



#2

Sosiaalinen neurotiede nyt

Jari Hietanen



Abstract

Humans are inherently social animals and need the company of others for their well-being. Accumulating evidence suggests that our cognitive system as well as the associated neural networks include domain specific mechanisms specialized for processing information from other people. This information is necessary for efficient and smooth social interaction. This article first describes findings from two main areas of social neuroscience research: processing of visual information from other people's faces and bodies, and processing of (non-visible) information about other people's minds. After this, the article focuses on the big challenges the researchers in the field are facing: how to move on from the typical laboratory experiments in which participants are often mere spectators looking at pictures of other people. How to design studies which are genuinely social?

1. Johdanto

Ihminen on sosiaalinen eläin, jolla on sekä halu että kyky olla ja toimia vuorovaikutuksessa muiden kanssa. Erilaiset sosiaaliset verkostot ja vuorovaikutus toistemme kanssa ovat keskeinen osa elämäämme.

Kyky tehdä yhteistyötä, oppia toisiltaan, ohjata ja johtaa toisiaan sekä neuvotella ja pitää huolta toisistaan on tarjonnut ihmiselle merkittävän edun muihin eläinlajeihin verrattuna. Tätä taustaa vasten on psykologian ja neurotieteiden alalla oltu viimeisten vuosikymmenien aikana enenevässä määrin kiinnostuneita sosiaalisesti tärkeän aisti-informaation käsittelyyn ja sosiaaliseen vuorovaikutukseen liittyvistä kognitiivisista toiminnoista ja niiden taustalla olevista aivomekanismeista.

Sosiaalinen kyvykkyys voidaan määritellä lyhyesti kyvyksi sovittaa oma käyttäytyminen tarkoituksenmukaisella tavalla muiden käyttäytymiseen. Sosiaalisen kyvykkyuden ja sen aivoperustan osittaista erottumista niin sanottuihin yleisiin kognitiivisiin kykyihin liittyvistä tiedonkäsittelytapauksista on perusteltu esimerkiksi tapauksilla, joissa henkilön kyky havaita sosiaalisesti tärkeää informaatiota ja kyky säädellä omaa sosiaalista käyttäytymistään on ratkaisevalla tavalla heikentynyt samalla kun yleinen kognitiivinen suoriutumisen on säilynyt entisellään. Yksi tällainen havaintotoimintoihin liittyvä neuropsykologinen häiriö on prosopagnosia, jossa oireena ovat vaikeudet kasvojen havaitsemisessa ja tutuiksi tunnistamisessa (ks. katsaus Corrow et al., 2016). Toisenlaista näyttöä sosiaalisen ja yleisen kognitiivisen kyvykkyuden erillisyydestä tarjoaa autismikirjo. Hyvästä yleisestä kognitiivisesta suoriutumisesta huolimatta yhtenä autismikirjolle tunnus-

omaisena piirteenä ovat vaikeudet ymmärtää neurotyypillisten ihmisten ajatuksia ja tunteita, mikä puolestaan voi johtaa vaikeuksiin selittää ja ennustaa heidän käyttäytymistään (Frith, 2001).

Tässä katsauksessa esitellään aluksi lyhyesti eräitä sosiaalisen neurotieteen keskeisiä tutkimuskohteita ja niistä saatuja tutkimustuloksia. Sen jälkeen kuvataan haasteita, joihin alalla on viime vuosina enenevässä määrin havahduttu ja joiden ratkaiseminen on edellytyksenä sille, että alalla tehtävä neurotieteellinen tutkimus voisi kohdistua aidosti *sosiaalisiin* ilmiöihin.

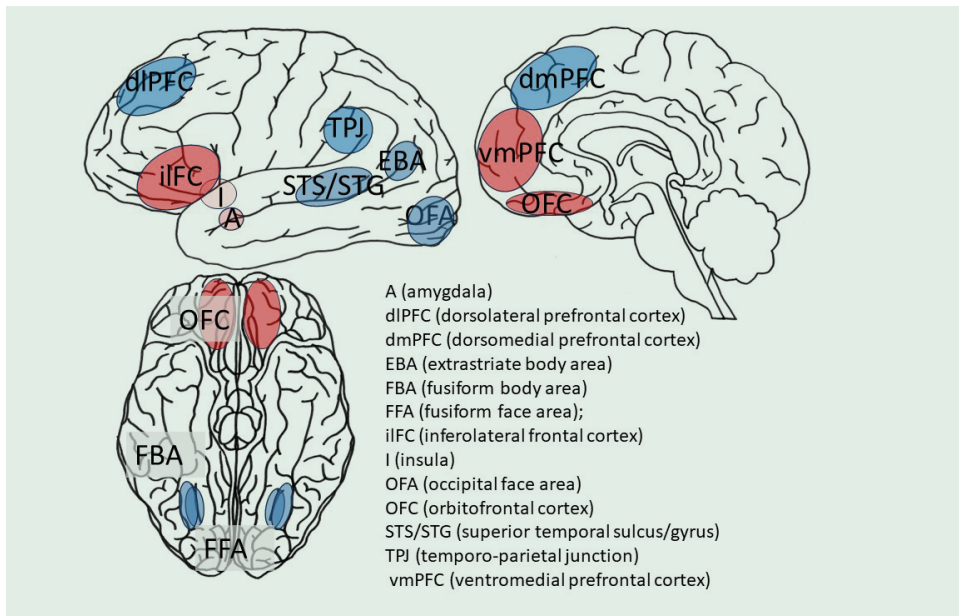
2. Sosiaalisten ärsykkeiden havaitseminen

Ihmisten välisen sujuvan vuorovaikutuksen perustana on paitsi se, että ymmärrämme toistemme puhetta, myös se, että kykenemme tekemään tarkkoja havaintoja toisistamme; kasvojen piirteistä, kehon asennosta ja liikkeistä, kasvojen ilmeistä, ääntelystä ja katseen suunnasta. Massiivinen määrä tutkimusta on kohdistunut erityisesti kasvojen ja kehon ja niiden välittämien erilaisten sosiaalisten vihjeiden (signaalien) havaitsemiseen. Kasvojen välittämän informaation havaitseminen ja tunnistaminen ovat keskeisimpiä sosiaalisessa vuorovaikutuksessa tarvittavia kykyjä. Sen jälkeen kun apinoiden aivo-kuorelta löydettiin 1980-luvulla niin sanottuja kasvosoluja (Bruce et al., 1981) – hermosoluja jotka aktivoituivat voimakkaasti silloin, kun koe-eläin näki kasvot – ihmisaivojen kasvojen havaitsemiseen osallistuvia mekanismeja alettiin tutkia intensiivisesti (esim. Bentin et al., 1996;

Haxby et al., 1994; Kanwisher et al., 1997; Sergent et al., 1992).

Kasvoilta havaitaan monenlaista vuorovaikutuksen kannalta tärkeää tietoa. Toisten ihmisten henkilöllisyyden tunnistaminen perustuu useimmiten kasvoihin. Kasvojen perusteella teemme oletuksia myös ihmisten sukupuolesta ja iästä. Kasvoilla näkyvät muutokset ilmeiden aikana vaikuttavat tulkintoihimme henkilön tunnetilasta, ja suun alueen liikkeet puheen aikana (visuaalinen puhe) auttavat puheen vastaanottamisessa.

Silmien liikkeiden ja katseen suunnan perusteella arvioimme paitsi toisten kiinnostuksen ja tarkkaavaisuuden kohteita myös erilaisia ominaisuuksia ja piirteitä, kuten vaikkapa pätevyyttä, valta-asemaa, sosiaalisia taitoja sekä uskottavuutta. Nykykäsityksen mukaan kasvojen havaitsemiseen osallistuu joukko anatomisesti erillään olevia, mutta toisiinsa yhteydessä olevia alueita (ks. Kuva 1). Näillä alueilla on erilaisia tehtäviä kasvojen havaitsemiseen osallistuva



Kuva 1. Kuvassa on esitetty kasvojen ja kehojen ja niiden välittämien vihjeiden havaitsemiseen liittyviä alueita sekä alueita, joiden on esitetty olevan mielen teorian taustalla. Affektiiiviseen mielen teoriaan ja tunneinformaation käsittelyyn yhdistetyt alueet on väritetty punaisella ja kasvojen ja kehojen havaitsemiseen ja kognitiiviseen mielen teoriaan yhdistetyt alueet on väritetty sinisellä. Esimerkiksi ohimolohkon ylemmän uurteen ja poimun (STS/STG) alue on osoitettu osallistuvan sekä kasvojen ja kehojen välittämien tunnevihjeiden havaitsemiseen että laajemmin kognitiivisen mielen teorian prosessointiin. Kuvissa näkyy isoajojen sivupinta, keskipinta ja alapinta. Mantelimumake (A, amygdala) ja aivosaaireke (I, insula) eivät sijaitse ohimolohkon sivupinnalla kuten kuva esittää; mantelimumake on ohimolohkon sisällä ja aivosaaireke on osa aivokuorta, joka jää "piiloon" ohimolohkon etuosan taakse.

verkosto sisältää kolme aluetta (ks. katsaus Haxby & Gobbini, 2011); yksi takaraivo-lohkojen sivupinnalla (occipital face area, OFA), toinen ohimolohkojen alapinnalla (fusiform face area, FFA) ja kolmas ohimolohkojen sivupinnalla (superior temporal sulcus/gyrus, STS/STG). OFA-alueella analysoidaan karkeaa informaatiota kasvojen rakenteesta ja kasvojen piirteistä. Fusiformisessa poimussa sijaitseva kasvoalue (FFA) osallistuu keskeisesti sellaisten ominaisuuksien analysoimiseen, jotka ovat keskeisiä kasvojen yksilöllisten piirteiden erottelussa, siis henkilöllisyyden tunnistamisessa. Ylemmän temporaalivuoron ja -poimun alueella (STS/STG) puolestaan analysoidaan kasvoilla tapahtuvien liikkeiden välittämää sosiaalista informaatiota, kasvojen ilmeitä, katseen suuntaa ja visuaalista puhetta. Tämä verkosto on kaksisuuntaisessa yhteydessä muihin alueisiin. Ohimolohkojen etuosien rakenteet ovat keskeisessä asemassa ihmisistä karttuneiden tietojen tallentamisessa. Näin tuttuihin kasvoihin voidaan yhdistää esimerkiksi henkilön nimi ja muuta hänestä muistettua tietoa. Kasvoilla näkyvien tunnelmaisujen analysointiin osallistuu STS/STG-alueiden lisäksi esimerkiksi mantelimumake (amygdala), aivosareke (insula) ja muita tunteiden käsittelystä huolehtivia limbisen järjestelmän alueita. Informaatiota katseen suunnasta ja pään asennosta syötetään paitsi edellä mainituille tunteiden käsittelyyn osallistuville alueille myös pälaenlohkon ja otsalohkojen tarkkaavaisuuden suuntautumista sääteleville alueille. Nämä yhteydet osallistuvat mm. katsekontaktin aikaansaamiin tunnereaktioihin ja niin sanotun sosiaalisen tarkkaavaisuuden suuntautumiseen, eli siihen, että ihmiset

suuntaavat tarkkaavuuttaan muiden ihmisten katseen suunnan perusteella (ks. katsaus Frischen et al., 2007).

Samoin kuin kasvot, toisten kehot tarjoavat myös monenlaista sosiaalisesti tärkeää visuaalista tietoa. Aivokuorelta onkin löydetty myös alueita, jotka näyttävät olevan erikoistuneita toisten kehojen havaitsemiseen (Peelen & Downing, 2007). Aivokuoren takaosien sivupinnalla (alemman temporaalivuoron/keskimmäisen temporaalipoimun takaosissa) on kuvantamistutkimuksissa löydetty alue (EBA), joka aktivoituu voimakkaimmin, kun tutkittaville esitetään kuvia kehoista tai kehonosista. Kuvat kasvoista tai muista kontrolliärsykkeistä saavat aikaiseksi vain vähäistä aktivaatiota näillä alueilla.

Aivan kuten kasvoalueiden aktivoituminen on osoittanut tiettyä abstraktisuutta, riippumattomuutta tarkoista (valokuvamaisista) visuaalisista piirteistä, myös nämä alueet aktivoituvat piirroskuviin, tikku-ukkoihin ja silhuettikuviin kehoista. Fusiformisesta aivopoimusta, siis samasta aivopoimusta, josta on paikallistettu edellä mainittu FFA-kasvoalue, on löydetty myös alue FBA, joka aktivoituu voimakkaimmin, kun tutkittaville esitetään kuvia kehoista. FFA ja FBA sijaitsevat vierekkäin ja menevät osin päällekkäin, mutta näiltä alueilta löytyy kuitenkin kohtia, jotka aktivoituvat valikoivasti joko kasvoihin tai kehoihin, mutta eivät molempiin. Kasvojen ja kehojen visuaalinen prosessointi siis tapahtuu erillään. Erilaisia kehonosia ja erikokoisia kehonalueita esittäviä kuvia näyttämällä ja mittaamalla EBAn ja FBAn aktivaatiota on saatu näyttöä sille, että EBA on erikoistunut enemmän yksittäisten kehonosien koodaukseen ja FBA puolestaan koko kehoahmon koodaukseen. Kuten kasvot voivat

ilmaista tunteita kasvonilmeillä, myös keho voi ilmentää tunteita asentojen ja liikkeiden kautta. Kvantamistutkimukset ovat osoittaneet, että kehon asentojen ja liikkeiden ilmaisemien tunteiden prosessointiin osallistuu FBAn ja EBAn lisäksi laaja verkosto niin aivokuorella olevia alueita (esim. ylemmän temporaaliurteen takaosat) kuin aivokuoren alaisia rakenteita (amygdala) (De Gelder et al., 2015).

Koska luonnollisissa arkipäivän tilanteissa sosiaalisen informaation määrä on usein huomattavan suuri, on esitetty, että sosiaalinen havaitseminen tuskin perustuu pelkästään edellä kuvatun kaltaisten, melko rajattujen ominaisuuksien ja vihjeiden havaitsemiseen ja niitä analysoivien mekanismien toimintaan. Sen sijaan on todennäköistä, että tällaisesta informaatiosta muodostetaan suurempia sosiaalisia havaintoja edustavia kokonaisuuksia. Tällöin tiedonkäsittelystä tulee tehokkaampaa, ja tällaisista kokonaisuuksista muistiin tallennetut edustukset ohjaavat tehokkaasti myös uusien havaintojen tekemistä (Freeman et al., 2012). Millaiset asiat sitten olisivat keskeisiä sosiaalisessa havaitsemisessa? Tuoreessa tutkimuksessa tutkittaville näytettiin suuri määrä lyhyitä pätkiä elokuvista ja heitä pyydettiin arvioimaan missä määrin he näkivät niissä erilaisia ihmisten piirteisiin, ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen liittyviä vihjeitä (Santavirta, Malén et al., 2023). Tulosten mukaan sosiaaliset havainnot jäsentyivät kahdeksan eri ulottuvuuden suhteen. Näistä tärkeimmät olivat seuraavat kolme ulottuvuutta: havaitaanko tilanteet tunnesisällöltään miellyttävinä vai epämiellyttävinä, onko niissä vihjeitä ihmisten valta-asemasta (alistuvuus – hallitsevuus) ja havaitaanko toisten ihmisten käyttäytyminen hetken mielijohdeesta

johtuvaksi vai harkituksi. Muut ulottuvuudet liittyivät ihmisten persoonallisuuden piirteiden, seksuaalisuuden, seurassa olemisen ja sukupuolen havaitsemiseen. Aivotoiminnan kvantamistutkimuksista saadut tulokset tukevat myös tämäntapaista mallia ja osoittavat laajojen aivoverkostojen osallistuvan tällaisten ihmisistä tehtyjen sosiaalisen havaintojen käsittelyyn (Santavirta, Karjalainen et al., 2023).

3. Mielen teoria

Toisten ihmisten toiminnan ja käyttäytymisen ymmärtäminen edellyttää heistä tehtävien havaintojen lisäksi ymmärrystä siitä, mitä heidän mielessään liikkuu. Toisin kuin kasvoja ja kehoja, toisten mieltä ja sen tiloja ei voi nähdä tai muutoin aistia, vaan ne täytyy päätellä käyttäytymistä havainnoimalla. Se mitä toiset tietävät, uskovat, epäilevät, tavoittelevat ja tuntevat voidaan päätellä ainoastaan heidän kielellisen ja ei-kielellisen ilmaissensa perusteella.

Ihmisillä on kyky ymmärtää, että itsellä ja muilla on mieli ja erilaisia mielentiloja. Tätä kykyä kutsutaan mielen teoriaksi (Premack & Woodruff, 1978). Ihmisen mielen teoriaan liittyvät kyvyt ovat itse asiassa niin hyvin kehittyneet, että meillä on hyvin voimakas taipumus tulkita monenlaisia tapahtumia jonkin mielen aiheuttamaksi. Klassisessa Heiderin ja Simmelin (1944) kokeessa tutkittavat tulkitsivat heille esitetyissä filminpätkissä näkyvien yksinkertaisten geometrinen kuvioiden liikkeitä kuvioiden mielenliikkeiden aikaansaamiksi (”nyt tuo iso, ilkeä kolmio ajaa takaa pientä kilttiä neliötä”). Tällaiset kyvyt alkavat kehittyä jo ensimmä-

mäisen elinvuoden aikana (Rakoczy, 2022). Kehitys alkaa erilaisiin ei-kielellisiin vihjeisiin liittyvistä havainnoista. Vähitellen lapsi ymmärtää, että jos toinen ihminen suuntaa katseensa samaan esineeseen kuin hän itse, tuo toinen näkee ja hänellä on mielessään sama esine kuin lapsella itsellään. Noin neljän vuoden iässä lapsi saavuttaa tässä suhteessa jo melko kehittyneen tason ja ymmärtää esimerkiksi toisen ihmisen voivan ajatella jostakin tilanteesta eri tavalla kuin hän itse sen vuoksi, ettei tällä ole samoja havaintokokemuksia. Tässä iässä lapsi esimerkiksi alkaa vastata oikein seuraavanlaisissa tehtävissä: Maija säilyttää nukkeaan aina huoneensa lelulaatikossa. Maijan poissa ollessa Maijan veli ottaa nukken ja laittaa sen vaatekaappiin. Maija palaa huoneeseensa hakemaan nukkeaan. Mistä Maija etsii sitä? Tällaiset niin kutsutut väärän uskomuksen (false belief) tehtävät ovat eräs paljon käytetty menetelmä tutkittaessa mielen teorian kehitystasoa.

Onko aivoista sitten löydettävissä mekanismeja, jotka olisivat keskeisessä roolissa mielen teorian toteuttamisessa? Potilastutkimusten ja aivojen kuvantamistutkimusten perusteella on esitetty, että mielen teorian taustalla on kaksi järjestelmää, joista toisen tehtävänä ajatellaan olevan sen mahdollistaminen, että kykenemme jakamaan ja tuntemaan toisten ihmisten kokemia tunteita (affektiivinen mielen teoria) ja toinen puolestaan toteuttaa kognitiivisten päätelmien tekemistä muiden ihmisten erilaisista mielen tiloista (kognitiivinen mielen teoria) (Abu-Akel & Shamay-Tsoory, 2011). Jotkut tutkijat ovat viitanneet näihin kahteen mielen teorian osa-alueeseen ”kuumana” (hot) ja ”kylmänä” (cold) mielenteorian (Brothers & Ring, 1992).

Tutkimukset ovat esimerkiksi osoittaneet, että toisen ihmisen kivun näkeminen vaikkapa kuvissa tai videoissa aktivoi katsojan omat kivun kokemiseen liittyvät mekanismit ja että tällaisten ”empaattisten aivovasteiden” voimakkuus riippuu nähdyn kivun voimakkuudesta ja esimerkiksi siitä, kohdistuuko kipu miellyttävänä (esimerkiksi rehelliseen) vai epämiellyttävänä (epärehelliseen) pidettyyn henkilöön. Kognitiiviseen mielen teoriaan (mentaliisaatio) liittyvien aivomekanismien

"Ihmisillä on kyky ymmärtää, että itsellä ja muilla on mieli ja erilaisia mielentiloja. Tätä kykyä kutsutaan mielen teoriaksi."

tutkimisessa on käytetty esimerkiksi tehtäviä, joissa tutkittavien on pääteltävä, mitä videolla näkyvä henkilö toiminnallaan tavoittelee. Myös edellä kuvattuja väärän uskomuksen tehtäviä on käytetty kuvantamistutkimuksissa. Tällöin tilanteissa olevat henkilöt ja tapahtumat esitetään tutkittaville usein kuvien avulla ja tutkittavien aivojen aktiivisuutta mitataan samalla kun he päättävät oikeaa ratkaisua tehtävään.

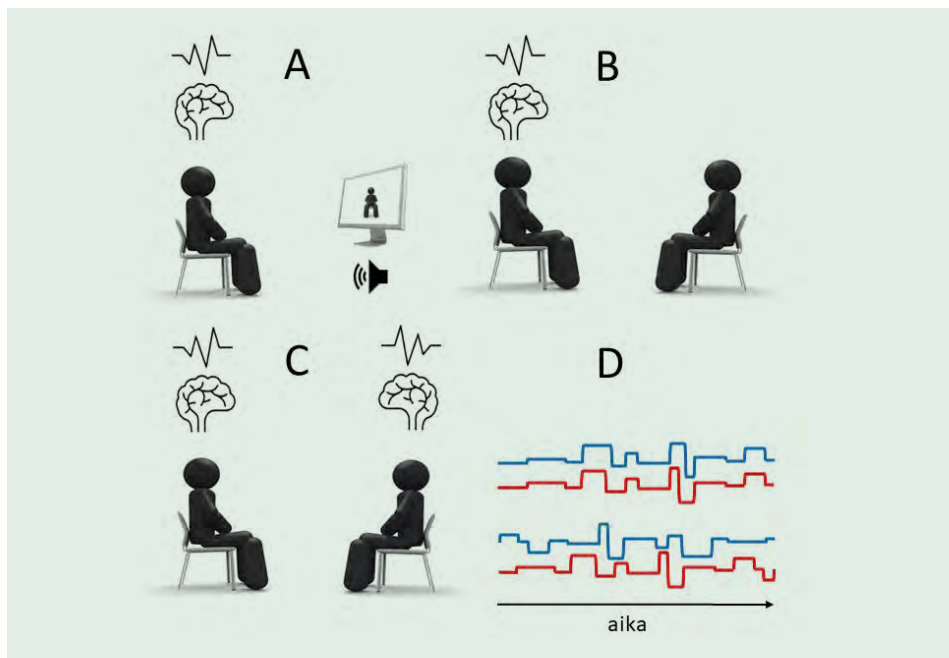
Tutkimukset ovat osoittaneet (ks. Kuva 1), että aivojen otsalohkojen tietyt alueet (orbitofrontaalinen aivokuori,

ventromediaalinen prefrontaalinen aivokuori, inferolateraalinen frontaalinen aivokuori) yhdessä mantelitumakkeen kanssa ovat keskeisiä affektiiviselle mielen teorialle. Kognitiiviseen mielen teoriaan liittyvien aivoalueiden verkoston keskeisiä rakenteita ovat kaksi muuta otsalohkojen aluetta (dorsomediaalinen prefrontaalinen aivokuori, dorsolateraalinen prefrontaalinen aivokuori), ohimolohkojen kärki, ohimolohkojen ylempi uurre ja ohimolohkon ja päänlaenlohkon liittymä (Abu-Akel & Shamay-Tsoory, 2011; Gallagher & Frith, 2003; Hein & Singer, 2008; Monticelli et al., 2021).

4. Tutkimuksen haasteet

Sosiaalisen kognition ja sosiaalisen neurotieteen tutkimus on pitkälti nojautunut kokeellisiin laboratoriotutkimuksiin. Tähän on ollut kaksi syytä. Ensinnäkin laboratoriossa on tutkittaville voitu kontrolloiduissa olosuhteissa esittää ärsykesarjoja, joissa yksittäiset ärsykkeet eroavat toisistaan ainoastaan joidenkin tiettyjen, tutkimuksen kohteena olevien ominaisuuksien suhteen. Esimerkkinä tällaisesta on vaikkapa kuvista tai lyhyistä videopätkistä koostuva, huolellisesti valmistettu kasvoärsykesarja, jossa kussakin kuvassa esitetään henkilön kasvot, mutta kasvoilla näkyvä tunnelmaisuus vaihtelee kuvien välillä. Kaikkien muiden kuvissa näkyvien ominaisuuksien suhteen kuvat ovat mahdollisimman samankaltaisia. Kun kokeessa sitten mitataan aivojen toimintaa samalla kun tutkittavat tunnistavat kuvissa näkyviä kasvoniilmeitä, voidaan tällä tavoin saada esille erityisesti kasvoniilmeiden

tunnistamiseen osallistuvien aivomekanismien toimintaa. Toisekseen aivojen sähköisen toiminnan (ja monien muidenkin psykofysiologisten) vasteiden analysointi on edellyttänyt sitä, että ärsykkeiden esittämisen ajankohta on voitu määrittää hyvin tarkasti (< 100 millisekuntia). Tämä on voitu toteuttaa laboratoriossa helposti esittämällä tallennettuja ärsykejä tietokoneen ohjaamana joko tutkittavan edessä olevalla näytöllä tai kuulokkeista. Tämäntapaisten tutkimusten avulla on saatu valtavasti tietoa erilaisiin sosiaalisiin havaintoihin, kategorisointeihin, valintoihin, päätelmiin ja tunnereaktioihin liittyvistä kognitiivisista prosesseista ja niiden taustalla olevista aivomekanismeista. Näihin tutkimuksiin liittyy kuitenkin yksi tutkimusaiheen kannalta oleellinen ongelma: kuvat eivät tarjoa mahdollisuutta todelliseen vuorovaikutukseen, eivätkä koeasetelmat ole erityisen 'sosiaalisia' (ks. Kuva 2A). Tietokoneen näytöllä esitetty kuva hymyilevistä, kohti katsovista kasvoista on vain kuva. Kukaan ei oikeasti katso tutkittavaa, ei hymyile hänelle, eikä reagoi mitenkään hymyilipä tutkittava hänelle takaisin tai ei. Vaikka tällaiset koeasetelmat ovat olleet välttämättömiä luotettavien ja toistettavien tulosten saamiseksi, ja niiden avulla on saatu paljon tietoa esimerkiksi kasvojen välittämän informaation prosessoinnin peruseräistä, henkilöllisyyden tunnistamisesta ja ilmeiden ja katsesuunnan havaitsemisesta, on kuitenkin mahdollista, etteivät saadut tulokset ole onnistuneet paljastamaan kaikkea sitä, mitä olisi voitu saada selville, mikäli näitä prosesseja olisi tutkittu todellisissa sosiaalisissa vuorovaikutustilanteissa. Laboratoriotutkimusten tulokset saattavat olla jopa erilaisia verrattuna luonnollisissa vuorovaikutustilanteissa saatuihin tuloksiin.



Kuva 2. Erilaisia alan tutkimuksessa käytettyjä koetilanteita. (A) Perinteisissä laboratoriotutkimuksissa mitataan aivojen toimintaa ja muita psykofysiologisia reaktioita vasteina erilaisiin kuvina tai ääninä esitettyihin ärsykkeisiin. Tällaisessa koetilanteessa tutkittava on kuitenkin yksin ja siitä puuttuu mahdollisuus vuorovaikutukseen. (B) Kun "ärsykeenä" esitetään toinen, läsnä oleva ihminen, koetilanne on sosiaalinen. Tutkittava ei ole pelkästään havaintaja, katselija tai kuuntelija, vaan hän myös tietää olevansa toisen ihmisen havaintojen kohteena. Koetilanne on aivan eri tavalla sosiaalinen verrattuna tilanteeseen (A), vaikka tutkittava ja toinen henkilö vain istuisivat hiljaa paikallaan toisiaan katsellen. Tällaisessa koetilanteessa aivojen toimintaa on mahdollista mitata myös aktiivisen vuorovaikutuksen aikana. (C) Mittaamalla aivotoimintaa yhtä aikaa kahden keskenään vuorovaikutuksessa olevan ihmisen aivoista voidaan tutkia, vaikuttavatko aivot toisiinsa; tapahtuuko kahden henkilön aivojen välillä esimerkiksi toiminnan synkronoitumista, aivoaktivaation samanaikaistumista. (D) Kuvitteellista aktivaatiota kahden eri henkilön (sininen ja punainen) aivoista mitattuna. Synkronia on voimakkaampaa ylempänä kuvatussa tilanteessa verrattuna alempaan.

Hyvän esimerkin eroavaisuuksista kuvaärsykeitä ja todellista ihmistä katsottaessa saaduista tuloksista tarjoavat meidän omat tutkimuksemme, joissa olemme mitanneet erilaisia psykofysiologisia vasteita katsekontaktiin (esim. Hietaanen et al., 2008; Pönkänen et al., 2011a, 2011b). Tutkimuksissamme tutkittaville esitettiin kohti ja sivulle katsovia kasvoja

kahdella eri tavalla: joko kuvina tietokoneen näytöllä tai niin, että tutkittavat näkivät edessään toisen henkilön "livenä" (ks. Kuva 2B). Tutkittavan ja mallihenkilön välissä olevalle pöydälle oli asetettu seinäke, johon oli asennettu nestekideikkuna (ns. älyikkuna). Tällainen ikkuna voidaan muuttaa muutamassa millisekunnissa läpinäkymättömäksi läpinäkyväksi ja

näin kasvoärsykkeiden esittäminen on melko samanlaista esitettyinä henkilön kasvoja ikkunan läpi ”elävinä” tai tietokoneen näytöllä kuvina. Tyypillisesti tällaisissa tutkimuksissa ärsykejä esitetään korkeintaan muutaman sekunnin ajan kerrallaan. Ensimmäisestä kokeesta (Hietanen et al., 2008) saamamme tulokset löivät ällikällä. Tietokoneen kuvaruudulla esitettyjen kasvojen katseen-suunta ei vaikuttanut merkittävästi ihon sähköjohtavuuteen tai aivosähkökäyrämittauksen (elektroenkefalografia, EEG) avulla mitattuun eroon aivojen vasemman ja oikean otsalohkon aktivaatiossa (ns. frontaaliasymmetria), joka on liitetty lähestymis- ja välttämismotivaatioon. Kun sen sijaan sama henkilö näkyikin tutkittavalle älyikkunan läpi (täysin liikkumatta ja ilmeettä), edellä mainitut vasteet erosivat merkittävästi suoran ja käännetyn katseen välillä. Autonominen hermosto aktivoitui voimakkaammin suoraan kuin käännettyyn katseeseen ja aivojen frontaaliasymmetriamittaukset osoittivat, että henkilön suoran katseen näkeminen sai aikaan lähestymismotivaatioon liitettyä aivoaktiivisuutta ja käännettyä katse sen sijaan sai aikaan välttämismotivaatioon liitettyä aktiivisuutta. Samantapaiset tulokset toistuiivat myöhemmissä jatkotutkimuksissamme (Pönkänen et al., 2011a, 2011b), ja samanlaisia tuloksia on sittemmin raportoitu myös muista tutkimusryhmistä (esim. Prinsen & Alaerts, 2019). Eräässä tutkimuksessa tutkittavien aivotoimintaa tutkittiin toiminnallisen magneettikuvantamisen (fMRI) avulla samalla kun tutkittavat näkivät kuvauslaitteessa maata peilin kautta joko laitteen vieressä seisovan mallihenkilön kasvot tai kasvoista otetun kuvan (Cavallo et al., 2015). Tulokset osoittivat, että otsalohko-

jen sisäpinnoilla oleva, mielen teorian prosessointiin yhdistetty alue (mediaalinen prefrontaalinen aivokuori), aktivoitui voimakkaammin tutkittavien ottaessa katsekontaktia mallihenkilöön verrattuna tilanteeseen, jossa katsekontaktia ei ollut, tai kun he näkivät pelkän kuvan kohti katsovista kasvoista.

Edellä kuvatun kaltaiset tulokset viittaavat vahvasti siihen, että mitatut fysiologiset vasteet eivät ole vasteita pelkästään visuaalisiin ärsykeisiin – vasteita kohti katsoviin ja käännettyihin silmiin – vaan heijastavat katseen sosiaalisuutta. Läsä olevan ihmisen katseen kohteena oleva tietää tulevansa nähtyksi. Kun toinen katsoo kohti, havaitsija tietää toisen suunnan tarkkaavaisuutensa ja ehkäpä myös ajatuksensa häneen. Havaitsija kokee olevansa toisen ”mielen” kohteena. Kuvassa näkyvät kasvot sen sijaan eivät tällaista kokemusta herätä. Suoraa kokeellista tukea tälle väitteelle saimme tutkimuksessa, jossa tutkittavat näkivät toisen henkilön suuntaavan katsettaan älyikkunan läpi kahdessa eri tilanteessa. Ensimmäisessä tilanteessa ikkunan muuttuessa läpinäkyväksi tutkittavat ymmärsivät, että toinen henkilö kykenee näkemään heidät ikkunan läpi. Toisessa tilanteessa tutkittaville sen sijaan uskoteltiin, että älyikkunan päälle asetettiin niin sanottu yksisuuntainen ikkuna, poliisisarjojen kuulusteluhuoneista tuttu lasi, josta näkee läpi vain toiseen suuntaan. Vaikka älylasi muuttuikin läpinäkyväksi ja tutkittavat näkivät älylasin takana mallihenkilön katsovan heitä kohti, he ymmärsivät tällöin, että yksisuuntaisen ikkunan vuoksi mallihenkilö ei voinut nähdä heitä. Tulokset osoittivat, että mallihenkilön katseen suunta vaikutti tutkittavien fysiologisiin vasteisiin ainoastaan ensimmä-

mäisessä tilanteessa (Myllyneva & Hietanen, 2015). Ihon sähköjohtavuusvasteet ja tarkkaavaisuutta heijastava sydämen syketaajuuden lyhytkestoinen lasku olivat voimakkaampia katsekontaktiin kuin käännettyyn katseeseen ainoastaan ensimmäisessä tilanteessa, toisessa tilanteessa mallihenkilön katsesuunnalla ei ollut vaikutusta näihin vasteisiin. Tulokset tarjosivat siis suoraa näyttöä sen puolesta, että katsekontaktiefekti on luonteeltaan sosiaalinen ja se syntyy nähdyksi tulemisen kokemuksesta.

5. Kohti vuorovaikutuksen neurotiedettä

Viime vuosina sosiaalisen neurotieteen alalla on yhä voimakkaammin alettu tuoda esille sitä, että sosiaalisen kognition prosesseja ja niiden aivoperustaa olisi pyrittävä tutkimaan tavoilla, joissa pyritään mahdollisimman luonnonmukaisiin tilanteisiin joko aidosti tai simuloimalla sellaisia (Schilbach et al., 2013; Hari et al., 2016). Ei riitä, että tutkittavat ovat pelkästään passiivisia erilaisten sosiaalisten ärsykkeiden katselijoita. Laboratorioon on luonnollisestikin hankala luoda vähänkään monimutkaisempia ja luonnonmukaisempia, useita ihmisiä sisältäviä sosiaalisia tilanteita. Eräs enenevässä määrin käyttöön otettu keino on ollut elokuvien esittäminen tutkittaville (Hasson et al., 2004; Saarimäki, 2021). Elokuvat tarjoavat yksittäisten (valo)kuvien esittämisen sijaan mainion tavan tuoda erilaisia sosiaalisia ärsykeitä, tilanteita ja tapahtumia laboratorioon tutkittavien nähtäväksi, jopa

samalla kun tutkittavat makaavat paikallaan kuvantamislaitteessa. Myös virtuaalitodellisuus (virtual reality) ja VR-laitteet ovat löytäneet tiensä sosiaalisen neurotieteen tutkimuksiin. VR-ympäristöt mahdollistavat lisäksi vuorovaikutuksen tutkittavan ja hänen näkemiensä VR-hahmojen välillä. VR-ympäristössä on mahdollista tutkia esimerkiksi edellä mainittua tutkittavan ja toisen henkilön välistä katsekäyttäytymistä. Mittaamalla tutkittavan silmänliikkeitä voidaan virtuaalihahmon katse ohjelmoida eri tavoin riippuvaiseksi siitä, miten tutkittava itse katsetaan käyttää. Kun tutkittava esimerkiksi kääntää katseensa johonkin kohteeseen, virtuaalihahmo suuntaa pienen viipeen jälkeen katseensa samaan kohteeseen (Schilbach et al., 2010; Wilms et al., 2010).

Elokuvien ja virtuaaliympäristöjen käytön tarjoamista monista eduista huolimatta niistäkin puuttuu kuitenkin yksi tärkeä elementti, joka aidossa sosiaalisessa vuorovaikutuksessa on: dynaaminen vuorovaikutus kahden toisensa havaitsevan ihmisen välillä. Luonnollisissa vuorovaikutustilanteissa ihmiset havaitsevat (esim. näkevät ja/tai kuulevat) toisensa, tietävät tulevansa havaituiksi ja näin kykenevät säätelemään ja tahdistamaan vuorovaikutuskäyttäytymistään – puhettaan, katsekäyttäytymistään, kasvonilmeitään ja kehonsa asentoja ja liikkeitä. Sosiaalisen neurotieteen haasteena onkin kehittää tutkimusasetelmia ja saada käyttöönsä menetelmiä, joiden avulla voidaan tutkia ja mitata yhtä aikaa kahden toistensa kanssa vuorovaikutuksessa olevan ihmisen käyttäytymistä, erilaisia fysiologisia vasteita ja aivojen toimintaa (ks. Kuva 2C).

Miksi sitten on tärkeää mitata aivojen toimintaa yhtä aikaa kahden eri henkilön aivoista samalla kun he ovat vuorovaiku-

tuksessa? Voitaisiinhan aivotoimintaa mitata niinkin, että esimerkiksi henkilöiden A ja B keskustellessa mitattaisiin vain henkilön A aivotoimintaa suhteessa henkilön A omaan ja henkilön B kielelliseen ja ei-kielelliseen kommunikaatioon (tilanne kuvassa 2B). Tällöin saataisiin tietoa siitä kuinka yhdet aivot toimivat vuorovaikutuksen aikana. Kahden yhtä aikaa vuorovaikutuksessa olevan ihmisen aivotoiminnan mittaamisen etuna on kuitenkin se, että tällöin voidaan tutkia sitä, kuinka kahdet aivot vaikuttavat

"Kaksien aivojen" tutkimuksissa on mahdollista selvittää, kuinka aivot toimivat vuorovaikutuksessa ja kuinka henkilöt vaikuttavat toistensa aivotoimintaan.

toisiinsa. Voidaan esimerkiksi tutkia, tapahtuuko vuorovaikutuksen aikana aivotoiminnan synkronoitumista kahden henkilön aivojen välillä, alkaako aivojen aktivaatiotason vaihtelussa esiintyä samanaikaisuutta (ks. kuva 2D).

Tällaisissa "kaksien aivojen" (dual-brain) tai hyperskannaus- (hyperscanning) tutkimuksissa on mahdollista selvittää, kuinka aivot toimivat vuorovaikutuksessa ja kuinka henkilöt voivat vaikuttaa toistensa aivotoimintaan (ks. katsausartik-

keli Redcay & Schilbach, 2019). Toiminnallisen magneettikuvantamisen (fMRI) käytön rajoituksena tällaisissa tutkimuksissa on kuitenkin se, että tutkimustilanne ja vuorovaikutus eivät ole kovin luonnonmukaisia; tutkittavien on maattava meluisan kuvauslaitteen sisällä ja vuorovaikutus tapahtuu ilman välitöntä läsnäoloa. Tällaisia tutkimuksia on tehty niin, että tutkittavat ovat kahdessa eri laboratorioissa, jolloin laitteiden toiminta synkronoidaan ja tutkittavat ovat vuorovaikutuksessa verkon välityksellä joko pelaten jotain monitorilla näkyvää peliä yhdessä (King-Casas et al., 2005), tai niin että he ovat sekä ääni- että kuvayhteydessä toistensa kanssa (Bilek et al., 2015). On myös kuvannettu kahden ihmisen aivotoimintaa yhdellä kuvauslaitteella, jolloin kaksi tutkittavaa on asetettu makaamaan kasvokkain samaan kuvauslaitteeseen (Renvall et al., 2020). Ongelmaton tämäkään menetelmä ei ole; tutkittavat joutuvat esimerkiksi olemaan erittäin lähellä toisiaan, mikä voi tuntua epämiellyttävältä. Kahden ihmisen aivotoimintaa on mitattu myös magneto-encefalografian (MEG) avulla, jolloin vältetään fMRI-mittauksiin liittyvä meluongelma. MEG-tutkimuksia on tehty sekä kahdessa eri laboratorioissa sijaitsevilla laitteilla (esim. Baess et al., 2012) että kahdella samassa huoneessa olevalla MEG-laitteella (esim. Lin et al., 2023).

Aivojen sähköisen toiminnan mittaaminen EEG:n avulla ja aivoalueiden aktiivisuuden (veren virtauksen) mittaaminen lähi-infrapuna spektroskopian avulla (fNIRS, functional near infra-red spectroscopy) mahdollistavat toiminnallista magneettikuvantamista paremmin luonnonmukaisempien tutkimusasetelmien järjestämisen. Molemmissa menetelmissä tutkittavien päähän asetetaan

”sensorimyssy”, ja tutkittavat voivat istua kasvotusten tavallisessa huoneessa ja keskustella normaalisti. Molemmat menetelmät sallivat myös pienet kehon liikkeet. Eräässä tutkimuksessa mitattiin aivoaktivaation synkroniaa fNIRS:n avulla samalla kun kaksi tutkittavaa keskustelivat heille annetusta aiheesta (Jiang et al., 2012). Tulokset osoittivat, että verrattuna lepotilanteeseen, jonka aikana tutkittavat vain istuivat hiljaa silmät suljettuina, tutkittavien aivotoiminnan synkronia vasemman otsalohkon alaosissa (inferolateraalaisella frontaalaisella aivokuorella, joka on yhdistetty affektiiviseen mielenteoriaan) lisääntyi merkitsevästi, kun tutkittavat keskustelivat kasvotusten heille annetusta aiheesta. Kun tutkittavat keskustelivat siten, että he istuivat selät vastakkain eivätkä nähneet toisiaan, samanlaista aivotoiminnan synkronian lisääntymistä lepotilaan verrattuna ei havaittu. Eräässä toisessa tutkimuksessa mitattiin aivosähkökäyrää samanaikaisesti aikuiselta ja 8 kuukauden ikäisiltä vauvoilta samalla kun aikuinen lauloi vauvoille lastenloruja kahdessa eri tilanteessa: joko niin, että aikuinen katsoi kohti vauvaa tai niin että aikuisen katse oli suunnattu sivulle (Leong et al., 2017). Tämänkin tutkimuksen tulokset osoittivat, että aikuisen ja lasten aivojen aktivaatio synkronoitui enemmän katsekontaktin kuin käännetyyn katseen aikana. Viimeaikaisinta kehitystä mittausteknologian alueella edustaa ”puettava” magnetoenkefalografia, jossa aivojen aktiivisuutta mitataan niin sanottujen optisesti pumpattujen magnetometriä avulla (optically pumped magnetometer, OPM). Samoin kuin EEG- ja fNIRS-mittauksissa käytettävät sensorit tällaiset magnetometrit voidaan kiinnittää myssyihin, ja näin ollen

myös tämän menetelmän avulla on mahdollista mitata aivotoimintaa ilman, että tutkittavien täytyy olla paikallaan. Tämän menetelmän huomattava etu on se, että se kykenee paikantamaan aivoaktivaatiota tarkemmin kuin EEG tai fNIRS ja samalla sen ajallinen tarkkuus hermosolujen toiminnan mittaamisessa on yhtä hyvä kuin EEG-mittauksissa (sekunnin tuhannesosa) (Holmes et al., 2023).

6. Lopuksi

Yksi sosiaalisen neurotieteen kiinnostavimmista kysymyksistä on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat aivotoiminnan synkronoitumiseen kahden ihmisen aivojen välillä vuorovaikutuksen aikana. Vaikka kaksien aivojen toiminnan synkronian mittaaminen mahdollistaa ulospäin näkyvän käyttäytymisen ”ohittamisen” (Montague et al., 2002), aivotoiminnan synkronoitumista on tutkittava suhteessa käyttäytymistason tapahtumiin. Ainakin nykykäsityksen mukaan on selvää, että kaksien aivojen välillä ei voi olla vuorovaikutusta ilman, että informaatiota siirtyy aistijärjestelmien välittämällä aivoista toiseen. Kielellisen vuorovaikutuksen aikana puheenvuorojen vaihtelun ja puheen rytmin havaitseminen ovat ilmeisiä mahdollisuuksia. Ei-kielellisistä vihjeistä kyseeseen tulevat esimerkiksi vuorovaikutuskumppanin katseen suunnan vuorottelu itseä kohti ja itsestä pois päin, silmien räpäytykset, kasvojen ilmeet ja kehon liikkeet. Voisiko aivotoiminnan synkronoituminen kahden henkilön välillä perustua ainoastaan tämänkaltaisten vihjeiden havaitsemiseen, ja mikä niiden kunkin rooli synkronoitumisessa on? Toinen

mahdollisuus lienee, että aivotoiminnan synkronoituminen edellyttääkin havaittujen vuorovaikutusvihjeiden ohella myös korkeamman tasoista, vuorovaikutuksessa esiin tulevaa ja jaettava yhteistä ymmärrystä ja kokemusta tilanteesta. Kiinnostava kysymys on luonnollisestikin myös se, miten aivotoiminnan synkronia ja osapuolten kokemus vuorovaikutuksen sujuvuudesta liittyvät yhteen. Onko synkroninen aivotoiminta esimerkiksi edellytys sille, että vuorovaikutustilanteessa osapuolista tuntuu, että heillä ”synkkaa”, ja missä määrin aivotoiminnan synkronoituminen liittyy toisaalta (tunne)kokemukseen vuorovaikutuksen sujuvuudesta ja helpoudesta ja toisaalta esimerkiksi jaettuun yhteisymmärrykseen keskustelun tai neuvottelun sisällöistä. Aivotoiminnan synkronoitumisen ja siihen liittyvien psykologisen tason ilmiöiden tutkimus saattaa oleellisella tavalla auttaa myös

ymmärtämään esimerkiksi autismikirjoon, skitsofreniaan, psykopatiaan ja sosiaaliseen ahdistuneisuuteen liittyviä ominaispiirteitä ja ongelmia vuorovaikutuksessa. Näiden taustalla olevien mekanismien aiempaa parempi tunteminen tulee olemaan avainasemassa myös uusien hoitomenetelmien kehittämisessä.

Kirjoittaja

Jari Hietanen

Jari Hietanen, PhD, on psykologian professori Tampereen yliopistossa. Hänen tutkimuksensa kohdistuu sosiaalisen vuorovaikutuksen kannalta tärkeän informaation havaitsemiseen ja sen hermostolliseen perustaan. Tutkimuksen kohteena on erityisesti kasvoilla näkyvien vihjeiden (esim. katsesuunta ja ilmeet) vaikutus tarkkaavaisuuteen, tunnereaktioihin ja niihin liittyviin erilaisiin psykofysiologisiin vasteisiin.

Yhteiskuntatieteiden tiedekunta / Psykologia, Tampereen yliopisto
jari.hietanen@tuni.fi



Kuva: Jonne Renvall / Tampereen yliopisto

Lähteet

- Abu-Akel, A., & Shamay-Tsoory, S. (2011). Neuroanatomical and neurochemical bases of theory of mind. *Neuropsychologia*, 49, 2971–2984. <https://www.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.07.012>
- Baess, P., Zhdanov, A., Mandel, A., Parkkonen, L., Hirvenkari, L., Mäkelä, J. P., Jousmäki, V., & Hari, R. (2012). MEG dual scanning: a procedure to study real-time auditory interaction between two persons. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6:83. <https://www.doi.org/10.3389/fnhum.2012.00083>
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551–565. <https://www.doi.org/10.1162/jocn.1996.8.6.551>
- Bilek, E., Ruf, M., Schäfer, A., Akdeniz, C., Calhoun, V. D., Schmahl, C., Demanuele, C., Tost, H., Kirsch, P., & Meyer-Lindenberg, A. (2015). Information flow between interacting human brains: Identification, validation, and relationship to social expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 112, 5207–5212. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.1421831112>
- Brothers, L., & Ring, B. (1992). A neuroethological framework for the representation of minds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 107–118. <https://www.doi.org/10.1162/jocn.1992.4.2.107>
- Bruce, C., Desimone, R., & Gross, C. G. (1981). Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 46, 369–384. <https://www.doi.org/10.1152/jn.1981.46.2.369>
- Cavallo, A., Lungu, O., Becchio, C., Ansuini, C., Rustichini, A., & Fadiga, L. (2015). When gaze opens the channel for communication: Integrative role of IFG and MPFC. *Neuroimage*, 119, 63–69. <https://www.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.025>
- Corrow, S. L., Dalrymple, K. A., & Barton, J. J. (2016). Prosopagnosia: Current perspectives. *Eye and Brain*, 26, 165–175. <https://www.doi.org/10.2147/EB.S92838>
- De Gelder, B., De Borst, A. W., & Watson, R. (2015). The perception of emotion in body expressions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6, 149–158. <https://www.doi.org/10.1002/wcs.1335>
- Freeman, J. B., Johnson, K. L., Adams, R. B. Jr., & Ambady, N. (2012). The social-sensory interface: category interactions in person perception. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6:81. <https://www.doi.org/10.3389/fnint.2012.00081>
- Frischen, A., Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2007). Gaze cueing of attention: visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological Bulletin*, 133, 694–724. <https://www.doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.694>
- Frith, U. (2001). Mind blindness and the brain in autism. *Neuron*, 32, 969–979. [https://www.doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00552-9](https://www.doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00552-9)
- Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2003). Functional Imaging of “Theory of Mind”. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 77–83. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00025-6)
- Hari, R., Sams, M., & Nummenmaa, L. (2016). Attending to and neglecting people: Bridging neuroscience, psychology, and sociology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371, 20150365. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0365>

- Hasson, U., Nir, Y., Levy, I., Fuhrmann, G., & Malach, R. (2004). Intersubject synchronization of cortical activity during natural vision. *Science*, 303, 1634–1640. <https://doi.org/10.1126/science.1089506>
- Haxby, J. V., & Gobbini, M. I. (2011). Distributed neural systems for face perception. In A. Calder, G. Rhodes, M. Johnson, & J. V. Haxby (Eds.), *Oxford handbook of face perception* (pp. 93–10). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0006>
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243–259. <https://doi.org/10.2307/1416950>
- Hein, G., & Singer, T. (2008). I feel how you feel but not always: The empathic brain and its modulation. *Current Opinion in Neurobiology*, 18, 153–158. <https://www.doi.org/10.1016/j.conb.2008.07.012>
- Hietanen, J. K., Leppänen, J. M., Peltola, M. J., Linna-aho, K., & Ruuhiala, H. J. (2008). Seeing direct and averted gaze activates the approach-avoidance motivational brain systems. *Neuropsychologia*, 46, 2423–2430. <https://www.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.029>
- Holmes, N., Rea, M., Hill, R. M., Boto, E., Leggett, J., Edwards, L. J., Rhodes, N., Shah, V., Osborne, J., Fromhold, T. M., Glover, P., Montague, P. R., Brookes, M. J., & Bowtell, R. (2023). Naturalistic hyperscanning with wearable magnetoencephalography. *Sensors*, 23:5454. <https://doi.org/10.3390/s23125454>
- Jiang, J., Dai, B., Peng, D., Zhu, C., Liu, L., & Lu, C. (2012). Neural synchronization during face-to-face communication. *Journal of Neuroscience*, 32, 16064–16069. <https://www.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2926-12.2012>
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302–4311. <https://www.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997>
- King-Casas, B., Tomlin, D., Anen, C., Camerer, C. F., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2005). Getting to know you: reputation and trust in a two-person economic exchange. *Science*, 308, 78–83. <https://www.doi.org/10.1126/science.1108062>
- Leong, V., Byrne, E., Clackson, K., Georgieva, S., Lam, S., & Wass, S. (2017). Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 114, 13290–13295. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.1702493114>
- Lin, J.-F. L., Imada, T., Meltzoff, A. N., Hiraishi, H., Ikeda, T., Takahashi, T., Hasegawa, C., Yoshimura, Y., Kikuchi, M., Hirata, M., Minabe, Y., Asada, M., & Kuhl, P. K. (2023). Dual-MEG interbrain synchronization during turn-taking verbal interactions between mothers and children. *Cerebral Cortex*, 33, 4116–4134. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac330>
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., Wiest, M. C., Karpov, I., King, R. D., Apple, N., & Fiske, R. E. (2002). Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage*, 16, 1159–1164. <https://www.doi.org/10.1006/nimg.2002.1150>
- Monticelli, M., Zeppa, P., Mammi, M., Penner, F., Melcarne, A., Zenga, F., & Garbossa, D. (2021). Where we mentalize: Main cortical areas involved in mentalization. *Frontiers in Neurology*, 12, 712532. <https://www.doi.org/10.3389/fneur.2021.712532>

Myllyneva, A., & Hietanen, J. K. (2015). There is more to eye contact than meets the eye. *Cognition*, 134, 100–109. <https://www.doi.org/10.1016/j.cognition.2014.09.011>

Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2007). The neural basis of visual body perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 636–648. <https://doi.org/10.1038/nrn2195>

Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515–526. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>

Prinsen, J., & Alaerts, K. (2019). Eye contact enhances interpersonal motor resonance: Comparing video stimuli to a live two-person action context. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14, 967–976. <https://doi.org/10.1093/scan/nsz064>

Pönkänen, L. M., Alhoniemi, A., Leppänen, J. M., & Hietanen, J. K. (2011). Does it make a difference if I have an eye contact with you or with your picture? An ERP study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6, 486–494. <https://www.doi.org/10.1093/scan/nsq068>

Pönkänen, L. M., Peltola, M. J., & Hietanen, J. K. (2011). The observer observed: Frontal EEG asymmetry and autonomic responses differentiate between another person's direct and averted gaze when the face is seen live. *International Journal of Psychophysiology*, 82, 180–187. <https://www.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.08.006>

Rakoczy, H. (2022). Foundations of theory of mind and its development in early childhood. *Nature Reviews Psychology*, 1, 223–235. <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00037-z>

Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction. *Nature Review Neuroscience*, 20, 495–505. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0179-4>

Renvall, V., Kauramäki, J., Malinen, S., Hari, R., & Nummenmaa, L. (2020). Imaging real-time tactile interaction with two-person dual-coil fMRI. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 279. <https://www.doi.org/10.3389/fpsy.2020.00279>

Saarimäki H. (2021). Naturalistic stimuli in affective neuroimaging: A review. *Frontiers in Human*

Neuroscience, 15, 675068. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.675068>

Santavirta, S., Karjalainen, T., Nazari-Farsani, S., Hudson, M., Putkinen, V., Seppälä, K., Sun, L., Glerean, E., Hirvonen, J., Karlsson, H. K., & Nummenmaa, L. (2023). Functional organization of social perception in the human brain. *NeuroImage*, 272: 120025. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120025>

Santavirta, S., Malén, T., Erdemli, A., & Nummenmaa, L. (2023). Taxonomy of human social perception. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.09.28.559888>

Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., & Vogeley, K. (2013). Toward a second-person neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 36, 393–414. <https://doi.org/10.1017/S0140525x12000660>

Schilbach, L., Wilms, M., Eickhoff, S. B., Romanzetti, S., Tepest, R., Bente, G., Shah, N. J., Fink, G. R., Vogeley, K. (2010). Minds made for sharing: Initiating joint attention recruits reward-related neurocircuitry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 2702–2715. <https://www.doi.org/10.1162/jocn.2009.21401>

Sergent, J., Ohta, S., & MacDonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing. *Brain*, 115, 15–36. <https://www.doi.org/10.1093/brain/115.1.15>

Wilms, M., Schilbach, L., Pfeiffer, U., Bente, G., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2010). It's in your eyes – using gaze-contingent stimuli to create truly interactive paradigms for social cognitive and affective neuroscience. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 5, 98–107. <https://www.doi.org/10.1093/scan/nsq024>