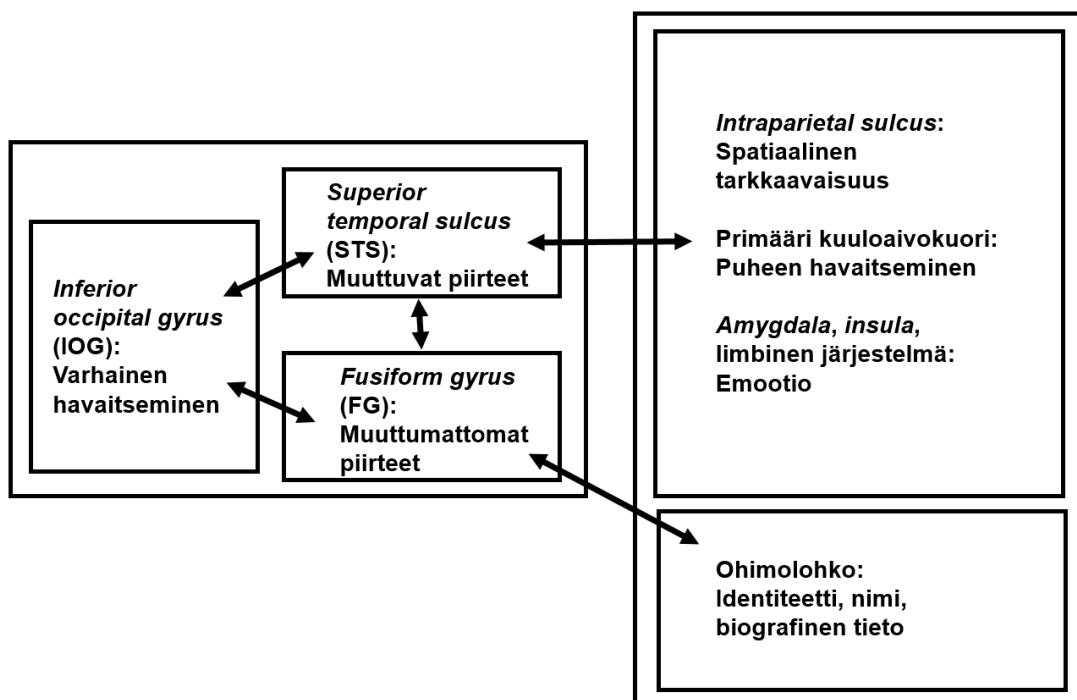
Tässä tutkimuksessa tutkitaan EEG:n tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden avulla terveillä koehenkilöllä kasvojen havaitsemista. Tätä tutkitaan esittämällä koehenkilöille yhteensä 112 erilaista rajattua kasvokuvaa, joissa kasvojen ilme ja identiteetti vaihtelevat systemaattisesti. Aikaisempien tutkimusten pohjalta tutkitaan erityisesti niitä tapahtumasidonnaisia jännitevasteita, jotka ovat läsnä kasvoja havaittaessa, eli positiiviset tai negatiiviset muutokset 100, 170 ja 250 millisekuntia kasvon esittämisen jälkeen (ns. P1, N170 ja N250 -vasteet). Tutkimuskysymyksenä on selvittää tapahtumasidonnaisia jännitevasteita tutkimalla, voidaanko tehdä päätelmiä kasvojen ilmeen ja identiteetin paikallisesta prosessoinnista aivoissa. Toisena tutkimuskysymyksenä on, että eroavatko ilmeiden prosessointi toisistaan, ja vaikuttaako ilmeen voimakkuus ilmeiden erotteluun.

Tässä tutkimuksessa käytetään termiä kasvojen havaitseminen kuvaamaan sitä tapahtumaa, jossa kohde havaitaan nimenomaan kasvoina yksityiskohtaiseen ominaisineen piirteineen, eikä esimerkiksi vailla yksityiskohtia olevina skemaattisina muodostelmina. Termiä *kasvojen tunnistaminen* käytetään kuvaamaan sitä, kun satunnaiset kasvot havaitaan tietyn henkilön kasvoiksi, eli tieto identiteetistä yhdistetään havaintoon kasvoista. Kasvojen tunnistaminen sisältyy prosessina kasvojen havaitsemiseen, mutta tässä tutkimuksessa viitataan kasvojen tunnistamiseen myös erikseen.

### **1.1. Kognitiiviset tiedonkäsittelymallit ja anatomiset korrelaatit**

Kasvojen havaitsemista on pyritty hahmottamaan erilaisten tiedonkäsittelymallien avulla. Kognitiivisessa mallintamisessa mieli nähdään koostuvan joukosta itsenäisiä, toisistaan erillisiä prosessointiyksiköitä, *moduuleja*, joiden olemassaolo on yksi kiistelty kognitiivisen neurotieteen kysymys (Revonsuo 2006). Kognitiivisessa neuropsykologiassa modulaarisia tiedonkäsittelyjärjestelmiä kuvataan usein niin sanottujen *laatikkomallien* avulla. Kukin laatikko symboloi tiettyä tiedonkäsittelytoimintaa, ja laatikoiden väliset yhteydet tai nuolet kuvaavat

tiedonkulkua eri moduulien välillä (Revonsuo & Laine 2006). Tässä tutkimuksessa keskeisenä teoriapohjana on Haxbyn ja kumppaneiden (2000) hierarkkinen malli, jossa kullekin moduulille on nimetty anatomiset korrelaatit aivoissa. Malli koostuu varhaisen visuaalisen prosessoinnin suorittavasta ydinsysteemistä (*eng. core system*) ja lisäprosessointiin (*eng. extended system*) keskittyvästä systeemistä (kuva 1). Tämän mallin mukaisesti kasvojen muuttuvat osat kuten katse ja ilmeet prosessoidaan eri moduulissa kuin kasvojen muuttumattomat piirteet, joiden avulla varsinainen identiteetin tunnistaminen tapahtuu. Lisäprosessointiin liittyvät moduulit vastaavat muun muassa ilmeiden tulkinnasta ja henkilöön liittyvän semanttisen tiedon mieleen palauttamisesta.



**Kuva 1.** Malli kasvojen havaitsemisesta. Sovellettu Haxby ja kumppanit (2000). Vasemmalla vaakasuuntaisessa suorakulmiossa ydinsysteemiin kuuluvat alueet ja oikealla pystysuuntaisessa suorakulmiossa lisäprosessointiin kuuluvat alueet. Muuttuviin piirteisiin kuuluvat katseen suunnan, ilmeiden ja huulten liikkeiden havaitseminen. Muuttumattomiin piirteisiin kuuluu identiteetin havaitseminen. Kaksisuuntaiset nuolet kuvaavat kaksisuuntaista prosessointia alueiden välillä. Englanninkieliset nimet ovat merkitty kursivilla.

Edellä kuvatun mallin mukaisesti ilmeen ja identiteetin tunnistaminen voidaan siis käsittää kahdeksi erilliseksi prosessiksi. Myös varhaisempi Bruen ja Youngin malli (1986) tukeutuu tähän oletukseen. Tässä mallissa keskiössä ovat moduulien sijaan

toisistaan itsenäiset *informaatiokoodit* liittyen havaintoprosessiin. Informaatiokoodeja on mallissa yhteensä seitsemän, muun muassa ilmeisiin liittyvä ja identiteettiin liittyvä semanttinen informaatiokoodi. Brucen ja Youngin (1986) mukaan informaatiokoodit eivät kuitenkaan itsessään ole kasvojen havaitsemiseen liittyvän järjestelmän toiminnallisia osia, vaan lähinnä niiden toiminnan lopputuloksia.

1990-luvun ja 2000-luvun aivokuvantamistutkimukset antavat näyttöä siihen, että kasvojen tunnistaminen ja kasvojen havaitseminen ovat kaksi erillistä prosessia, joista kasvojen havaitsemisen prosessia tukee aivokuorenalainen (ns. *subkortikaalinen*) reitti (sisältäen eng. *superior colliculus*, SC; eng. *pulvinar* sekä eng. *amygdala*), joka moduloi aivokuorella tapahtuvaa prosessointia (Johnson 2005).

Primäärin näköaivokuoren ympärillä olevalla aivokuorella sijaitsevalta poimulta (eng. *fusiform gyrus*, FG) on tunnistettu kasvoärsykeille sensitiivinen alue (eng. *fusiform face area*, FFA), joka on useissa tutkimuksissa todettu olevan keskeisessä asemassa kasvojen havaitsemisessa (Kanwisher & Yovel 2006). Lisäksi on tunnistettu toinen kasvoärsykeille sensitiivinen alue takaraivolohkossa (eng. *occipital face area*, OFA) jonka oletetaan sijaitsevan takaraivolohkon alueen poimun (eng. *inferior occipital gyrus*, IOG) sisällä tai läheisyydessä (Pitcher, Walsh & Duchaine 2011). Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallissa (kuva 1) FG kuuluu ydinjärjestelmään ja prosessoi siten kasvojen muuttumattomia piirteitä. OFA taasen liittyy tässä mallissa kasvopiirteiden varhaiseen prosessointiin.

Duchaine ja Yovel (2015) jaottelevat kasvojen havaintoprosessit kahteen reittiin, ventraaliseen ja dorsaaliseen, ja ehdottavat täydennystä Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallille. Duchaine ja Yovelin (2015) mallissa ventraalisella reitillä (johon kuuluvat mm. OFA ja FFA) prosessoidaan kasvojen muuttumattomia piirteitä ja dorsaalaisella reitillä (johon sisältyy mm. eng. *superior temporal sulcus*, STS) kasvojen muuttuvia piirteitä.

Erityisesti FG:n rooli anatomisena korrelaattina moduulimalleissa on vielä kiistelty ja epäselvä. Esimerkiksi Fox, Moon, Iaria ja Barton (2009) havaitsivat toiminnallisessa magneettiresonanssikuvantamis (eng. *functional magnetic resonance imaging*, fMRI) -tutkimuksessaan, että FG on sensitiivinen molemmille kasvojen ominaisuuksille,

sekä identiteetille että ilmeelle. Tämä tulos haastaa Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallissa olevan käsityksen. Toisaalta näkemystä identiteetin ja ilmeen prosessoinnin päällekkäisyydestä on perusteltu esimerkiksi siten, että kohtaamme arkielämässä enemmän identiteettejä kuin ilmeitä (Calder 2011). Tämän seurauksena identiteettiä prosessoivat alueet aivoissa olisivat laajemmat kuin ilmeitä prosessoivat, jonka vuoksi identiteetin tunnistaminen häiritsisi ilmeen tunnistamista enemmän kuin vastakkaisessa tilanteessa. FG:n sensitiivisyys nimenomaan kasvoärsykkeille on myös yhä kiisteltyä. Kyseisen alueen on todettu aktivoituvan voimakkaasti myös sellaisille ärsykkeille (*Greebles*-oliot), josta tutkittavat ovat hankkineet asiantuntijuuden harjoittelun myötä (Gauthier, Tarr, Anderson, Skudlarski & Gore 1999).

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että kasvojen havaitsemiseen ja tunnistamiseen liittyvät prosessit ovat voimakkaasti keskittyneet oikean aivopuoliskon alueille: tämä on todettu tutkimalla useita potilaita, joilla on unilateraalinen leesio (Rossion 2014b). Oikean aivopuoliskon dominanssi on todettu myös tutkimuksessa, joissa kasvoärsykkeille sensitiivisille aivoalueille annettiin sähköstimulaatiota: oikean aivopuoliskon sähköstimulaatio aiheutti enemmän merkittäviä muutoksia kasvojen havaitsemisessa kuin vasemman aivopuoliskon sähköstimulaatio (Rangarajan ym. 2014).

Ilmeiden paikallisesta prosessoinnista aivoissa ei sen sijaan ole löydetty vahvaa näyttöä aivokuvantamistutkimuksissa. Esimerkiksi Winstonin, Dohertyn ja Dolanin (2003) fMRI-tutkimuksessa erilaisten ilmeiden aiheuttamat vasteet eivät eronneet toisistaan: neljän eri ilmeen prosessointi paikantui voimakkaasti muun muassa manteliumakkeen (eng. *amygdala*) alueelle. Myös Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallin mukaisesti ilmeiden prosessointi paikantuu samalle alueelle.

Toisaalta kasvojen havaitseminen voidaan mieltää tapahtuvan myös holistisena prosessina, jossa rajanveto yksittäisten moduulien välille nähdään toisarvoisena. Kasvojen havaitseminen voidaan vaihtoehtoisesti siis käsittää sellaiseksi aivotason prosessiksi, jossa moduulien väliset rajat ovat häilyviä, tai moduuleilla on päällekkäisyyttä. Tästä esimerkkinä keinotekoisten neuroverkkojen järjestäytyminen. Happelin ja Murren (1994) mukaan tapa, jolla keinotekoisien neuroverkon moduulit ovat yhteydessä toisiinsa, määrittää voimakkaasti koko neuroverkon oppimista ja

kategorisointitehtävistä selviytymistä. Konnektionistiset neuroverkkomallit tukevat rakenteellisuutta vain vähän tai eivät ollenkaan. Toisaalta aivojen tiedonkäsittelyn modulaarisuutta on perusteltu muun muassa ihmislajin evoluutiolla: erikoistuneita systeemejä (moduuleja) on tarvittu, jotta vaativiin ja erityisiin ympäristön haasteisiin on voitu vastata (Gazzaniga 1989).

## 1.2. Kliininen näkökulma

Kognitiiviset tiedonkäsittelymallit ovat perusta, joiden avulla voidaan syventää ymmärrystä kasvojen prosessoinnista aivoissa ja siihen liittyvistä häiriöistä. Monissa eri ryhmissä kasvojen havaitseminen on poikkeuksellista verrattuna terveeseen tiedonkäsittelyjärjestelmään. Kasvosokeuspotilailla on vaikeuksia tunnistaa ystäviään, perheenjäseniään tai jopa omaa peilikuvaansa, mutta muiden kohteiden tunnistamiskyky on säilynyt (Kress & Daum 2003). De Gelderin, Frissenin, Bartonin ja Hadjikhaniin (2003) tutkimuksessa havaittiin dissosiaatio kasvojen identiteetin tunnistamisen ja ilmeen tunnistamisen välillä kasvosokeuspotilailla: potilaat pystyivät tunnistamaan kasvojen ilmeitä, vaikka kasvojen identiteetin tunnistaminen oli vaikeutunut aivovaurion vuoksi.

Erään näkemyksen mukaan normaaliin kasvojen tunnistamiseen liittyy yksilöllisten kasvojen osien integraatio yleisiin (ns. *globaaleihin*) kasvojenpiirteisiin: tämä prosessi ei toimi normaalisti kasvojen tunnistamiseen liittyvissä häiriöissä (Saumier, Arguin & Lassonde 2001). Mikäli asiaa tarkastellaan kognitiivisten tiedonkäsittelymallien näkökulmasta, voidaan olettaa, että järjestelmässä jokin moduuli tai moduulien välillä olevat yhteydet ovat vaurioituneet. Tällöin kohdistetut kuntoutustoimet pyrkivät siihen, että järjestelmän osat toimisivat jälleen integraatiossa (ts. moduulien välillä olevat yhteydet toimisivat tarkoituksenmukaisesti). Kognitiivisten häiriöiden kuntoutuksessa voidaan esimerkiksi pyrkiä palauttamaan heikentynyt toiminto lähelle lähtötasoa tai korvata vaurioitunut toiminto uusilla toimintatavoilla (Nukari, Poutiainen, Nybo, Hämäläinen & Kalska 2012).

Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallin näkökulmasta kasvojen havaitsemisen häiriöiden syitä voidaan tarkastella kahdella eri tapaa. Mikäli henkilö havaitsee kasvot ainoastaan skemaattisina, vailla yksityiskohtia olevina muodostelmina, voisi syynä

olla vaurio varhaisessa havaitsemisessa (IOG, merkitty kuvaan 1). Mikäli henkilö havaitsee kasvot normaalisti, mutta ei kykene yhdistämään havaintokokemusta tietoon identiteetistä, voi syynä olla vaurio tai toimimattomat yhteydet ohimolohkon muistisysteemeihin (merkitty kuvaan 1).

Neuroplastisuudesta liittyen kasvojen havaitsemiseen tiedetään toistaiseksi vain vähän. De Gutisin, Bentinin, Robertsonin ja D'Espositon (2007) tapaustutkimuksessa kasvosokeuspotilas kävi läpi kuntoutuksen, jonka seurauksena potilaan kasvojentunnistuskkyky parani tilastollisesti merkitsevästi fMRI:llä ja EEG:llä tutkittuna. 90 päivän tauko harjoittelusta aiheutti kuitenkin taantumisen opituista kyvyistä.

Psykiatrisissa häiriöissä (kuten masennus ja skitsofrenia) identiteetin tunnistaminen toimii normaalisti, mutta ilmeen tunnistaminen on usein poikkeuksellista. Skitsofrenia-potilaat tunnistavat paremmin voimakkaita ilmeitä kuin heikkoja ja arvioivat virheellisesti neutraaleja kasvoja negatiivisesti värityneiksi (Kohler ym. 2008). Masennuspotilaat havaitsevat huonommin positiivisia ilmeitä: spatiaalinen tarkkaavaisuus ohjautuu potilailla voimakkaasti negatiivisiin ilmeisiin (Suslow, Junghanns & Arolt 2001).

Myös autismikirjon tiloissa ilmeiden tunnistaminen on vaikeutunut: tälle on muun muassa esitetty syyksi manteliumakkeen vaurioitumista, joka aiheuttaa vaikeuksia sosiaalisen tiedon havaitsemisessa ja sen linkittämisessä sosiaalisiin tilanteisiin liittyvän tiedon muistista hakemiseen (Adolphs, Sears & Piven 2001). Autismikirjon tilojen ryhmälle on kehitetty kuntouttavia tietokonesovelluksia kasvojentunnistuskyyvyn parantamiseen: lupaavia alustavia tuloksia on saatu (esim. Tanaka ym. 2010).

Kognitiotieteen tapa mallintaa mielen toimintaa voi osoittautua käyttökelpoiseksi myös psykiatristen tiedonkäsittelyhäiriöiden teoreettisessa selittämisessä (Revonsuo & Laine 2006). Muun muassa Capgrasin harhaluuloa, jossa potilas uskoo läheistensä mystisesti korvautuneen kaksoisolennoilla (roboteilla tai vastaavilla), on pyritty selittämään vaurioituneilla moduuleilla ja niiden välisillä yhteyksillä kasvojen prosessoinnissa (Ellis & Lewis 2001).

### 1.3. EEG ja tapahtumasidonnaiset jännitevasteet

Kasvojen havaitsemista on tutkittu verrattain paljon EEG:llä. Pään pinnalta tallennettu EEG-signaali kuvastaa suuren hermosolumäärän aiheuttamaa yhteistä sähköistä aktiivisuutta (Tatum 2014). Postsynaptiset potentiaalit ovat jännitteitä jotka aiheutuvat, kun välittäjäaineet sitoutuvat postsynaptisen solun reseptoreihin: ionikanavat aukeavat tai sulkeutuvat, ja johtavat näin asteittaiseen muutokseen solukalvon jännitteessä (Luck 2014). Eksitatoriset postsynaptiset potentiaalit virtaavat sisäänpäin (solun ulkoisesta tilasta solun sisäiseen) ja inhibitoriset postsynaptiset potentiaalit virtaavat ulospäin: näiden potentiaalien summa tuottaa EEG:llä havaittavia signaaleja (Tatum 2014). Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet ovat EEG-signaalissa havaittavia muutoksia jotka ovat ajallisesti lukittuneita sensorisiin, motorisiin tai kognitiivisiin tapahtumiin, ja jotka tarjoavat turvallisen ja ei-invasiivisen tavan tutkia aivotason prosesseja (Sur & Sinha 2009).

Keskiarvoistus on käytetyin tapa, jolla tapahtumasidonnaiset jännitevasteet irrotetaan jatkuvasta EEG-signaalista: tämä tapahtuu tallentamalla EEG-jaksoja (eng. *epochs*), jotka ovat ajallisesti lukittuneita saman ärsykkeen toistoihin koeasetelmassa (Rugg & Coles 1995). Yksi EEG-jakso kuvastaa siten keskiarvoistettua aivojen sähköistä aktiivisuutta kussakin tietyssä aikapisteessä. Näistä EEG-jaksoista on siten mahdollista tunnistaa erilaisia tapahtumasidonnaisia jännitevasteita. Jännitevasteen amplitudi kuvastaa kognitiivisen prosessoinnin tasoa tai voimakkuutta, ja komponentin latenssi kuvastaa prosessoinnin ajallista ulottuvuutta (Otten & Rugg 2005).

EEG-menetelmän vahvuus on erityisesti sen sopivuus kognitiivisten prosessien tutkimiseen. EEG:n ajallinen resoluutio on millisekuntien luokkaa, joten se tarjoaa tavan analysoida nopeasti muuttuvaa neuraalista aktiivisuutta (Altenmuller, Multe & Gerloff 2005).

EEG-menetelmän heikkoutena pidetään vajavaista spatiaalista resoluutiota: kallon pinnalta mitatut signaalijakaumat voivat olla käytännössä lähtöisin äärettömästä määrästä erilaisia kallonsisäisiä lähteitä (Rippon 2006). Signaalin lähdepaikannus

osoittautuu siis usein haasteeksi. On esimerkiksi mahdollista, että pään pinnalle kiinnitetyt elektrodit eivät sovellu yhtä hyvin tallentamaan signaalia uurteesta (kuten STS) kuin poimusta (kuten FG) johtuen muun muassa lähdevirran läheisyydestä tallentavaan elektrodiin (Said, Haxby & Todorov 2011).

#### **1.4. P1, N170 ja N250**

Positiivinen P1-vaste havaitaan noin 100 millisekuntia ärsykkeen esittämisen jälkeen (Hileman, Henderson, Mundy, Newell & Jaime 2011). Erään näkemyksen mukaan P1-vaste kuvastaa kasvojen havaitsemisen ensimmäistä vaihetta eli niin sanottua holistista prosessointia (Itier & Taylor 2001). Tällainen holistinen ja varhainen prosessointi sijoittuu Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallin mukaisesti alueelle IOG. Kuitenkin P1-vasteen sensitiivisyys juuri kasvoärsykkeille on kyseenalaista, koska vasteen on havaittu moduloituvan myös tarkkaavaisuuden ja tehtävän vaativuuden vaikutuksesta (Hileman ym. 2011).

Varhaisin, merkittävin ja eniten tutkittu kasvoärsykkeille sensitiivinen tapahtumasidonnainen jännitevaste on N170: kasvoärsykkeet aiheuttavat (verrattuna muihin ärsykkeisiin) johdonmukaisesti suuremman negatiivisen vasteen joka voidaan havaita okkipitotemporaalisilla elektrodeilla aikaikkunassa 140 - 200 millisekuntia ärsykkeen esittämisen jälkeen (Eimer 2011). N170-vasteen amplitudit ovat suurempia oikean puolimmaisissa elektrodeissa. Kappaleessa 1.1. todettiin oikean aivopuoliskon dominanssi liittyen kasvojen havaitsemisen prosesseihin. N170-vasteen sensitiivisyydestä kasvoärsykkeille kertoo erityisesti myös vasteen kytkös kasvosokeuteen. Kasvosokeuspotilailla N170-vasteen sensitiivisyys kasvoärsykkeille on heikompi verrattuna terveiden verrokkien N170-vasteeseen (Németh, Zimmer, Schweinberger, Vakli & Kovács 2014).

Hinojosan, Mercadon ja Carretién (2015) meta-analyysissä käsittäen 57 tutkimusta (joissa kasvoärsykkeiden ilmeet vaihtelivat) saatiin selville, että suurimmat N170-vasteen amplitudit tulivat vihaisille, pelokkaille ja illoisille kasvoille. Kuitenkin N170-vasteen moduloituminen havaittaessa eri ilmeitä on toistaiseksi kiistelty asia. Sen vuoksi kumuloituvan tutkimusnäytön saaminen on tärkeää. Rossionin (2014a) mukaan N170-vaste kuvastaa havaintoverkoston yleistä aktivoitumista, jonka vuoksi ei olisi

perusteltua olettaa, että vaste vaihtelisi luotettavasti ja säännönmukaisesti, kun havaitaan erilaisia kasvojen kategorioita (kuten ilmeitä). Toisaalta esimerkiksi Battyn ja Taylorin (2003) tutkimustuloksena oli, että positiiviset ilmeet aiheuttavat merkitsevästi varhaisemman N170-vasteen kuin negatiiviset ilmeet, ja että pelokkaiden kasvojen aiheuttama N170-vaste on amplitudiltaan suurempi kuin neutraalien tai yllättyneiden kasvojen aiheuttama vaste. EEG-aineiston referenssin valinta vaikuttaa N170-vasteen moduloitumiseen esitettäessä kasvoärsyksiä eri ilmeillä: vasteen amplitudi on voimakkaampi käytettäessä keskiarvoreferenssiä verrattuna mastoidireferenssiin (Rellecke, Sommer & Schacht 2013).

N170-vasteen on havaittu moduloituvan myös identiteetin suhteen. Tutkimuksessa, joissa kasvojen identiteetti oli tehtävän kannalta epäoleellinen ja tarkkaavaisuus pois suunnattuna kasvoärsyksiä, N170-vasteen amplitudi heikkeni etenevästi kasvoärsyksiä toistettaessa (Heisz, Wadder & Shedden 2006). Mikäli tarkkaavaisuus on suunnattuna kasvoärsykkeeseen, se aiheuttaa havaintoprosessien aktivoitumisen joka kerta, kun ärsyke esitetään: tällöin N170-vasteen amplitudin heikkeneminen havaittaisiin vain aiemmin tuntemattoman kasvoärsyksen toisella esittämiskerralla.

Kasvoärsyksiä toistaminen koeasetelmassa aiheuttaa vahvan moduloitumisen N250-vasteessa aikaikkunassa 200 – 300 millisekuntia alemmilla temporaalialueilla (Schweinberger, Pickering, Jentsch, Burton & Kaufmann 2002). Tanakan, Curranin, Porterfieldin ja Collinsin (2006) tutkimuksessa N250-vaste oli merkitsevästi pienempi uusille esitetyille kasvoärsyksiä kuin jo opituille (muistiin lujittuneille) kasvoärsyksiä. N250-vasteen arvellaan kuvastavan kasvomuistiprosesseja eli sitä, kun havaittu ärsyke yhdistetään muistiin lujittuneeseen representaatioon.

P1, N170 ja N250 -vasteet voidaan siis mieltää kuvastavan kasvojen prosessoinnin ajallista ulottuvuutta, alkaen karkeasta prosessoinnista siirtyen yhä edistyneempään.

## **1.5. Odotetut tulokset**

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää identiteetin, ilmeen ja ilmeen voimakkuuden vaikutuksia erilaisiin tapahtumasidonnaisiin jännitevasteisiin sekä

tehdä tulosten pohjalta päätelmiä aivotason prosessoinnista, kun havaitaan kasvoja. Aikaisempien tutkimustulosten perusteella oletetaan, että tutkimuksessa käytetyt ärsykkeet aiheuttavat selkeät P1, N170 ja N250 -vasteet. Aiemmissä tutkimuksissa kasvoärsykkeiden aiheuttamia vasteita on verrattu muiden ärsykkeiden (esim. talot) aiheuttamiin vasteisiin (kts. esim. Eimer 2000). Tämä tutkimus eroaa aiemmista tutkimuksista siten, että ainoastaan kasvojen ominaisuuksia on varioitu, eikä kasvojen lisäksi ole käytetty mitään muita ärsykejä. Toisin sanoen tutkitaan kasvojen ilmeiden ja identiteettien systemaattisen variaation vaikutuksia jännitevasteisiin kategorisen havaitsemisen sijaan.

Tässä tutkimuksessa kasvoärsykkeiden identiteetteihin on tehty paljon vaihtelua, ja koehenkilöiden tarkkaavaisuus on suuntautuneena ärsykkeisiin. Tämän pohjalta on mahdollista tehdä oletus, ettei N170-vasteen amplitudi välttämättä heikkene, kun tarkastellaan identiteettien aiheuttamaa vastetta.

## **2. MENETELMÄT**

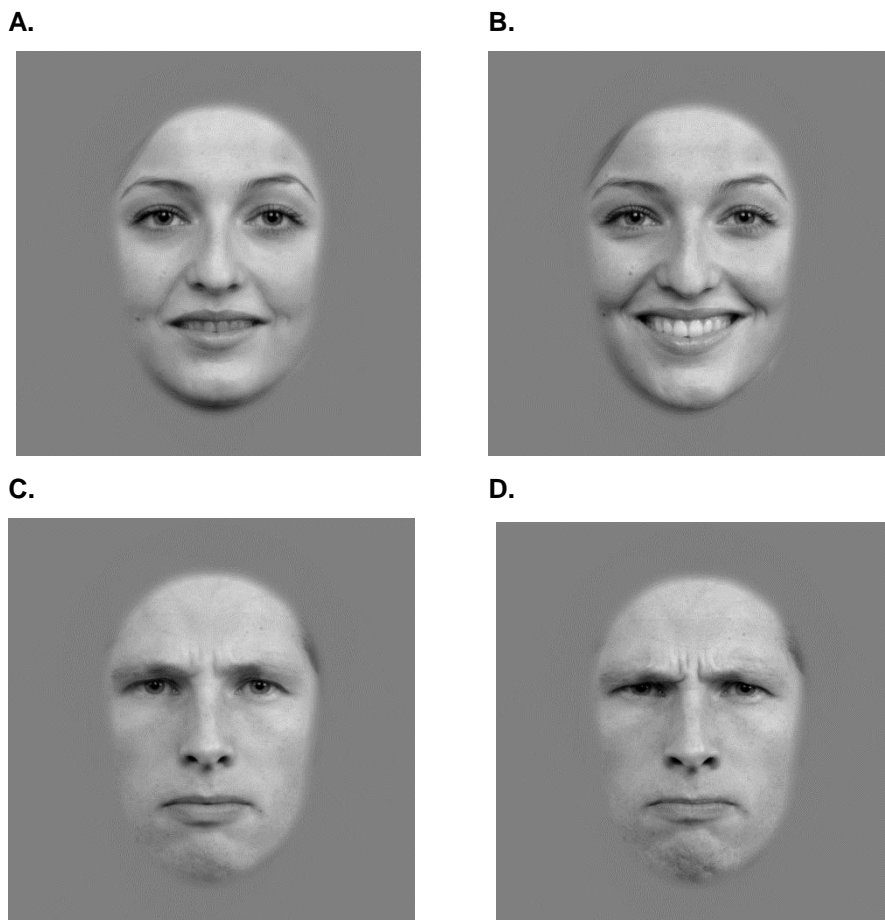
### **2.1. Koehenkilöt**

Tutkimukseen osallistui alun perin 18 koehenkilöä. Lopullisiin analyyseihin valikoitui 17 koehenkilöä, joista 10 oli naisia. Tutkimuksesta pois jätetty koehenkilö keskeytti EEG-mittauksen omasta tahdostaan. Koehenkilöt olivat iältään 19 – 35 -vuotiaita (keskiarvo 24 vuotta, hajonta 3.55). Kaikki koehenkilöt olivat oikeakätisiä ja heillä oli normaali tai normaaliksi korjattu näkö. Heillä ei ollut todettu neurologisia häiriöitä. Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja olivat tietoisia tutkimuksen kulusta. Tutkimus sai puoltavan lausunnon Helsingin yliopiston ihmistieteiden eettisen ennakoarvioinnin toimikunnalta.

### **2.2. Ärsykkeet**

Koeärsykkeinä käytettiin rajattuja värillisiä kasvokuvia harmaalla taustalla. Kasvokuvat saatiin FACES-tietokannasta (Ebner, Riediger & Lindenberger 2010). Hiukset olivat rajattu pois kasvokuvista. Kasvojen identiteettejä oli yhteensä 16 kappaletta: neljä alkuperäistä identiteettiä (kaksi miestä ja kaksi naista) sekä 12 morfattua identiteettiä (kaikki neljän alkuperäisen identiteetin kombinaatiot). Yksi

morfattu identiteetti oli yhdistelmä kahdesta alkuperäisestä identiteetistä siten, että 33% kasvonpiirteistä oli otettu yhdestä identiteetistä ja loput 67% toisesta identiteetistä. Ilmeitä oli yhteensä seitsemän kappaletta: neutraali, ilo, pelko ja viha sekä näiden morfautut keskiarvot (neutraali-ilo 50%, neutraali-pelko 50%, neutraali-viha 50%). Ilmeiden voimakkuuteen viitataan myöhemmin tekstillä arvoilla 100% ja 50% joista jälkimmäinen viittaa morfattuihin keskiarvoihin. 16 identiteetistä ja seitsemästä ilmeestä ärsykeitä muodostui yhteensä 112 kappaletta (esimerkkejä ärsykeistä kuvassa 2). Kasvokuvien korkeus oli 12.6 ja leveys 9.1 näkökulma-astetta. Kuvien RMS-kontrasti oli 0.2. Näytön kuva-alueen koko oli 48 x 30 cm, resoluutio 1200 x 1920 pikseliä, keskiluminanssi 50 cd/m<sup>2</sup> ja virkistystaajuus 100 Hz. Koehenkilöiden katseluetäisyys näyttöön oli 90 cm. Näytön kuva-alueen korkeus oli 19.1 ja leveys 30.5 näkökulma-astetta.



**Kuva 2.** Esimerkkikuvia ärsykeistä. A. Alkuperäinen naisidentiteetti ja ilo 50% B. Alkuperäinen naisidentiteetti ja ilo 100% C. Alkuperäinen miesidentiteetti ja viha 50% D. Alkuperäinen miesidentiteetti ja viha 100%. Nämä ärsykkeet (Langner ym. 2010) mukailevat kokeessa käytettyjä ärsykeitä, mutta eivät ole täysin samanlaisia, koska kokeessa käytetyt kasvotietokannasta (Ebner ym. 2010) peräisin olevat ärsykkeet eivät ole julkisia.

### **2.3. Kokeen kulku**

Kasvokuvaa esitettiin 500 millisekunnin ajan. Kuvien välillä oli kahden sekunnin tauko. Jokainen kasvokuva esitettiin kaksi kertaa yhdessä noin 10 minuuttia kestävässä mittauksessa, joita toistettiin jokaisella koehenkilöllä kolme kertaa. Ärsykkeiden esitysjärjestys sekä koekertojen esitysjärjestys olivat satunnaistettuja. Koehenkilön tehtävänä oli tunnistaa, oliko kuvassa mies tai nainen painamalla nappia 1 tai 2. Morfattujen identiteettien kohdalla oikea vastaus tarkoitti sen sukupuolen oikein tunnistamista, josta koostui 67% identiteetistä. Kokeet suoritettiin Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikön EEG-laboratoriossa Helsingin yliopiston käyttäytymistieteiden laitoksella vuoden 2016 huhtikuun ja toukokuun välisenä aikana. Ennen EEG-mittauksen alkua koehenkilöille näytettiin muutamia ärsykekuvia ja heille ohjeistettiin tehtävä, joka heidän tuli suorittaa mittauksen aikana. Samat koehenkilöt osallistuivat myös fMRI-mittaukseen, jossa käytettiin samaa koeasetelmaa. Puolet koehenkilöistä osallistuivat fMRI-mittaukseen ensin ja sen jälkeen EEG-mittaukseen, kun taas puolet koehenkilöistä osallistuivat mittauksiin päinvastaisessa järjestyksessä.

### **2.4. Jännitevasteiden rekisteröinti**

Jännitevasteet rekisteröitiin Biosemi ActiView -laitteiston ja -ohjelmiston avulla käyttäen 64 hopeakloridiaktiivi-elektrodia 10-20 elektrodisijoittelun mukaisesti (EEG-päähine esitetty kuvassa 4). Elektrodien kiinnityksessä päänahkaan käytettiin elektrodipastaa. Mittauksessa näytteenottotaajuudeksi asetettiin 1024 Hz. Referenssi-elektrodeina mittauksessa käytettiin oikeaa ja vasenta mastoidi-elektrodia.

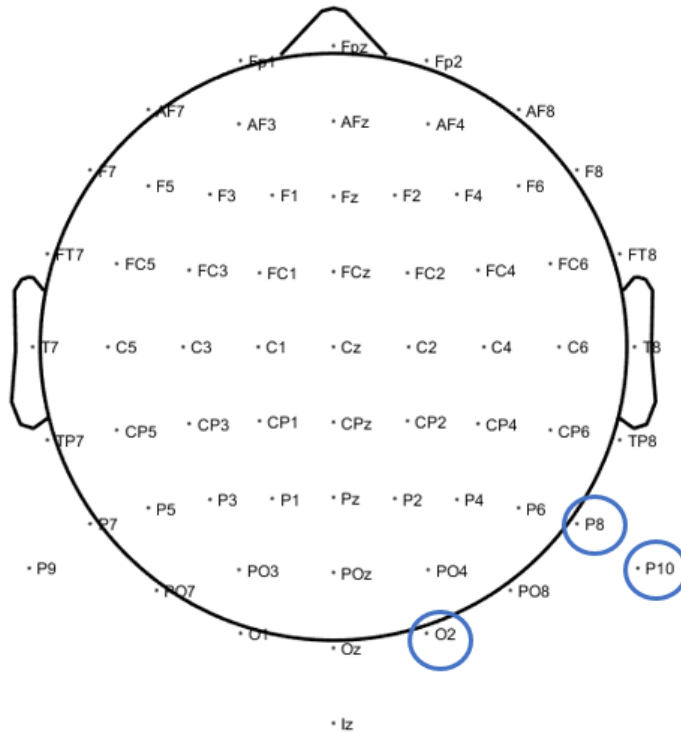
### **2.5. Tulosanalyysi**

#### **2.5.1. EEG-aineisto**

EEG-aineiston esikäsittely suoritettiin Matlab (MathWorks Inc.) -ohjelmistolla käyttäen EEGlab lisäosaa (Swartz Center for Computational Neuroscience).

EEG-aineiston ylipäästösuodatuksen rajaksi asetettiin 1 Hz ja alipäästösuodatuksen rajaksi asetettiin 30 Hz. Näytteenottotaajuus muutettiin 256 Hz. Huonot EEG-kanavat tunnistettiin Artifact Subspace Reconstruction (ASR) -menetelmän avulla ja poistettiin. EEG-signaalien lineaarikombinaatiot eroteltiin käyttäen Independent Component Analysis -menetelmää ja Fast ICA -algoritmia. EEGlab -ohjelman ADJUST-lisäosan avulla tunnistettiin ja poistettiin muun muassa silmänliikkeistä ja lihasjännityksestä aiheutuneet artefaktat EEG-aineistossa. EEG-aineisto referoitiin uudelleen käyttämällä keskiarvoreferenssiä. Lopuksi poistetut EEG-kanavat interpoloitiin.

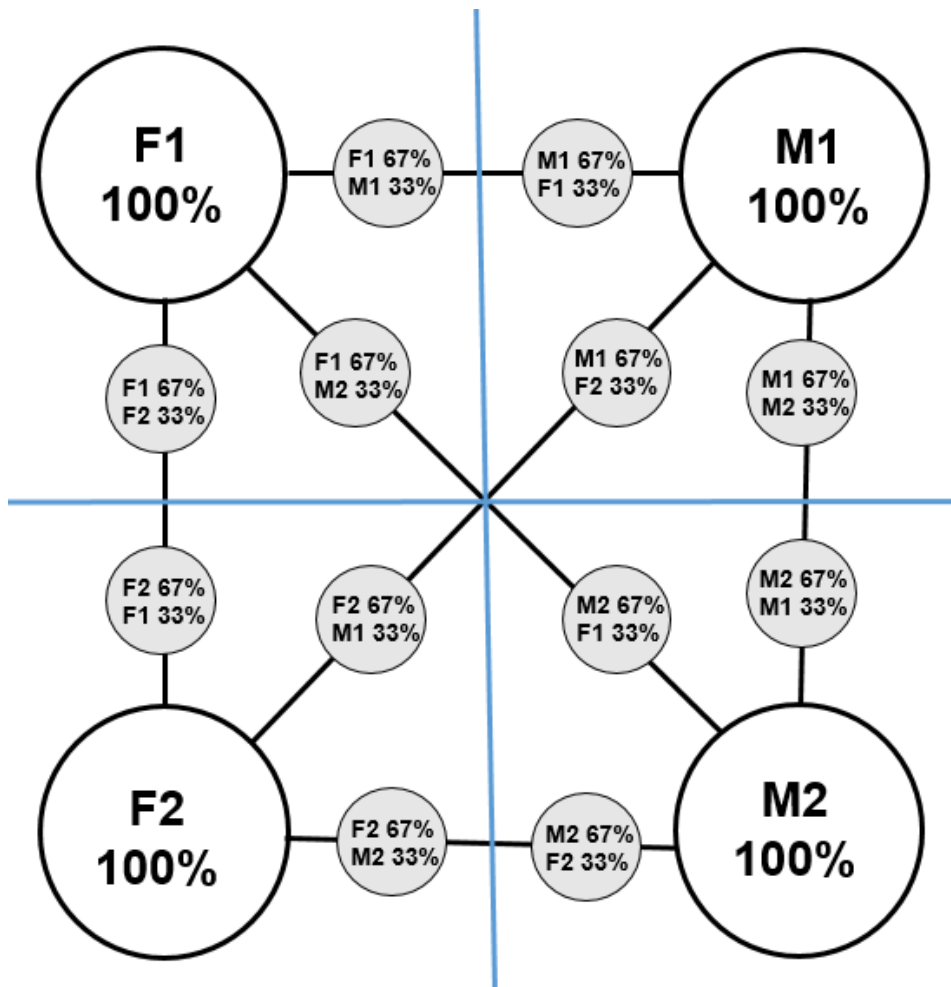
EEG-jaksojen pituudeksi määritettiin seuraavat: aloituskohta -0.1 sekuntia ennen ärsykettä ja lopetuskohta 1 sekunti ärsykkeen esittämisen jälkeen. Tämä toistettiin kaikkien koehenkilöiden kaikille koetilanteille. Tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden määrittämiseksi koehenkilöiden EEG-jaksot keskiarvoistettiin ensin koehenkilön sisällä ja sitten koehenkilöiden yli. Tarkastellut elektrodit ja niiden aikaikkunat määritettiin. P1-vasteelle määritettiin elektrodi O2 (kts. esim. Itier & Taylor 2004) ja aikaikkuna 90 – 120 millisekuntia. N170-vasteelle määritettiin elektrodi P8 ja aikaikkuna 140 – 200 millisekuntia (kts. esim. Eimer 2011). N250-vasteelle määritettiin elektrodi P10 (kts. esim. Schweinberger ym. 2002) ja aikaikkuna 220 – 280 millisekuntia. Kuvassa 3 on esitetty tarkasteltujen elektrodien sijainti EEG-päähineessä.



**Kuva 3.** 64 elektrodin EEG-päähine ja yksimuuttuja-analyyseissa tarkastellut elektrodit (ympyröity vaaleansinisellä).

Jännitevasteiden huippuamplitudit ja huippulatenssit (maksimiarvot) määritettiin edellä mainituissa aikaikkunoissa ja elektrodeissa. Jännitevasteet 16 identiteetille saatiin keskiarvoistamalla ilme-koetilanteiden yli ja vastaavasti ilmeille keskiarvoistamalla jännitevasteet identiteettien yli. Huippuamplitudit ja huippulatenssit laskettiin identiteeteille samasta aikaikkunasta ja elektrodilta kuin ilme-koetilanteissa. Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics -ohjelmistolla. Kuvassa 4 on esitetty havainnollistava kuva identiteettien järjestäytymisestä neljään ryhmään. Tätä ryhmittelyä noudatettiin analyyseissa.

Toistettujen mittausten varianssianalyysin sfäärisyys testattiin Mauchlyn testillä: tulos oli merkitsevä kaikissa tehdyissä testeissä, joten sfäärisyyden oletus ei täyttnyt. Greenhouse-Geisser -korjausta käytettiin vapausasteisiin ja p-arvoon.



**Kuva 4.** Kokeessa käytetyt kasvoärsykkeiden identiteetit ja morfattujen identiteettien avaruus. F1, F2, M1 ja M2 viittaavat alkuperäisiin identiteetteihin. F1 ja F2 viittaavat naispuolisiin identiteetteihin, kun taas M1 ja M2 viittaavat miespuolisiin identiteetteihin. Alkuperäisten identiteettien morfattuja muotoja edustavat harmaat ympyrät. Morfimuodot koostuvat yhdistetyistä kasvonpiirteistä jotka on otettu kahdesta eri identiteetistä. Kasvonpiirteiden prosenttiosuudet on merkitty kuvaan. Vaaleansininen viiva erottelee identiteettiryhmät toisistaan, muodostaen yhteensä neljä erilaista identiteettiryhmää.

### 2.5.2. Tehtäväsuoriutuminen

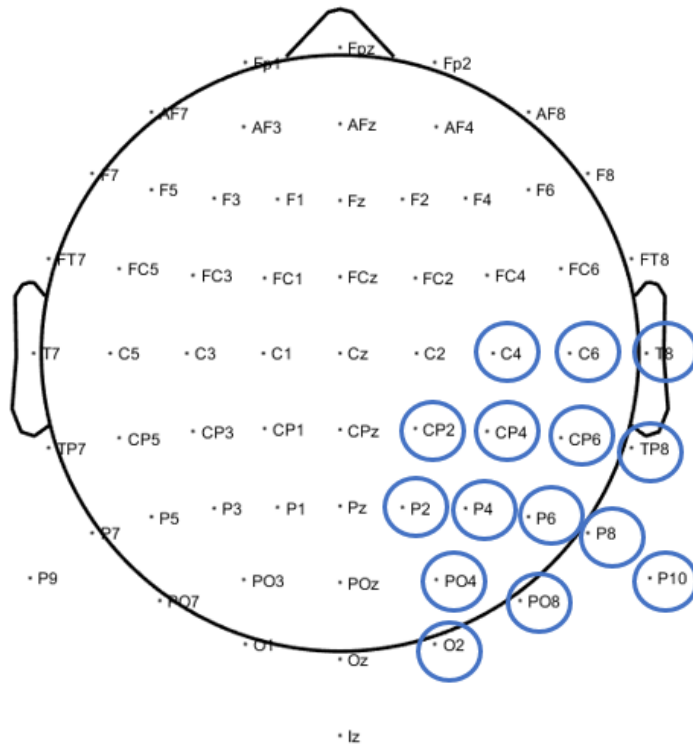
Koehenkilöiden tehtäväsuoriutuminen analysoitiin lokiaineistosta, joka oli tallennettu EEG-mittauksen aikana. Näihin olivat tallennettu koehenkilöiden napinpainallukset jokaisella kolmella mittauskerralla. Oikeiden vastausten prosentuaalinen osuus määritettiin kolmen mittauskerran keskiarvona.

### 2.5.3. Monimuuttuja-analyysit

Yksimuuttuja-analyysien lisäksi tutkittiin ilmeiden ja identitettien vaikutusta käyttäen Representational Similarity Analysis (RSA) -menetelmää ja erilaisuusmatriiseja (eng. *representational dissimilarity matrix*, RDM). Erilaisuusmatriisin solut koostuvat arvoista jotka kuvastavat erilaisuutta aktivaatiokuvioissa jotka liittyvät eri koetilanteisiin (Kriegeskorte, Mur & Bandettini 2008). Erilaisuusmatriisi saadaan, kun 1:stä vähennetään jännitevasteiden välinen korrelaatiomatriisi: erilaisuusmatriisi on siten symmetrinen nolladiagonaalin molemmiin puolin. Tässä tutkimuksessa käytettiin Spearmanin rho -korrelaatiokerrointa. Erilaisuusmatriisien etuna on se, että niillä voidaan tutkia samanaikaisesti kymmeniä eri koetilanteita ja niiden välisiä yhdysvaikutuksia. Erilaisuusmatriisit perustuvat siis korrelaatioon ja suhteisiin. EEG-aineistoon sovellettuna tällä menetelmällä tarkastellaan jännitevasteiden potentiaaleja siten, että niiden polariteetti-erot muuttuvat merkityksettömäksi. Tarkastelussa on ainoastaan jännitevasteiden erilaisuus toisiinsa nähden.

Monimuuttuja-analyysiin otettiin mukaan 15 kappaletta oikean puoleisen okkipitaalilohkon elektrodia (kuva 5) jotka olivat C4, C8, T8, CP8, CP4, CP6, TP8, P2, P4, P6, P8, P10, PO4, PO8 ja O2. Tutkimuksessa tarkasteltujen elektrodien valinta perustui oletukseen kasvojen havaintoprosessien lateralisoitumisesta oikealle ja tämän vaikutuksesta jännitevasteiden amplitudeihin (kts. esim. Rossion 2014b, Eimer 2011).

Erilaisuusmatriiseja laskettiin yhteensä 94 kappaletta, peräkkäisistä 11.7 millisekunnin aikajaksoista. Erilaisuusmatriisit laskettiin siten, että ensin valittiin 15 elektrodin jännitevasteet 11.7 millisekunnin ajalta yksittäiselle ärsykkeelle ja tästä muodostettiin vektori. 256 Hz näytteenottotaajuuden vuoksi 11.7 millisekunnin aikaikkuna sisälsi kolme aikapistettä. Yksi vektori sisälsi siten 45 arvoa (15 x 3). Tämä toistettiin jokaiselle 112 ärsykkeelle ja lopuksi laskettiin näiden 112 vektorin välinen korrelaatiomatriisi. Tämä korrelaatiomatriisi taas vähennettiin yhdestä, jolloin lopputulos oli erilaisuusmatriisi (arvo 0 jos jännitevasteet täysin samanlaiset (korrelaatio =1), arvo 2 jos jännitevasteet täysin erilaiset (korrelaatio = -1)). Lopputuloksena saatiin siis 94 kappaletta 112 x 112 erilaisuusmatriiseja (esimerkki mitatusta erilaisuusmatriisista kuvassa 10).



**Kuva 5.** 64 elektrodin EEG-päähine ja monimuuttuja-analyyseissa tarkastellut elektrodit (ympyröity vaaleansinisellä).

Mitattujen erilaisuusmatriisin lisäksi luotiin ilmeitä ja identiteettejä kuvaavia kategorisia malleja, joita havainnollistettiin myös erilaisuusmatriiseilla (kuvat 11 ja 12). Tällöin mallien ja mitatun aineiston vertailu onnistui suoraviivaisesti. Analyysin oletuksena oli, että kasvojen ilmettä ja identiteettiä systemaattisesti muutettaessa jännitevasteiden erilaisuus kasvaa vastaavalla tavalla. Malleilla ennustettiin näitä muutoksia ja ne toimivat analyysin regressoreina.

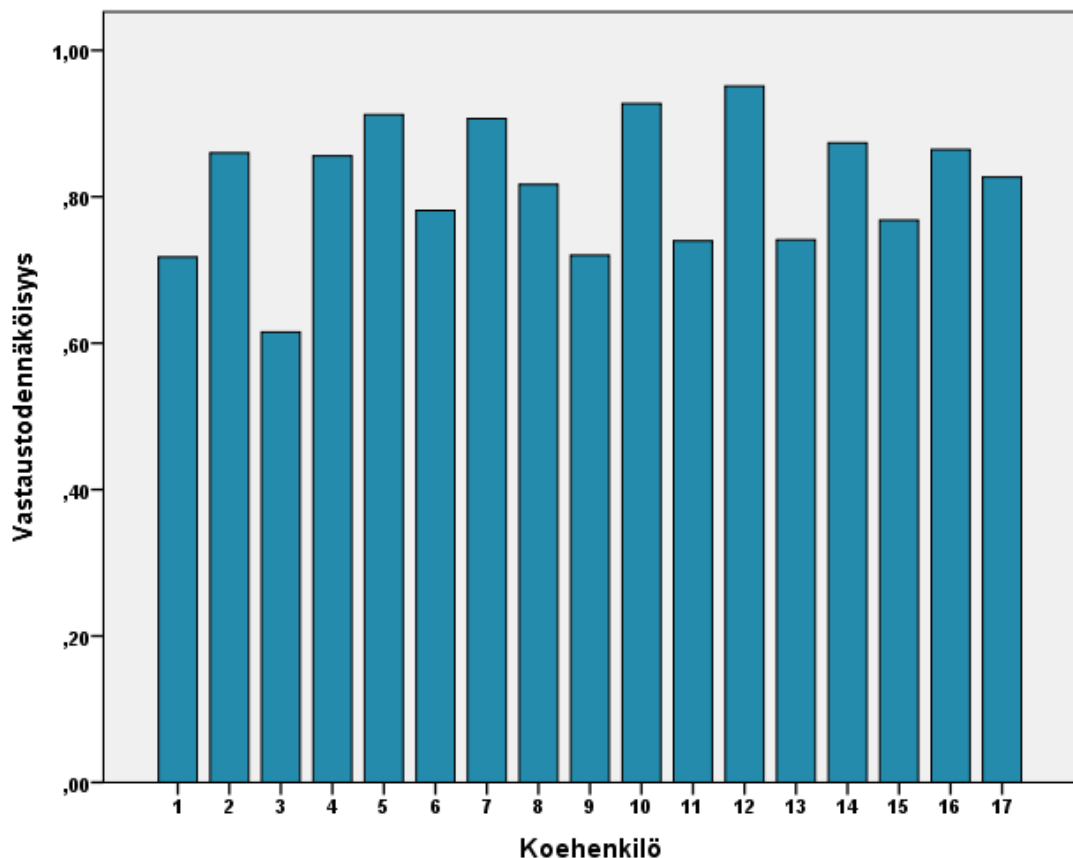
EEG-jaksojen 94 aikapisteestä laskettuihin erilaisuusmatriiseihin sovitettiin yleinen lineaarinen malli (eng. *general linear model*, GLM), joka koostui kahdeksasta regressorista ( $x$ ) (mallimatriisit, kuvat 11 ja 12), joille määritettiin betakerroin ( $\beta$ ). Tämä toistettiin kaikille koehenkilöille ja koehenkilöiden yli. 94 aikapisteen betakertoimien poikkeavuus nolosta testattiin t-testillä ja lisäksi tehtiin False Discovery Rate -korjaus. Analyysin tuloksena saadut betakertoimet kertoivat siis kuinka paljon jokainen regressori itsenäisesti selittää mitattua jännitevastejakaumaa. Lisäksi tehtiin sovitettu malli (ts. summamatriisi), jolla havainnollistettiin mitattua erilaisuusmatriisia kolmella eri ajanhetkellä (100, 170 ja 250 ms). Sovitettu malli

laskettiin painottamalla jokainen regressori kyseisen ajanhetken betakertoimella. RSA-analyysit tehtiin Matlabin RSA toolbox -lisäosalla (MRC Cognition and Brain Science Unit & Neurolex Group; Nili ym. 2014).

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Tehtäväsuoriutuminen

Koehenkilöiden suoriutuminen analysoitiin liittyen tehtävään, jossa heidän piti vastata kysymykseen ”onko kuvan henkilö mies vai nainen?” painamalla nappia 1 tai 2. Niissä tapauksissa joissa identiteetti oli morfi, oikein vastaaminen tarkoitti, että koehenkilö antoi vastauksena sen sukupuolen, josta koostuivat 67% morfin kasvopiiirteistä. Kuvassa 6 on esitetty koehenkilöiden keskiarvoistettu vastustodennäköisyys (oikeiden vastausten osuus) joka on laskettu kolmen mittauskerran keskiarvona.



**Kuva 6.** Koehenkilöiden vastaustodennäköisyydet kolmen mittauskerran keskiarvona.

Oikeiden vastausten todennäköisyys yli koehenkilöiden oli 0.82 (hajonta 0.09).

Tulokset osoittavat, että koehenkilöt eivät antaneet vastauksiaan satunnaisesti. Tehtävä oli tarkoitukseensa nähden sopiva ja riittävän vaativa. Koehenkilöt olivat siis joutuneet ylläpitämään tarkkaavaisuuttaan koko mittauksen ajan.

### 3.2. Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet

Toistettujen mittausten varianssianalyysissa jossa faktoreina olivat kolme ilmeen voimakkuuden tasoa (neutraali sekä ilme 50% ja ilme 100%), koetilanteiden välillä ei ollut merkitsevää eroa huippuamplitudeissa P1 [F(1,357, 21.170)=0.827, p=.408], N170 [F(2,32)=2.522, p=.096] eikä N250 [F(2,32)=0.268, p=.767] -vasteiden suhteen.

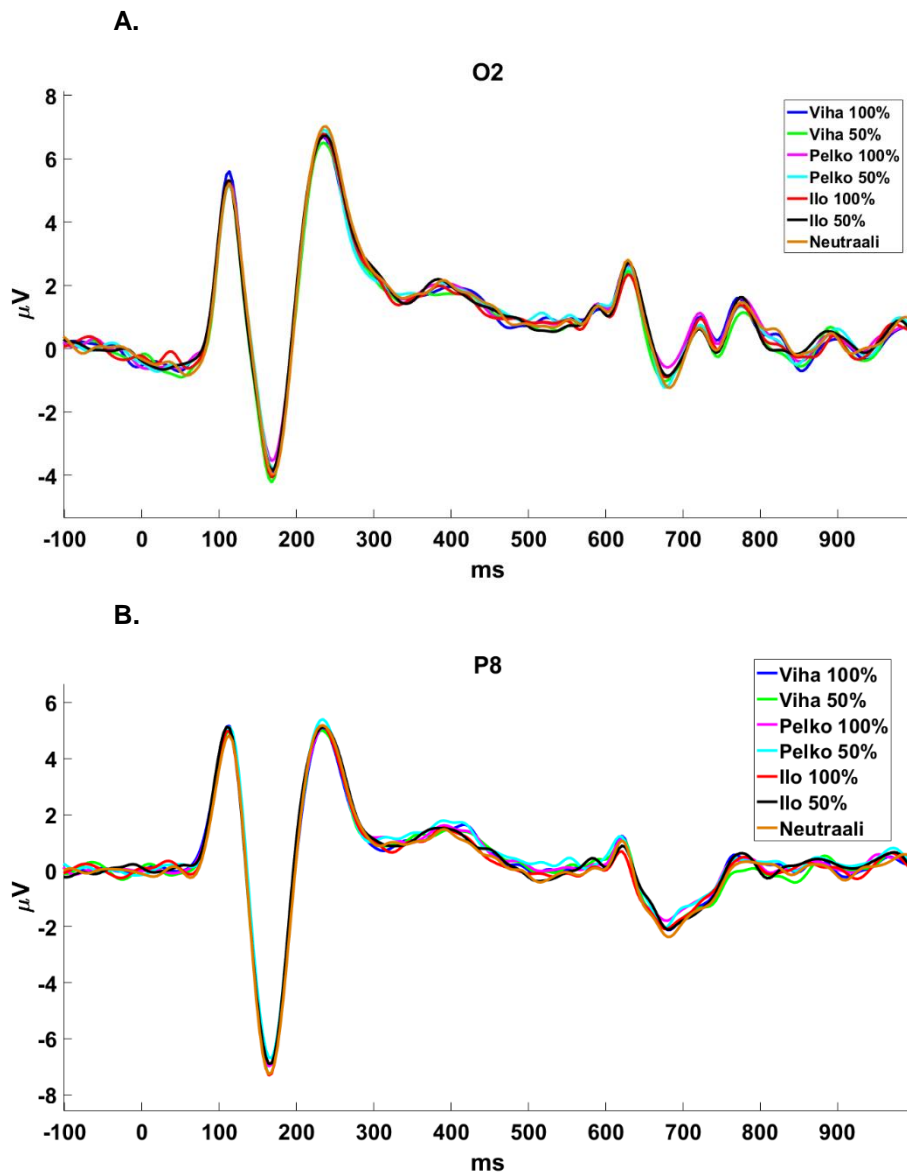
2 x 3 toistettujen mittausten varianssianalyysissa jossa testattiin ilmeen voimakkuuden ja ilmeen yhdysvaikutusta (voimakkuuden kaksi tasoa 50% ja 100%): yhdysvaikutusta ei ollut P1 [F(1,234, 19.750)=1.120, p=.317], N170 [F(2,32)=0.129, p=.880] eikä N250 [F(2,32)=1.246, p=.301] -vasteessa.

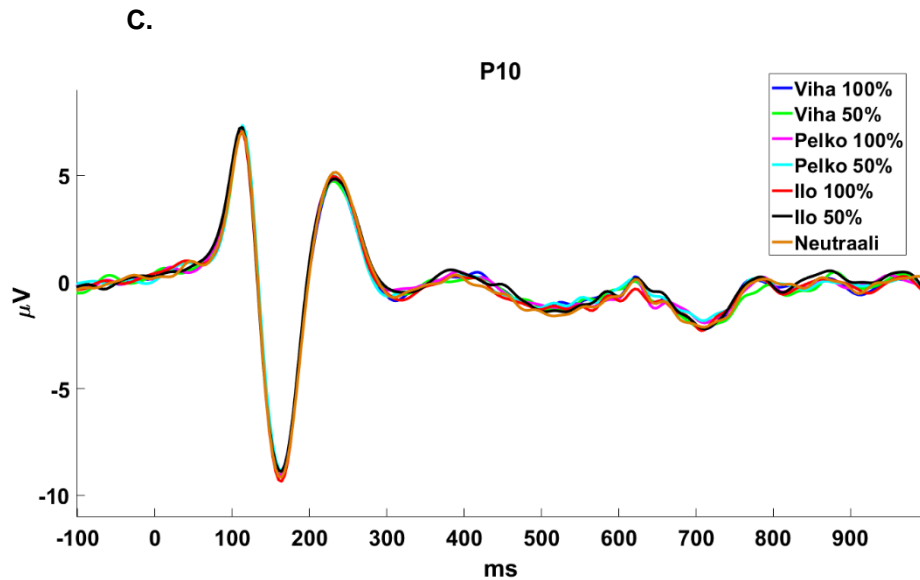
2 x 2 toistettujen mittausten varianssianalyysissa identiteetti-koetilanteiden huippuamplitudeille jossa faktoreina olivat neljä identiteettiryhmää (kuva 4 kappaleesta 2.5.1), identiteetin ja identiteetin tason välillä ei ollut yhdysvaikutusta [F(1,16)=3.000, p=.103].

Ilme- ja identiteetti -koetilanteiden huippuamplitudien normalisuus testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Huippuamplitudit noudattivat normaalijakaumaa kaikkien vasteiden kaikissa koetilanteissa, paitsi N170-vasteen neljässä identiteetti-koetilanteessa (p-arvo vaihteli välillä .025 – .050) sekä N170-vasteen viha 100% koetilanteessa (p=.041).

Kuvassa 7 on esitetty jännitevasteet ilme-koetilanteissa elektrodeilla O2, P8 ja P10. Kuvissa on havaittavissa selkeästi muodostuneet jännitevasteet: ensimmäinen (positiivinen) huippu on P1-vaste, toinen (negatiivinen) huippu on N170-vaste ja kolmas (positiivinen) huippu on N250-vaste. Jännitevasteet ovat muodoltaan melko samanlaisia, mutta joitain pieniä eroavaisuuksia on myös havaittavissa: esimerkiksi kuvassa 7.A viha 100% poikkeaa muista koetilanteista P1-vasteen aikaikkunassa.

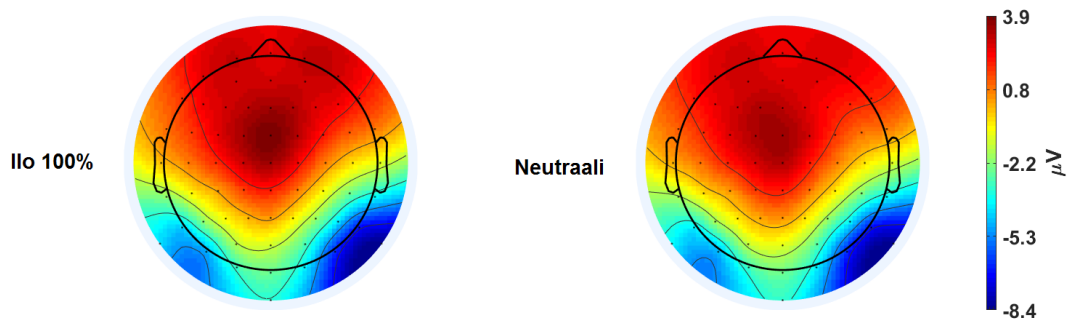
Kuvassa 7B neutraali poikkeaa muista N170-vasteen aikaikkunassa. Kuvassa 7C ilo 100% poikkeaa muista. Huomioitavaa on myös, että N250-vaste on vaihtanut polariteettia positiiviseen suuntaan, vaikka vaste on nimetty negatiivisen polariteetin mukaisesti.





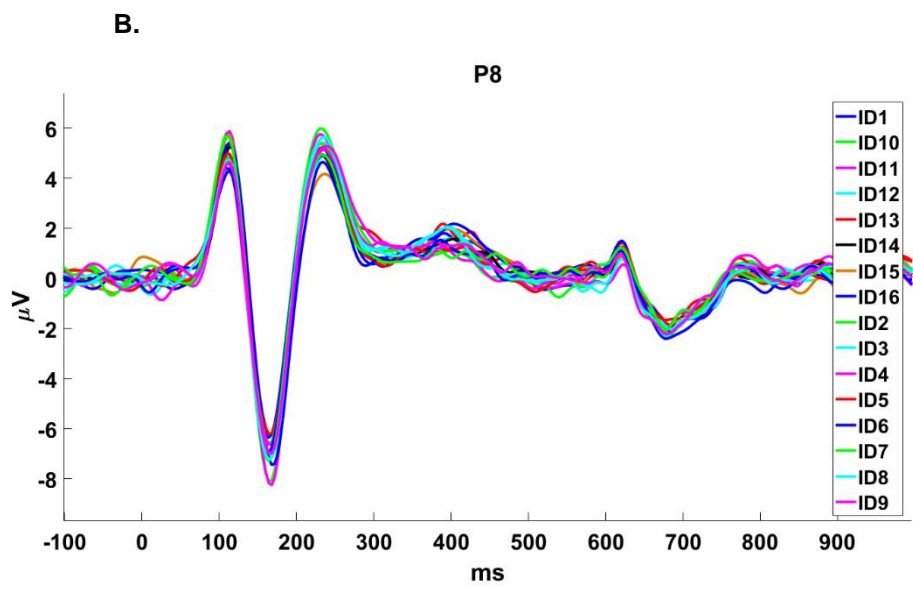
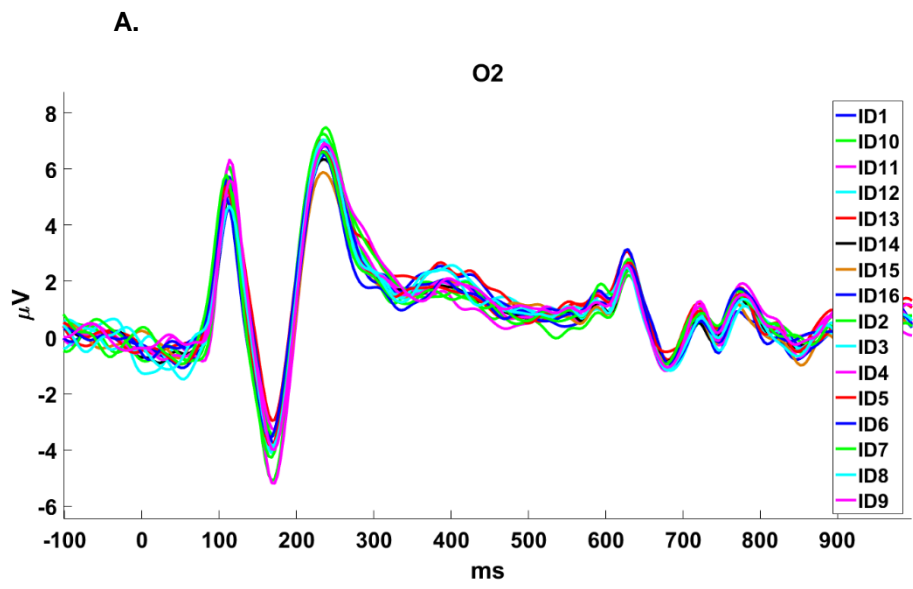
**Kuva 7.** Jännitevasteet ilme-koetilanteissa. A. Elektrodi O2. B. Elektrodi P8. C. Elektrodi P10.

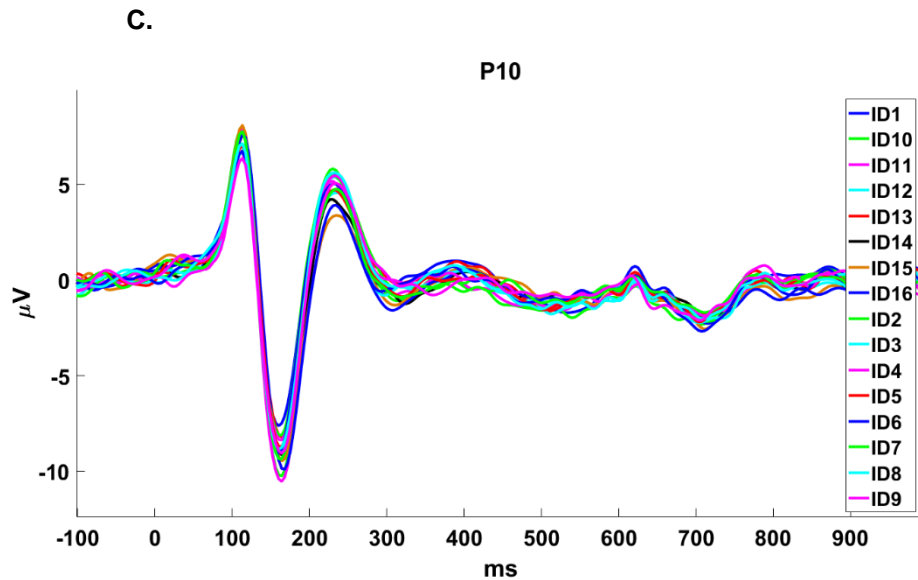
Kuvassa 8 on esitetty mitattujen jännitevasteiden jakauma pään pinnalla koetilanteissa ilo 100 % ja neutraali: jakauma on laskettu kaikkien 64 elektrodin arvojen perusteella. Kuvasta nähdään, että negatiivisimmat polariteetit keskittyvät okkipitaalilohkolle. Lateralisaatio oikealle aivopuoliskolle on myös havaittavissa.



**Kuva 8.** Jännitevasteiden jakauma pään pinnalla ajanhetkellä 170 millisekuntia kahdessa koetilanteessa 64 elektrodilta laskettuna. Vasemmalla ilo 100% ja oikealla neutraali. Värit kuvastavat potentiaalia mikrovolteissa, negatiivinen polariteetti on merkitty sinisellä ja positiivinen polariteetti punaisella.

Kuvassa 9 on esitetty jännitevasteet identiteetti-koetilanteissa elektrodeilla O2, P8 ja P10. Kuvasta on havaittavissa, että identiteetti-koetilanteet ovat aiheuttaneet suurempaa vaihtelua toistensa välillä kuin ilme-koetilanteet. Myös tässä on havaittavissa N250-vasteen polariteetin vaihtuminen.





**Kuva 9.** Jännitevasteet identiteetti-koetilanteissa. A. Elektrodi O2. B. Elektrodi P8. C. Elektrodi P10.

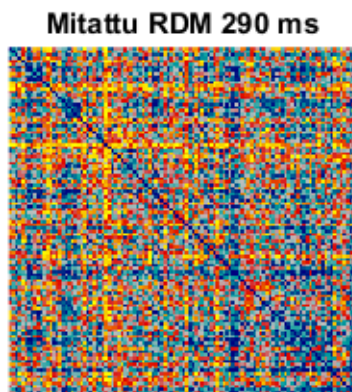
### 3.3. Monimuuttuja-analyysit

Jännitevasteiden yksimuuttuja-analyysissä ei saatu tilastollisesti merkitseviä tuloksia, johon syynä voi olla se, että keskiarvoistukseen perustuva analyysi ei ole riittävän sensitiivinen havaitsemaan pieniä muutoksia jännitevasteissa. Tilanteiden väliset monimutkaiset yhdysvaikutukset ovat myös voineet peittää tulokset. Siksi aineistoa analysoitiin myös monimuuttujamenetelmin, joiden pitäisi olla sensitiivisempiä menetelmiä, ja joilla yhdysvaikutukset saadaan paremmin esiin.

Mitatun EEG-aineiston laadun voi kuitenkin olettaa olevan hyvä, koska EEG-jaksoista erottuivat selkeästi P1, N170 ja N250 -vasteet tyypillisine amplitudeineen. Sen vuoksi tilastollisen merkitsevyyden puuttuminen yksimuuttuja-analyysissä ei voi olettaa olevan ainakaan virheellisesti suoritetusta EEG-mittauksesta johtuvaa.

Kuvassa 10 on esimerkki mitatusta erilaisuusmatriisista ajanhetkellä 290 millisekuntia. Matriisi on järjestetty siten, että ilmeet ovat esitetty blokkeina (kuva 11: 50% harmaa, 100% keltainen) ja identiteetit ruudukoina (kuva 12: 67% harmaa, 100% keltainen). Mitatusta matriisista voi nähdä, millä tavalla vektorien välistä erilaisuutta ( $1 - \text{korrelaatiokerroin}$ ) kuvastetaan lämpökartan avulla. Värit kuvastavat siis erilaisuuden määrää soluissa. Tummansininen kuvastaa erilaisuuden puutetta, eli

tilannetta jolloin arvot ovat keskenään täysin samanlaisia. Tämä on havaittavissa kuvioiden nolladiagonaalilla, joka tarkoittaa, että koekerran aiheuttama aktivaatio korreloi itsensä kanssa 100 % eli erilaisuus on 0. Mitä lämpimämpi väri on, sitä suurempaa erilaisuus on. Kuvasta 10 havaitaan esimerkiksi, että muutamat yksittäiset kasvot ('keltaiset viivat') ovat aiheuttaneet poikkeavat vasteet muihin kasvoihin verrattuna.

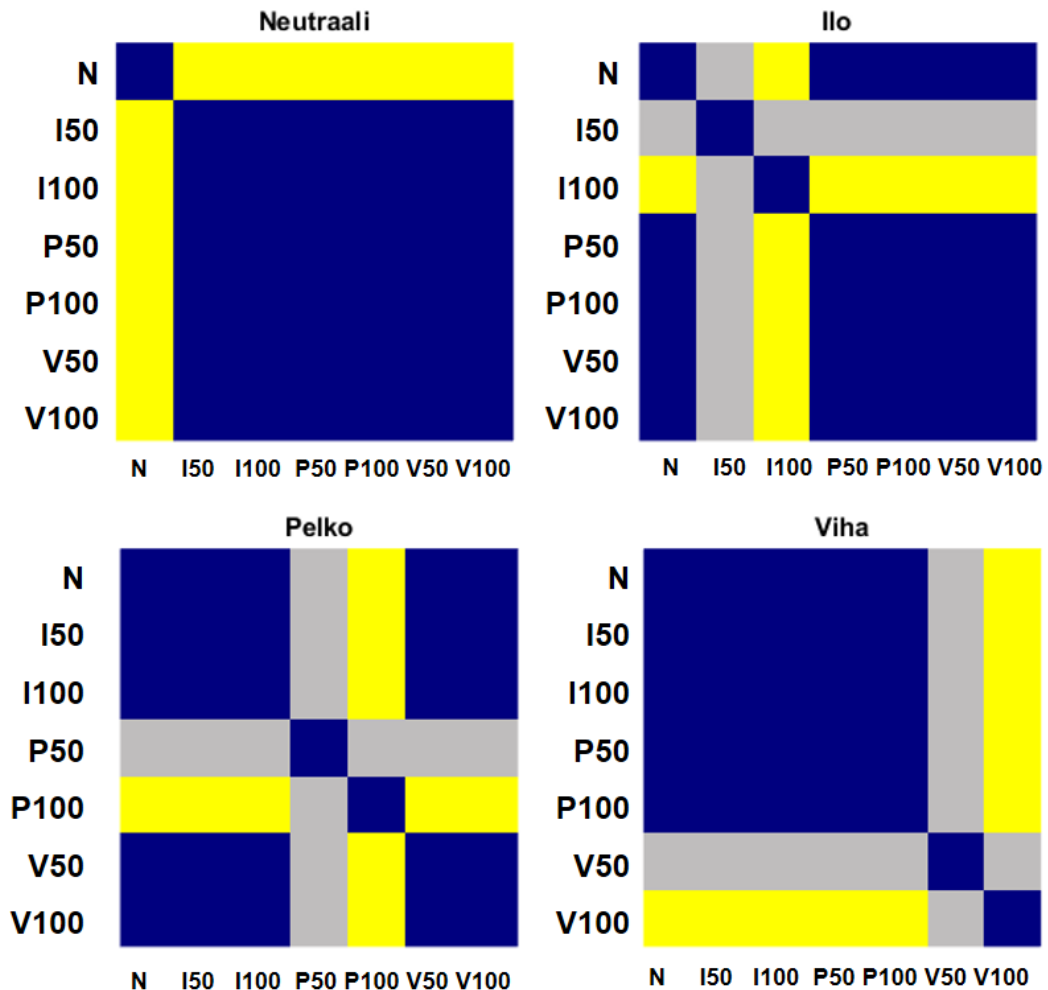


**Kuva 10.** Mitattu erilaisuusmatriisi ajanhetkellä 290 millisekuntia. Kuva havainnollistaa erilaisuusmatriisin rakennetta ja on siten esimerkkinä. Kyseinen ajanhetki ei kuitenkaan kuulunut tutkimuksen kiinnostukseen.

Matriisimuodossa olevaan EEG-aineistoon sovitettiin yleinen lineaarinen malli, jonka avulla etsittiin betakertoimet jokaiselle regressorille (kuvat 11 ja 12) jokaisesta aikapisteestä. Toisin sanoen testattiin kuinka paljon ilmeet ja identiteetit selittävät aineiston vaihtelua, kun oletettiin, että systemaattista samankaltaisuutta esiintyy 50% ja 100% ilmeiden sekä 67% ja 100% identiteettien välillä. Betakertoimien tilastollinen ero nolosta eri ajanhetkinä testattiin t-testien avulla. Tämän lisäksi tuloksiin sovitettu malli visualisoitiin kolmena ajanhetkenä laskemalla betakertoimilla kerrottujen regressorien summa (kuva 15).

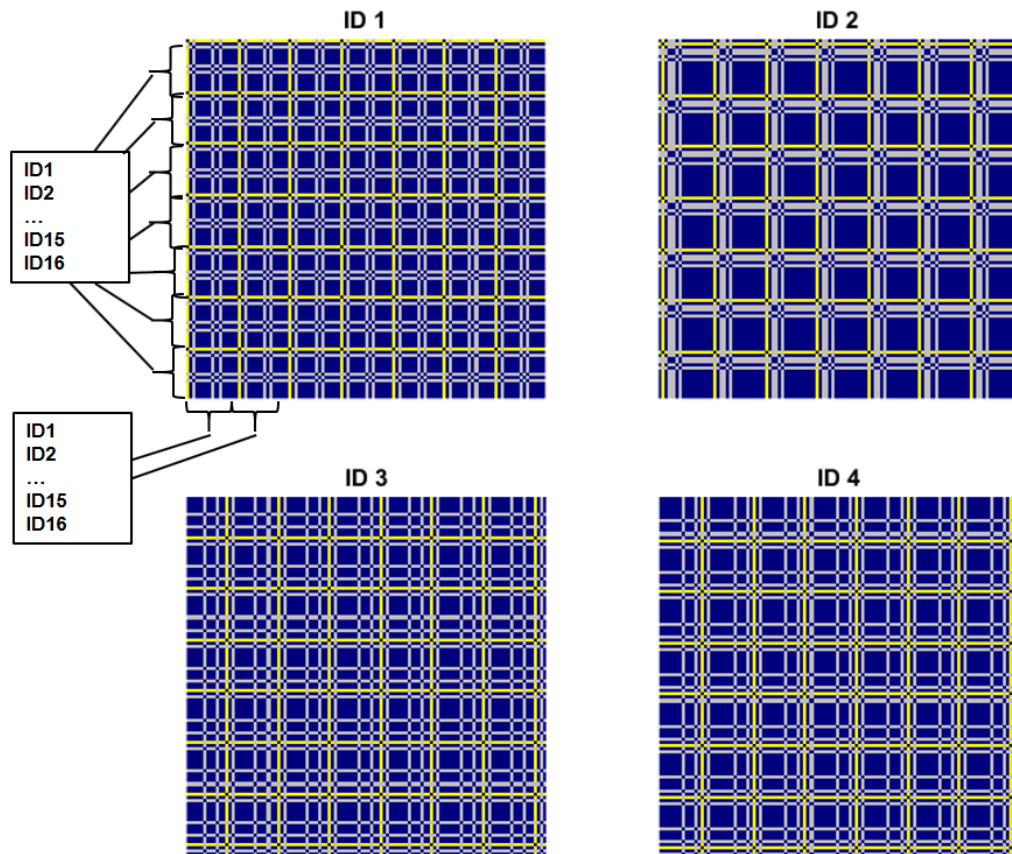
Kuvassa 11 on esitetty ilme-koetilanteille kategoriset mallimatriisit, joita käytettiin yleisen lineaarisen mallin regressoreina. Mallit kuvastavat sitä, että tietty ilme (keltainen) aiheuttaa muista ilmeistä poikkeavan vasteen, muut ilmeet aiheuttavat samanlaiset vasteet keskenään (sininen), tai että ilmeen aiheuttama vaste muistuttaa osittain muiden ilmeiden vasteita (harmaa). Esimerkiksi vasteet ilo 100% ilmeelle

(keltainen) poikkeavat vähemmän ilo 50% ilmeen vasteista (harmaa), kuin vasteista muille ilmeille (sininen).



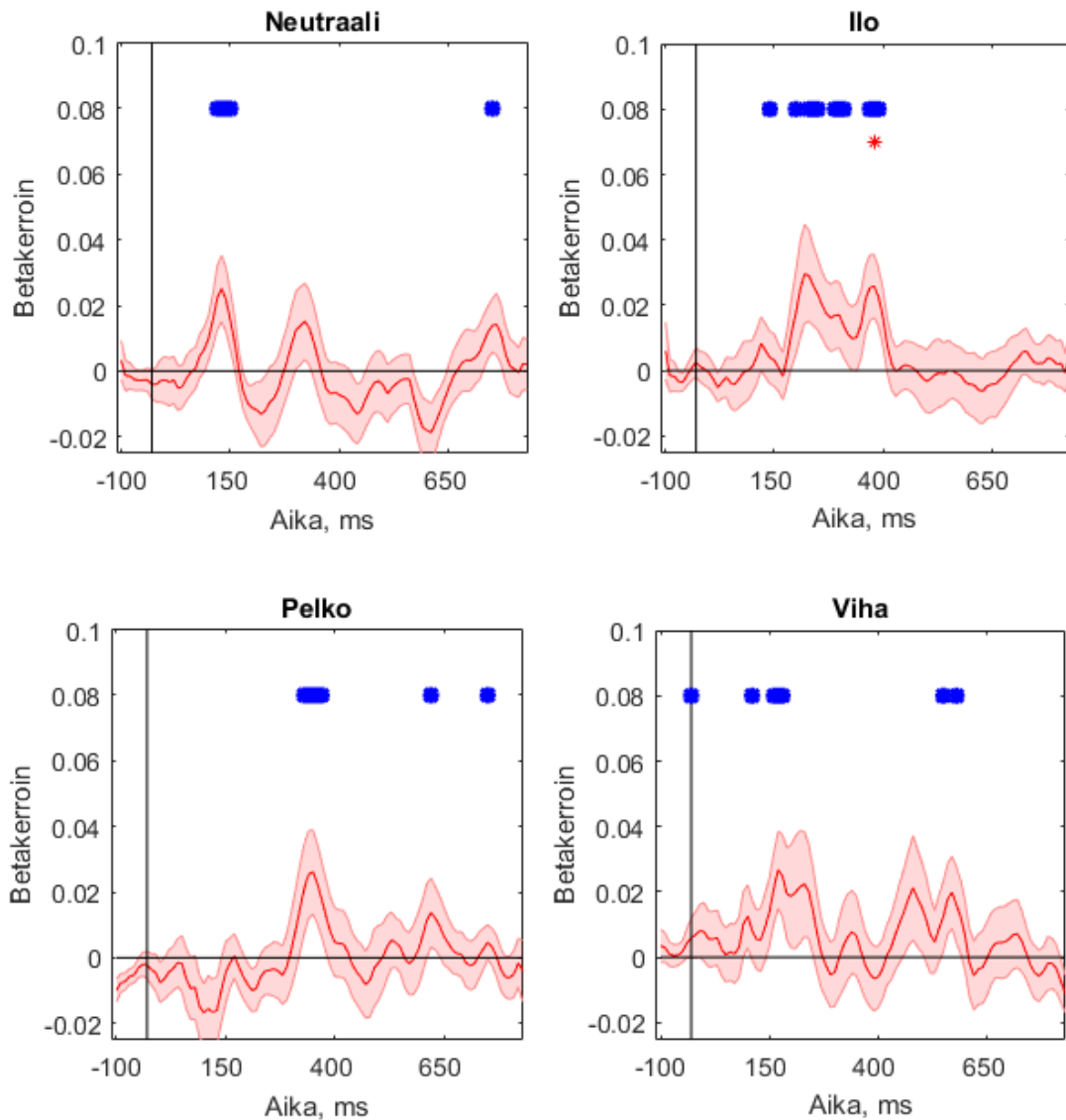
**Kuva 11.** Mallimatriisit ilme-koetilanteille. Mallimatriisi koostuu arvoista 0 (sininen), 0.5 (harmaa) ja 1 (keltainen). N=neutraali, I=ilo, P=pelko ja V=viha. 100 ja 50 viittaavat ilmeen voimakkuuteen (100% ja 50%).

Kuvassa 12 on esitetty mallimatriisit identiteetti-koetilanteille (kts. kuva 4 kappaleesta 2.5.1). Identiteetti-kategoriat on kuvattu ruudukkona, jossa alkuperäisestä identiteetistä 67% morfautut identiteetit ovat merkitty harmaalla ja alkuperäinen 100% identiteetti keltaisella. Vastaavasti kuin ilmeillä, matriisit kuvastavat sitä, että alkuperäisen identiteetin aiheuttamat vasteet poikkeavat muista ärsykkeistä (keltainen), muut ärsykkeet aiheuttavat keskenään samanlaiset vasteet (sininen) ja morfattujen identiteettien aiheuttamat vasteet sijoittuvat näiden väliin (harmaa).



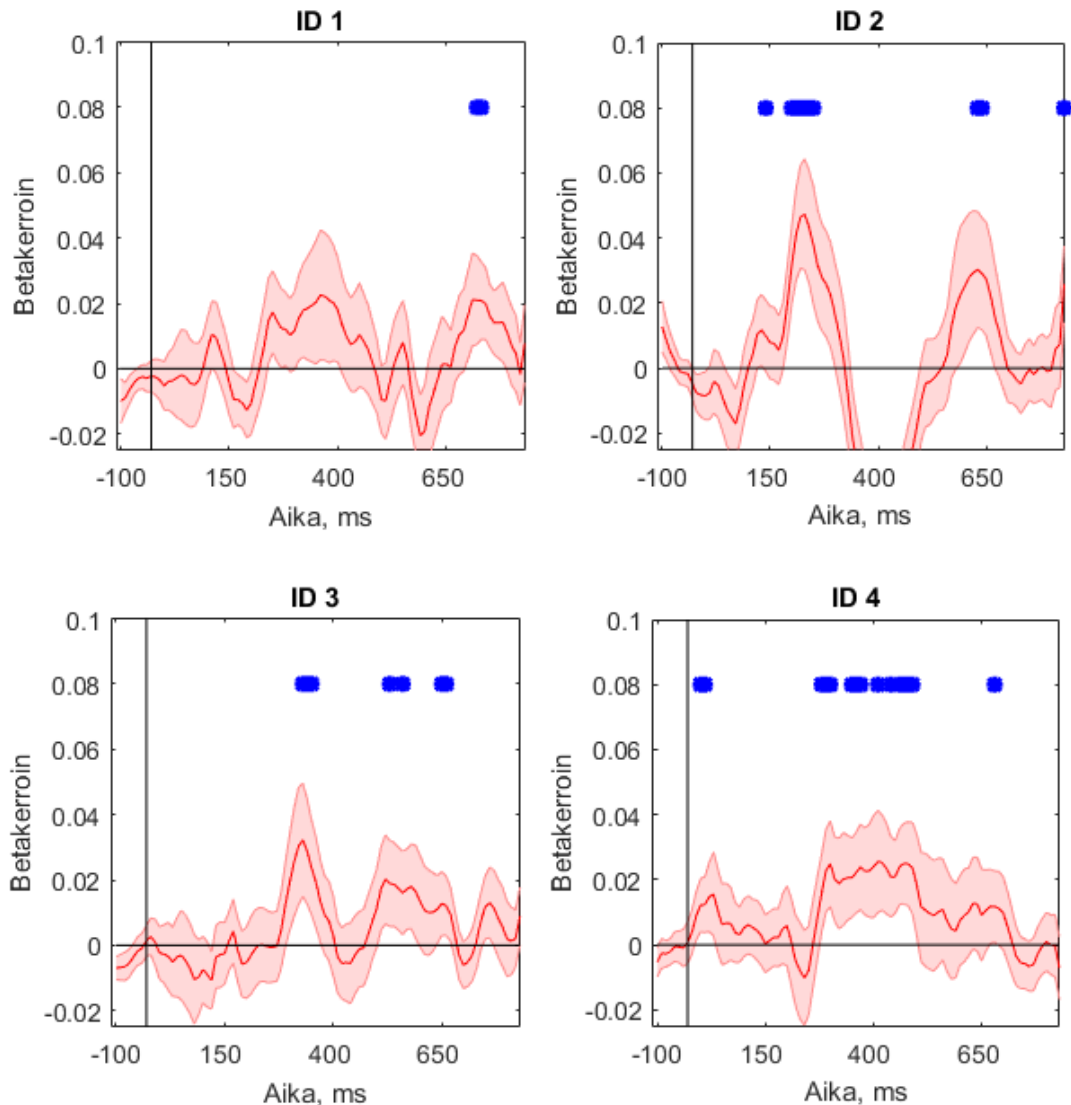
**Kuva 12.** Mallimatriisit identiteetti-koetilanteille. Mallimatriisi koostuu arvoista 0 (sininen), 0.5 (harmaa) ja 1 (keltainen).

Kuvassa 13 on esitetty betakertoimet neljälle ilme-regressorille kaikilla aikapisteillä ja t-testin perusteella nolasta poikenneet arvot ( $p < .05$ ). Kuvasta nähdään, että N170-vasteen ajanhetkellä neutraalien kasvojen aiheuttamat jännitevasteet poikkeavat muista. Vastaavaa ei ollut havaittavissa yksimuuttuja-analyyseissa. Ilo, pelko ja viha-regressorit sisältävät enemmän variaatiota kuin neutraali-regressori, ja lisäksi näillä kaikilla kolmella regressorilla aikaprofiilit ovat erilaisia toisistaan. Esimerkiksi pelko-regressorin huippukohdat ajoittuvat verrattain myöhäiseen ajanhetkeen ja viha-regressori verrattain aikaiseen ajanhetkeen.



**Kuva 13.** Ilme-regressorien betakertoimet eri ajanhetkinä. Ajanhetket, joissa betakerroin poikkeaa merkitsevästi nolasta, ovat merkitty sinisellä ympyrällä. FDR-korjattu merkitsevyys on merkitty punaisella tähdellä.

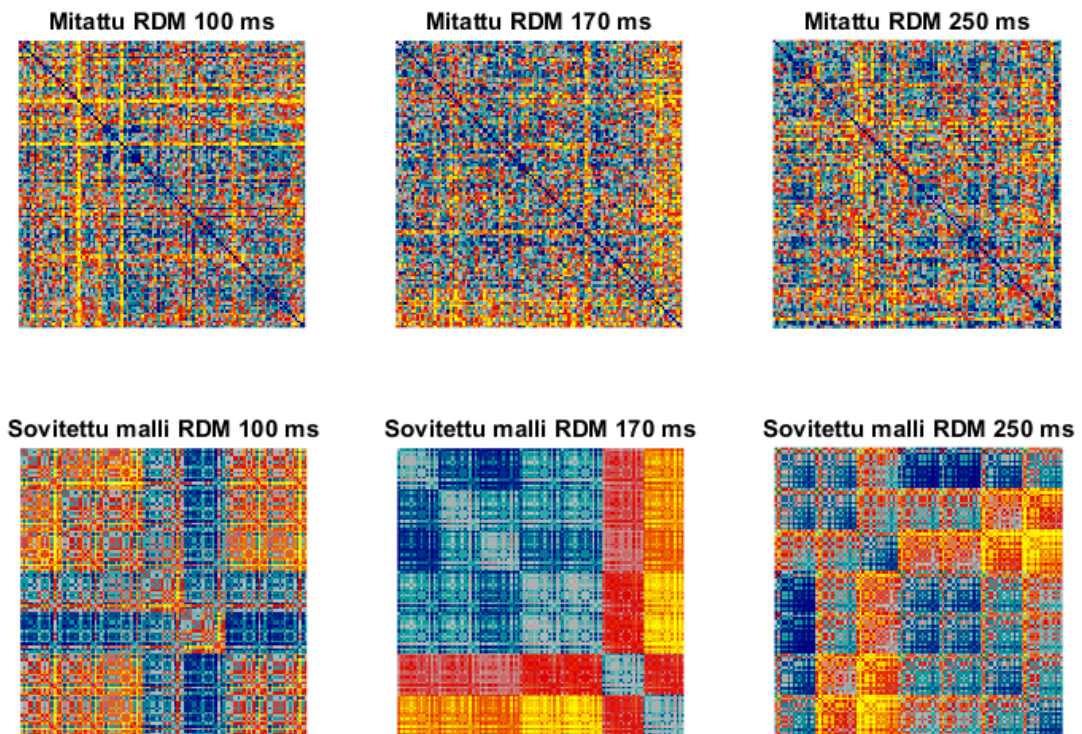
Kuvassa 14 on esitetty neljän identiteetti-regressorin betakertoimet eri ajanhetkinä ja t-testin perusteella nolasta poikenneet ajanhetket ( $p < .05$ ). Kuvasta nähdään, että identiteetti-regressorien huippukohdat ajoittuvat kaiken kaikkiaan hieman myöhempisiin ajanhetkiin verrattuna ilme-regressoreihin. ID2 -regressorissa on havaittavissa noin 200 ja 400 millisekunnin ajanjaksona ensin voimakas positiivinen ja sitten negatiivinen kerroin. Identiteetti-regressorien aikaprofiilit ovat toisistaan hyvin poikkeavia.



**Kuva 14.** *Identiteetti-regressorien betakerroimet eri ajanhetkinä. Ajanhetket, joissa betakerroin poikkeaa merkittävästi nolasta, ovat merkitty sinisellä ympyrällä.*

Kuvassa 15 on esitetty mitatut erilaisuusmatriisit ajanhetkillä 100, 170 ja 250 millisekuntia (P1, N170 ja N250 -vasteiden ajanhetket) ja sovitetut mallimatriisit, jossa jokainen regressori on painotettu kyseisen ajanhetken betakerroimella (ts. summamalli). Sovitetut mallit sisältävät mitattujen erilaisuusmatriisien kaltaisia rakenteita, kuten kuva 15 osoittaa. Molemmassa kuvioissa on havaittavissa erilaisuutta (lämpimiä värisävyjä) joiden järjestäytyminen kuvioon on systemaattista ja samankaltaista. Ajanhetkellä 100 millisekuntia mitattujen ja mallinnettujen jännitevastejakaumien samanlaisuus ei ole yhtä selkeää kuin myöhemmillä ajanhetkillä. Ajanhetkellä 170 millisekuntia 100% pelokkaat ilmeet ovat aiheuttaneet erilaisimmat jännitevastejakaumat: laitimmaisat blokit (puna-keltainen) eroavat

kaikista muista (sinertävä). Ajanhetkellä 250 millisekuntia erilaisuutta on myös havaittavissa kuvion sisäosissa, erityisesti iloisille ilmeille.



**Kuva 15.** Mitatut erilaisuusmatriisit (RDM) ja sovitetut mallit eri ajanhetkinä.

#### 4. POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tapahtumasidonnaisia jännitevasteiden avulla eroavatko kasvojen ilmeen ja identiteetin prosessointi toisistaan, toisin sanoen voidaanko tehdä päätelmiä näiden ominaisuuksien paikallisesta prosessoinnista aivoissa. Tarkoituksena oli lisäksi selvittää, että eroavatko ilmeiden prosessointi toisistaan, ja vaikuttaako ilmeen voimakkuus ilmeiden erotteluun. Oletusten mukaisesti kokeessa käytetyt kasvoärsykkeet aiheuttivat selkeästi havaittavat P1, N170 ja N250 -vasteet. Jännitevasteiden keskiarvoamplitudit ja keskiarvolatenssit eivät kuitenkaan eronneet toisistaan eri ilmeillä ja identiteeteillä.

Monimuuttujamenetelmin analysoituna aineistossa kuitenkin ilmeni vaihtelua eri koetilanteiden välillä. Mitatut erilaisuusmatriisit analysoitiin yleisen lineaarisen mallin avulla. Mitattuja erilaisuusmatriiseja jo yksistään tarkastelemalla oli

mahdollista huomata systematiikkaa erilaisuudessa koetilanteiden välillä, kun tarkastelun kohteena olivat jännitevasteiden korrelaatioiden suhteet, huomioimatta lainkaan jännitevasteiden välisiä polariteetti-eroja. Monimuuttujamenetelmillä testattiin kuinka paljon ilmeet ja identiteetit selittävät aineiston vaihtelua, kun oletettiin, että systemaattista samankaltaisuutta esiintyy 50% ja 100% ilmeiden sekä 67% ja 100% identiteettien välillä. Ilmeen pelokkuuteen liittyvä vaihtelu selitti tuloksia ajanhetkellä 170 millisekuntia. Neutraalin ilmeen aikaprofiili poikkesi muista ilmeistä, joka paljastui ainoastaan monimuuttuja-analyyseissä, mutta ei yksimuuttuja-analyyseissä. Identiteetti-informaation vaihtelu selitti mitattujen jännitevastejakaumien vaihtelua erityisesti myöhemmillä ajanhetkillä, verrattuna ilmeisiin, joissa huippukohdat ajoittuivat varhaisempiin ajanhetkiin.

Ennakoiva oletus siitä, ettei N170-vasteen amplitudi välttämättä heikkene, kun tarkastellaan identiteettien aiheuttamaa vastetta, voidaan katsoa toteutuneen. Erityisesti P10 elektrodilla N170-vasteen ajanhetkellä oli havaittavissa voimakas negatiivinen amplitudi identiteetti-koetilanteissa. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että koehenkilöiden tarkkaavaisuus oli koko mittauksen ajan suuntautunut ärsykkeisiin ja siitä, että kasvoärsykkeissä oli paljon variaatiota.

Tämän tutkimuksen yhtenä keskeisenä teoriapohjana käytettiin Haxbyn ja kumppaneiden (2000) kasvojen havaitsemisen mallia, jonka mukaan ilme ja identiteetti prosessoidaan eri sijainneissa. Karkealla tasolla löydettiin ajallinen ero ilmeiden ja identiteettien välillä, mutta tulokset viittaavat pikemminkin siihen käsitykseen, ettei tiedonkäsittelymoduulien välillä ole tarkkoja rajoja. Ilmeillä ja identiteeteillä vaikuttaa olevan voimakkaita yhdysvaikutuksia: kriittinen ajanhetki vaihteli identiteetistä ja ilmeestä riippuen.

Käsite kasvojen *holistisesta prosessoinnista* voidaan mieltää vaihtoehtoiseksi näkemykseksi tarkkarajaiselle modulaarisuudelle tiedonkäsittelyjärjestelmässä. Holistisuus on sateenvarjokäsite, jonka mukaan kasvopiirteiden ja niiden välisten spatiaalisten suhteiden prosessointi on toisiinsa yhdistynyttä, jolloin kasvojen yksittäisiin piirteisiin keskittyminen on vaikeaa (Rhodes & Calder 2014). Toisin sanoen spatiaaliset suhteet ovat sitä, miten kasvopiirteet suhteutuvat toisiinsa ja kuinka kaukana ne ovat toisistaan (esim. kuinka kaukana silmät ovat toisistaan). Sen

määrittäminen, kuinka kukin kasvoärsyke poikkeaa normista tai prototyypistä, voisi olla aivoille tehokkain prosessointitapa: kasvoärsykkeet olisivat täten tallentuneita moniulotteiseen *kasvo-avaruuteen*. Tässä tutkimuksessa ärsykkeet olivat tehty siten, että ne kuvastivat tämän tyyppistä kasvo-avaruutta, jonka vuoksi aineistosta esiin saatua variaatiota on mahdollista tulkita osoituksena holistisesta prosessoinnista. Aiemmassa tutkimuksessa P1-vasteen on arveltu olevan osoitus kasvojen holistisesta prosessoinnista, eli ensimmäisestä vaiheesta kasvojen prosessoinnissa (Itier & Taylor 2001). Nämä kaksi käsitystä holistisesta prosessoinnista voidaan jollain tapaa käsittää yhteenkuuluvaksi.

Tämän tutkimuksen menetelmällisenä vahvuutena voidaan pitää ärsykkeiden systemaattista vaihtelua, joka kuvasti käsitettä kasvo-avaruudesta, sen sijaan että olisi käytetty yksipuolisempia kasvoärsykejä ja tutkittu pelkästään kategorista havaitsemista (esim. kuinka kasvoärsykkeiden aiheuttamat jännitevasteet eroavat muiden kohteiden aiheuttamista jännitevasteista). EEG-aineistossa esiintyvät yhdysvaikutukset olivat ominaisuuksiltaan hienovaraisia: ne saatiin esiin vain monimuuttuja-analyysin avulla. EEG-aineistossa esiintyvien korrelaatio-suhteiden tarkastelu eroaa perinteisestä yksimuuttuja-analyysistä, jossa keskiössä ovat polariteetti-erot. Tutkimuksessa käytettyjen menetelmien voidaan siis katsoa olevan erittäin sopivia mitatun EEG-aineiston tarkastelemiseen ja tutkimuskysymysten selvittämiseen.

Toisaalta kasvoärsykkeiden aiheuttamaa variaatiota voidaan pitää myös tutkimuksen rajoituksena. Variaatio ei tullut näkyviin jännitevasteiden huippuamplitudien erojen testaamisessa. Koehenkilöiden yksilöllinen tapa havaita kasvoja on myös voinut vaikuttaa saatuihin tuloksiin: esimerkiksi neutraaliksi luokiteltu kasvoärsyke on voinut joissain koehenkilöissä aiheuttaa havaintokokemuksen jostain muusta ilmeestä. Tutkimuksessa käytetyt kasvoärsykkeet olivat staattisia, joten erilaisempia tuloksia oltaisiin voitu saada dynaamisilla kasvoärsykkeillä, joiden ominaisuudet ilmeen ja identiteetin suhteen muuttuvat hienovaraisesti ajan funktiona.

Jotkin teoriat jotka kuvaavat korkeamman tason kognitiivisten prosessien organisoitumista, yhdistelevät modulaarisuus- ja verkostonäkemyksiä. Esimerkiksi Fusterin (2009) malli työmuistin toiminnasta tukeutuu näkemykseen hajaannutetusta

verkostosta: hermosolupopulaatioiden muodostamat yksiköt (eng. *cognit*) ovat hierarkkisesti organisoituneita, mutta ne ovat samaan aikaan myös osittain päällekkäisiä ja toisiinsa yhdistyneitä, jopa hierarkkisten tasojen läpi. Tämä tarjoaa yhden vaihtoehdoisen tulkintatavan, jolla myös kasvojen havaitsemisprosessia voitaisiin käsittää. Moduulit ja verkostot eivät siten välttämättä ole tulkittavissa toistensa poissulkevinä osasina, vaan pikemminkin toistensa edellytyksinä, jotka yhdessä luovat edellytykset korkeamman tasoisille kognitiivisille toimintoille. Myös näkemys moduulien tarkkarajaisuudesta ja toisistaan erotettavuudesta on siten haastettavissa kuten edellä mainittu Fusterin (2009) malli ehdottaa.

Idea siitä, että identiteetti ja ilme prosessoidaan eri sijainneissa, on ollut kasvojen havaitsemisen tutkimuksessa vallitseva näkemys jo viimeiset 20 vuotta (Calder 2011). Tehdyt tutkimukset antavat yhä tukea sille, että identiteetin ja ilmeen prosessointi on ainakin osittain päällekkäistä, eivätkä aivovauriopotilaisiin kohdistuneet tutkimukset siltikään ole antaneet lopullista ja vakuuttavaa näyttöä ilmeen ja identiteetin täysin erillisestä prosessoinnista aivoissa. Eri ilmeiden prosessointi voidaan myös käsittää osin päällekkäiseksi kuten Haxbyn ja kumppaneiden (2000) mallissa kuvataan.

Tämän tutkimukset tulokset antoivat myös viitettä ilmeiden prosessoinnin päällekkäisyydestä. Toisaalta haastavana käsityksenä tälle jotkin uudet mallit liittyen ilmeiden havaitsemiseen ehdottavat, että tietyt ilmeet (kuten pelko ja inho) sisältävät omat anatomiset korrelaattinsa eivätkä ole siten päällekkäisiä (Calder, Lawrence & Young 2001).

Verkostonäkemys antaa uusia lähtökohtia kasvojen havaitsemishäiriöiden kuntoutukseen. Esimerkiksi Domesin ja kumppaneiden (2007) tutkimuksessa nenän kautta annosteltu oksitosiini paransi koehenkilöiden kykyä tunnistaa ilmeitä silmien aluetta tarkkailemalla. Tutkijat arvelivat efektin johtuvan siitä, että oksitosiini moduloi havaintoverkoston toimintaa eri tasoilla, ja että oksitosiinilla voi olla rooli sosiaaliseen informaatioon liittyen muistikuvien ja havaittujen ärsykkeiden onnistuneessa yhteen liittämässä. Nenän kautta annostellun oksitosiinin on myös todettu parantavan ilmeiden tunnistamista, kun on tutkittu autismikirjon tilan nuoria (Guastella ym. 2010).

Kognitiivisten toimintojen vahvistamiseen keskittyvät lääkeaineet ja niihin liittyvät viimeaikaiset tutkimukset ovat käsitelleet sitä, miten lääkeaineet vaikuttavat neuroniverkoston toiminnalliseen konnektiivisuuteen (Husain & Mehta 2011). Tätä taustaa vasten on oleellista pohtia havaintohäiriöiden kuntoutusta ja sitä, millä tavalla verkostokäsitystä voisi siinä hyödyntää. Tavoitteena voitaisiin pitää vaurioituneiden moduulien välisten yhteyksien vahvistamista siten, että havaintoprosessit toimisivat jälleen eheästi ja kokonaisvaltaisesti. Terveiden koehenkilöiden jännitevasteita tutkimalla saadaan vertailuaineistoa, jota voidaan käyttää hyväksi havaintohäiriöiden diagnostiikassa.

Saadut tulokset eivät tue sitä oletusta, että kasvojen identiteetin ja ilmeen aivotason prosessointi olisi toisistaan erillistä, vaan tulokset viittaavat pikemminkin ilmeiden ja identiteettien väliseen voimakkaaseen yhdysvaikutukseen. Kumuloituvan tutkimusnäytön kautta saadaan yhä tarkentuva kokonaiskuva havaintoprosesseista ja sitä kautta mahdollisuuksia vaikuttaa muun muassa havaintohäiriöiden kuntoutukseen.

## **LÄHTEET**

Adolphs, R., Sears, L., & Piven, J. (2001). Abnormal processing of social information from faces in autism. *Journal of cognitive neuroscience*, 13(2), 232 – 240.

Altenmuller E., Munte T. & Gerloff, C. (2005). Neurocognitive functions and the EEG. Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (toim.) *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins.

Bate, S., & Bennetts, R. J. (2014). The rehabilitation of face recognition impairments: a critical review and future directions. *Frontiers in human neuroscience*, 8.

Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 613 – 620.

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British journal of psychology*, 77(3), 305 – 327.

Calder, A. J. (2011). Does facial identity and facial expression recognition involve separate visual routes? *The Oxford handbook of face perception*, 427 – 448.

Calder, A. J., Lawrence, A. D., & Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(5), 352 – 363.

de Gelder, B., Frissen, I., Barton, J., & Hadjikhani, N. (2003). A modulatory role for facial expressions in prosopagnosia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(22), 13105 – 13110.

DeGutis, J. M., Bentin, S., Robertson, L. C., & D'Esposito, M. (2007). Functional plasticity in ventral temporal cortex following cognitive rehabilitation of a congenital prosopagnosic. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1790 – 1802.

Domes, G., Heinrichs, M., Michel, A., Berger, C., & Herpertz, S. C. (2007). Oxytocin improves “mind-reading” in humans. *Biological psychiatry*, 61(6), 731 – 733.

Ebner, N. C., Riediger, M., & Lindenberger, U. (2010). FACES---A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: Development and validation. *Behavior Research Methods*, 42(1), 351–362.

Eimer, M. (2000). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical neurophysiology*, 111(4), 694 – 705.

Eimer, M. (2011). The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential. *The Oxford handbook of face perception*, 329 – 344.

Ellis, H. D., & Lewis, M. B. (2001). Capgras delusion: a window on face recognition. *Trends in cognitive sciences*, 5(4), 149 – 156.

- Fox, C. J., Moon, S. Y., Iaria, G., & Barton, J. J. (2009). The correlates of subjective perception of identity and expression in the face network: an fMRI adaptation study. *Neuroimage*, *44*(2), 569-580.
- Fuster, J. M. (2009). Cortex and memory: emergence of a new paradigm. *Journal of cognitive neuroscience*, *21*(11), 2047 – 2072.
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature neuroscience*, *2*(6), 568 – 573.
- Gazzaniga, M. S. (1989). Organization of the human brain. *Science*, *245*(4921), 947.
- Guastella, A. J., Einfeld, S. L., Gray, K. M., Rinehart, N. J., Tonge, B. J., Lambert, T. J., & Hickie, I. B. (2010). Intranasal oxytocin improves emotion recognition for youth with autism spectrum disorders. *Biological psychiatry*, *67*(7), 692 – 694.
- Happel, B. L., & Murre, J. M. (1994). Design and evolution of modular neural network architectures. *Neural networks*, *7*(6), 985 – 1004.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, *4*(6), 223 – 233.
- Heisz, J. J., Watter, S., & Shedden, J. M. (2006). Automatic face identity encoding at the N170. *Vision Research*, *46*(28), 4604 – 4614.
- Hinojosa, J. A., Mercado, F., & Carretié, L. (2015). N170 sensitivity to facial expression: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *55*, 498 – 509.
- Husain, M., & Mehta, M. A. (2011). Cognitive enhancement by drugs in health and disease. *Trends in cognitive sciences*, *15*(1), 28 – 36.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *Neuroimage*, *15*(2), 353 – 372.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004). N170 or N1? Spatiotemporal differences between object and face processing using ERPs. *Cerebral cortex*, *14*(2), 132 – 142.

Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(10), 766 – 774.

Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *361*(1476), 2109 – 2128.

Kress, T., & Daum, I. (2003). Developmental prosopagnosia: A review. *Behavioural neurology*, *14*(3-4), 109 – 121.

Kriegeskorte, N., Mur, M., & Bandettini, P. A. (2008). Representational similarity analysis - connecting the branches of systems neuroscience. *Frontiers in systems neuroscience*, *2*, 4.

Kohler, C. G., Turner, T. H., Bilker, W. B., Brensinger, C. M., Siegel, S. J., Kanes, S. J., ... & Gur, R. C. (2003). Facial emotion recognition in schizophrenia: intensity effects and error pattern. *American Journal of Psychiatry*, *160*(10), 1768 – 1774.

Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H. J., Hawk, S. T., & van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition and Emotion*, *24*(8), 1377–1388.

Leopold, D. A., & Rhodes, G. (2010). A comparative view of face perception. *Journal of Comparative Psychology*, *124*(3), 233.

Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT Press.

Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 432 – 440.

Németh, K., Zimmer, M., Schweinberger, S. R., Vakli, P., & Kovács, G. (2014). The background of reduced face specificity of N170 in congenital prosopagnosia. *PLoS one*, 9(7), e101393.

Nili, H., Wingfield, C., Walther, A., Su, L., Marslen-Wilson, W., & Kriegeskorte, N. (2014). A toolbox for representational similarity analysis. *PLoS Comput Biol*, 10(4), e1003553.

Nukari, J., Poutiainen, E., Nybo, T., Hämäläinen, P., & Kalska, H. (2012). Kuvaus aikuisten neuropsykologisen kuntoutuksen käytännöistä. *Psykologia* 47 (2012): 3.

Otten, L. J., & Rugg, M. D. (2005). Interpreting event-related brain potentials. *Event-related potentials: A methods handbook*, 3 – 16.

Pitcher, D., Walsh, V., & Duchaine, B. (2011). The role of the occipital face area in the cortical face perception network. *Experimental Brain Research*, 209(4), 481 – 493.

Rangarajan, V., Hermes, D., Foster, B. L., Weiner, K. S., Jacques, C., Grill-Spector, K., & Parvizi, J. (2014). Electrical stimulation of the left and right human fusiform gyrus causes different effects in conscious face perception. *The Journal of Neuroscience*, 34(38), 12828 – 12836.

Rellecke, J., Sommer, W., & Schacht, A. (2013). Emotion effects on the N170: a question of reference?. *Brain Topography*, 26(1), 62 – 71.

Revonsuo, A. (2006). Mitä on kognitiivinen neurotiede? H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen, A. Revonsuo (toim.) *Mieli ja aivot: kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, 13 – 21. Turun yliopisto: kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.

- Revonsuo, A. & Laine M. (2006). Kognitiivinen neuropsykologia. H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen, A. Revonsuo (toim.) *Mieli ja aivot: kognitiivisen neurotieteen oppikirja*, 55 – 60. Turun yliopisto: kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.
- Rhodes, G. & Calder, A. (2014). Face Perception. Werner, J. S., & Chalupa, L. M. (toim.). *The new visual neurosciences*, 711 – 724. MIT Press.
- Rippon, G. (2006). Electroencephalography. Senior, C. E., Russell, T. E., & Gazzaniga, M. S. (toim.). *Methods in mind*. MIT Press.
- Rossion, B. (2014a). Understanding face perception by means of human electrophysiology. *Trends in cognitive sciences*, 18(6), 310 – 318.
- Rossion, B. (2014b). Understanding face perception by means of prosopagnosia and neuroimaging. *Front Biosci (Elite Ed)*, 6, 308 – 317.
- Rugg, M. D., & Coles, M. G. (1995). *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford University Press.
- Said, C. P., Haxby, J. V., & Todorov, A. (2011). Brain systems for assessing the affective value of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366(1571), 1660 – 1670.
- Saumier, D., Arguin, M., & Lassonde, M. (2001). Prosopagnosia: A case study involving problems in processing configural information. *Brain and Cognition*, 46(1), 255 – 259.
- Schweinberger, S. R., Pickering, E. C., Jentsch, I., Burton, A. M., & Kaufmann, J. M. (2002). Event-related brain potential evidence for a response of inferior temporal cortex to familiar face repetitions. *Cognitive Brain Research*, 14(3), 398 – 409.
- Sur, S., & Sinha, V. K. (2009). Event-related potential: An overview. *Industrial psychiatry journal*, 18(1), 70.

Suslow, T., Junghanns, K., & Arolt, V. (2001). Detection of facial expressions of emotions in depression. *Perceptual and motor skills*, 92(3), 857 – 868.

Tanaka, J. W., Curran, T., Porterfield, A. L., & Collins, D. (2006). Activation of preexisting and acquired face representations: the N250 event-related potential as an index of face familiarity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(9), 1488 – 1497.

Tanaka, J. W., Wolf, J. M., Klaiman, C., Koenig, K., Cockburn, J., Herlihy, L., ... & Schultz, R. T. (2010). Using computerized games to teach face recognition skills to children with autism spectrum disorder: the Let's Face It! program. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(8), 944 – 952.

Tatum, W.O.IV. (2014). *Handbook of EEG Interpretation, Second Edition*. New York: Demos Medical.

Valtonen, J. (2014). Kuinka tutkia tervettä kognitiota vain yhden potilaan avulla: tapaustutkimusten logiikka kognitiivisessa neuropsykologiassa. *Psykologia*, 49, 01.

Winston, J. S., O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *Neuroimage*, 20(1), 84 – 97.