

## Aivoaaltoja, vuorovaikutusta ja koneoppimista

■ Ari Turunen

Ihminen on sosiaalinen olento, jonka lajityypillistä käyttäytymistä on perinteisesti tutkittu yhteiskuntatieteissä ja sosiaalipsykologiassa. Nyt mukaan ovat liittyneet myös aivotutkijat.

Neurotieteilijä, akateemikko Riitta Hari on ryhmineen tutkinut ihmisaivojen toimintaa jo 1980-luvulta lähtien, erityisesti kehittäen ja soveltaen aivojen kuvantamismenetelmää, jolla voidaan seurata millisekuntien tarkkuudella aivoissa tapahtuvia muutoksia. Hänen mielestään ihmisaivojen kuvantaminen on muuttanut huomattavasti käsityksiämme käyttäytymisen ja aivotointojen suhteista

– Ihmismieli on kehittynyt sosiaalisessa vuorovaikutuksessa, joten haluamme tutkia aivotointojakin luonnonmukaisissa tilanteissa. Olemmekin kehittämässä uudenlaista ”kahden ihmisen neurotiedettä”, jossa analyysiyksikkönä on mieluummin kahden ihmisen muodostama dyadi kuin yksilö, Hari toteaa.

Näin monimutkaisiin asetelmiin on kuitenkin ollut pitkä matka.

– Luja perusta monimutkaisempien toimintojen tutkimukselle on luotu eri aistialueiden, kuten kuulon, näön ja tunnon kartoituksella. Samalla koeasetelmia on voitu monimutkaistaa mittalaitteiden kehittymisen myötä.

### MEG-menetelmä suomalaista huippuosaamista

Ihmisaivot ovat hyvässä suojassa kallon sisällä, eikä niiden toimintaa ole helppo tarkkailla. Hermosolujen viestit etenevät hermoverkoissa sähköimpulsseina, jotka muiden sähkövirtojen tapaan synnyttävät myös heikkoja magneettikenttiä.

Jo 1920-luvun lopulla mitattiin kallon pinnalta hermosolujen sähkövirtoihin liittyviä jänniteeroja aivosähkökäyrän eli elektroenkefalografian (EEG) avulla. Valitettavasti kallo vaikeuttaa EEG-signaalien syntypaikkojen tulkintaa häiritsemällä ja levittämällä potentiaalijakautumaa.

Magneetikentille kallo on kuitenkin läpinäkyvä, ja 1970-luvun taitteessa mitattiin Yhdysvalloissa ensimmäisen kerran aivosähkökäyrää vastavia heikkoja magneettikenttä pään ulkopuolelta; menetelmä on nimeltään magnetoenkefalografia (MEG). MEG:n avulla pystytään EEG:tä paremmin tunnistamaan signaaleja tuottavat aivoalueet ja aivosignaaleja voidaan seurata millisekuntien tarkkuudella. Menetelmä soveltuukin erinomaisesti aivokuoren dynamiikan tutkimukseen, ja millisekuntien ajallinen tarkkuus on tärkeää sekä aistimiselle että liikkeiden tuotolle.

Suomalaisilla on ollut merkittävä osuus MEG-menetelmän kehittämisessä. Suomen ensimmäiset magnetometrit rakennettiin professori Toivo Katilan johdolla jo 1970-luvulla Teknillisen korkeakoulun Otaniemen kylmälaboratoriossa sydämen magneettikentän mittauksiin. Myöhemmin samoja laitteita alettiin käyttää myös aivojen heikkojen magneettikenttien rekisteröintiin. Herkät SQUID (*superconducting quantum interference device*) -anturit vaativat toimiakseen erittäin matalan lämpötilan, vain muutaman asteen absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, joten kylmälaboratorio oli otollinen paikka MEG-tutkimuksille.

MEG-laitteiden kehitystyötä jatkettiin kylmälaboratoriossa 1980-luvulla akateemikko Olli V. Lounasmaan johdolla ja vuonna 1989 viisi laboratorion tutkijaa (Antti Ahonen, Riitta Hari, Matti Hämäläinen, Jukka Knuutila ja Olli V. Lounasmaa) perustivat Mustekala-yhtiön, josta syntyi

myöhemmin Neuromag Oy. Ruotsalaisen Elek-tan ostettua firman vuonna 2003 syntyi nykyinen Elekta Neuromag, joka kehittää ja myy koko pään kattavia MEG-laitteita ympäri maailmaa.

– Hallitsimme alkuaikoina alan tutkimus-ta, koska meillä oli parhaimmat laitteet ja paras yhteistyö laiterakentajien ja menetelmän sisäl-löllisten taitajien välillä. Kun muut tutkimus-ryhmät alkoivat hankkia suomalaisia koko pään kattavia MEG-laitteita, ensimmäisenä Kioton yliopisto 1990-luvun alkupuolella, suomalaisten ylivoima-asema alkoi heiketä, mutta samal-la täällä tehty tärkeä perustyo levisi maailmalle.

Vaikka vastaavanlaisia MEG-laitteistoja on nykyään jo yli 130 laboratorioissa ympäri maa-ilmaa, useat niistä erittäin hyvin rahoitetuissa suurissa aivokuvantamiskeskuksissa, suomalai-set ovat säilyttäneet vahvan asemansa alan kär-kiasiantuntijoiden joukossa.

Laajimmalle levinnyt aivokuvantamismene-telmä on toiminnallinen magneettikuvaus (*func-tional magnetic resonance imaging*, fMRI), jolla seurataan aivojen hapetusmuutoksia. Menetel-mä on käytössä jo tuhansissa laboratorioissa ympäri maailmaa ja tutkimuskäyttöön omistettu fMRI-laitteisto on myös Aalto-yliopiston AMI-keskuksessa Otaniemessä. Vaikka fMRI:llä saa-daan aivotoininnan paikka selville millimetrien tarkkuudella, menetelmän haittana on veren-kierron hitaus, jonka takia fMRI-signaali saa-vuttaa huippunsa vasta 4–6 sekunnin kuluttua aistinärsykkeestä, kun taas MEG-vasteen viive on vain muutamia kymmeniä millisekunteja.

## **Parempaa ymmärrystä aivotoinnoista**

Viime vuosina Hari on kiinnostunut erityisesti sosiaalisen vuorovaikutuksen aivomekanismeis-ta. Harin mielestä ihmisaivojen kuvantaminen on parantanut huomattavasti ymmärrystäm-me käyttäytymisen ja aivotoinintojen suhteista. Perustutkimuksen sivutuotteena paranee myös tieto aivojen ja mielen sairauksista.

Väestön ikääntyessä aivosairaudet muodos-tavat enenevän ongelman kaikissa länsimais-sa. Suomessakin sairastuu joka vuosi yli 13 000 henkilöä aivohalvaukseen. Kun aivojen toimin-taa opitaan uusien menetelmien avulla ymmär-

tämään paremmin, sairauksia voidaan diag-nostisoida tarkemmin ja potilaita kuntouttaa yksilöidymmin.

Mittauslaitteiston kehittymisen myötä voi-daan nykyään tutkia huomattavan monimutkai-siakin aivotapahtumia.

– Aivojen toimintaa ei enää tarkastella vain yksittäisiin alueisiin keskittyen vaan ymmärretään, että aivot koostuvat lukuisista toiminnal-lisista verkostoista. Tätä monimutkaista koko-naisuutta on päästy kunnolla tutkimaan vasta parantuneiden analyysimenetelmien myötä.

Tietokoneiden tehokkaan laskennan avulla verkostot pystytään visualisoimaan esimerkiksi korreloimalla pienen aivojen tilavuuselementin, vokselin (tyypillisesti 3 x 3 x 3 mm<sup>3</sup>), toimintaa aivojen kaikkien muiden vokseleiden toiminnan kanssa, jolloin saadaan esille karkea aivojen kyt-keytyvyyskartta.

Harin mielestä aivotoinintojen verkosto-luonne selittää monia yllättäviä klinisiä havain-toja siitä, että esimerkiksi aivoverenkiertohäi-riötä seuraava toimintapuutos saattaa syntyä kaukana varsinaisesta vaurioalueesta.

– Myös useampia ihmisaivoja voidaan ajatel-la tiedonkäsittelyverkostoina. Menetelmällisistä syistä aivosignaaleja on toistaiseksi mitattu yleensä vain yhdestä koehenkilöstä kerrallaan, vaikka tällainen sosiaalisen verkoston viiteke-hys edellyttäisikin monen ihmisen tutkimista samalla kertaa.

Harin tutkimusryhmä on vastikään yhdis-tänyt kaksi 5 km:n päässä toisistaan sijaitsevaa MEG-laitetta, joista toinen sijaitsee Meilah-dessa ja toinen Otaniemessä niin, että kahden ihmisen aivotoinintaa voidaan mitata saman-aikaisesti tutkittavien keskustellessa keskenään. Laitteet ovat tarkasti aikalukittuja keskenään ja koehenkilöt näkevät myös toisensa videomoni-torin kautta.

– Olemme jo julkaisleet menetelmän ja par-haillaan painimme varsinaisten neurotieteel-listen ongelmien kanssa. Yritämme ymmärtää esimerkiksi vapaan keskustelun nopeisiin vuo-ronvaihtoihin liittyviä aivotapahtumia sekä ohi-menevien kasvonilmeiden aiheuttamaa väritystä luonnollisessa vuorovaikutuksessa.

– Tämä tutkimus on erittäin vaikeaa sekä menetelmällisesti että sisällöllisesti, mutta kyllä se vähitellen onnistuu – jos ei meillä niin muualla, sillä monet muutkin tutkimusryhmät ovat alkaneet innostua markkinoimastamme kahden ihmisen neurotieteestä.

## Koneoppiminen

Aivokuvantamislaitteet syttävät valtavasti dataa, josta pystytään toistaiseksi tulkitsemaan vain pieni osa. Tällainen suurikaan tiedon määrä ei kauhistuta tiedonlouhijoita, ja moderni aivokuvantaminen tarjoaakin kiinnostavia tehtäviä signaalianalyysin taitajille. Samalla on syntynyt odottamattomia yhteyksiä aikaisemmin erillisten tieteenalojen välille.

– Koneoppiminen on nykyään tosi kova sana aivosignaalien analyysissä, Hari toteaa.

Koneoppimisalgoritmien avulla voidaan jopa yrittää päätellä, mitä ihminen kokee, näkee tai aikoo.

– Ajatuksia ei voida lukea, mutta arvausta paremmin voidaan sanoa vaikkapa, mitä esinettä tutkittava katseli mittauksen aikana.

Koneoppimisen tutkijat alkoivat kiinnostua aivokuvantamissignaaleista, kun yhdysvaltalainen aivotutkija James Haxby työtovereineen julkaisi *Science*-lehdessä vuonna 2001 artikkelin, jossa he osoittivat, että erilaisten esineiden synnyttämistä aivokuoren aktivaatiokuvioista voidaan päätellä, minkälaista esinettä ihminen katsoi kullakin hetkellä.

Katsomisen aikana aivosolut reagoivat esineen monille piirteille, kuten muodolle, värille ja sijainnille näkökentässä. Tällöin syntyy juuri tuolle katsomistilanteelle luonteenomainen aivojen aktivaatiokuva. Kun ensin kerätään tietoja monien erilaisten esineiden ja kuvien synnyttämistä aktivaatiokuvioista, voidaan vähitellen ennustaa, minkälainen olisi jonkin aivan muun esineen tai kuvan synnyttämä aivovaste. Jos tällainen vaste sitten mitataan, voidaan kertoa, minkälainen ärsyke sen on todennäköisesti synnyttänyt, esimerkiksi onko henkilö katsonut tuolia tai pöytää tai mahdollisesti jotakin elokuvapätkää.

Ihmisaivot toimivat pääpiirteissään niin samalla tavalla, että osa koneoppimismalleista

on yleistettävissä henkilöstä toiseen. Harin tutkimusryhmä tekee tiivistä yhteistyötä signaalianalyysin asiantuntijoiden professori Aapo Hyvärisen (Helsingin yliopisto) ja professori Samuel Kasken (Aalto-yliopisto) tutkimusryhmien kanssa MEG-signaalien analyysissä.

Hari korostaa, että pyrkimys on lähinnä ymmärtää, miten paljon tietoa aivosignaaleista on napattavissa ja miten tietoa koodataan aivoissa. Tutkimuksella saattaa kuitenkin olla myös klinisiä sovelluksia.

– Maailmalla on jo kehitetty käsiroteeseja, jotka toimivat tutkittavan aivosignaalien ohjaamina.

## Aivot aalloilla

Hari on tutkijakollegoineen yhdistänyt ennakkoluulottomasti aivotutkimukseen myös monia erilaisia tieteenaloja. Hänen johtamassaan Aalto-yliopiston monitieteisessä aivoAALTO-hankkeessa tutkitaan esimerkiksi elokuvan vaikutusta aivoihin ja mieleen.

Vastikään on saatu kiinnostavia tuloksia siitä, miten samanlaisesti eri ihmisten aivot prosessoivat elokuvan avulla tuotettuja luonnonmukaisia monimutkaisia ärsykeitä. Keskeiseen asemaan ovat nousseet tunteet, jotka synkronoivat elokuvan katsojien aivoja erittäin tehokkaasti ja siten saavat heidän siirtymään ”samalle aaltopituudelle”. Tässä alkavat jo kohdata aivotutkimus ja sosiaaliset tieteet.

Aivokuvantaminen on synnyttänyt paljon innostusta kaikkialla maailmassa. Suosiota kuvaa se, että päivittäin ilmestyy jopa kahdeksan pelkästään fMRI-menetelmään pohjautuvaa julkaisua.

– Tällaisessa olemassaolon taistelussa tutkijan on erikoistuttava, sillä rahaa ja tekijöitä ei riitä kaikilla tieteenaloilla menestymiseen. Oman ryhmäni erikoisalueena on ihmisen aivokuoren dynamiikka sekä aivotoiminnot luonnonmukaisissa koetilanteissa, mukaan lukien sosiaalinen vuorovaikutus.

– Tutkijoiden on löydettävä oma ekolokeronsa aivan kuin muidenkin eläinten.

**Kirjoittaja on tiedetoimittaja ja tietokirjailija.**