

# Neuroinformatiikka – tietotekniikkaa ja aivotutkimusta

■ Marja-Leena Linne ja Ulla Ruotsalainen

**Neuroinformatiikka on tutkimusala, jonka tavoitteena on tiedon integrointi ymmärrykseksi aivojen ja hermoston toiminnasta nykyaikaisia tietotekniikan työkaluja käyttäen. Näitä työkaluja ovat muun muassa tietokannat neurotieteellisen tiedon tallentamiseen ja jakamiseen, ohjelmistot signaalien ja kuvien analysoimiseen sekä mallintamiseen ja simuloimiseen.**

Ihmisaivot ovat dynaaminen, jatkuvasti muuttuva elin. Aivot kehittyvät lapsuutemme aikana geeniperimämme ja ympäristöstä saatujen ärsykkeiden vaikutuksesta. Jatkovaa mukautumista tapahtuu myös aikuisiällä – niin rakenteellisesti kuin toiminnallisestikin. Tarpeetomat hermokytkökset saattavat vetäytyä, ja ne voivat tarvittaessa kasvaa takaisin. Neurotiede on tuottanut valtavan määrän yksityiskohtaista tietoa aivoista ja niiden muovautuvuudesta sekä niistä biokemiallista ja -fysikaalisista mekanismeista, jotka muodostavat aivojen muovautuvuuden perustan. Aivojen kokonaisvaltaisen toiminnan ymmärtäminen vaatii kuitenkin vielä ponnisteluja. Tulevaisuudessa tarvitaan tietoteknisiä ratkaisuja moniulotteisen ja monitieteisen tiedon yhdistämiseen.

## Neuroinformatiikkaa kehitetään kansainvälisissä verkostoissa

Neuroinformatiikan tavoitteita tukemaan perustettiin vuonna 2005 kansainvälinen neuroinformatiikan kattojärjestö, INCF (*International Neuroinformatics Coordination Facility*). Maailmanlaajuiseen järjestöön on tähän mennessä liittynyt yhteensä 17 maata<sup>1</sup>. INCF on ottanut

1 Suomi on perustajajäsen ja liittyi INCF:n jäseneksi vuonna 2005. Suomessa neuroinformatiikan toimintaa koordinoiva taho (INCF; <http://www.cs.tut.fi/sgn/neuroinfo/>) sijaitsee Tampereen teknillisen yliopiston Signaalinkäsittelyn laitoksella.

tehtäväkseen yhdistää alan tutkijoita maailmanlaajuisesti luomalla tietoteknisiä infrastruktuureja, jotka auttavat jakamaan dataa ja tutkimustuloksia laajan tutkijayhteisön käyttöön nykyistä tehokkaammin ja laajemmin.

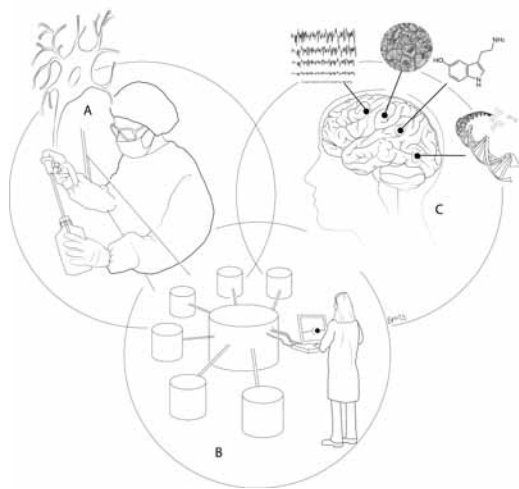
INCF:llä on parhaillaan käynnissä viisi erilaista tieteellistä tutkimusohjelmaa<sup>2</sup>: Neurotieteen ontologiat eli sanastot, Anatomisesti tarkat aivokartastot eli aivoatlakset, Datan jakamiseen liittyvät standardit, Monitasoinen aivotoimintojen tietokonemallinnus sekä Neuroinformatiikan maailmanlaajuinen opetus ja koulutus. Tutkimusohjelmissa työskentelee satoja tutkijoita ympäri maailmaa, ja INCF toimii tutkimusohjelmien työryhmien koordinaatitahona. Tutkimusohjelmien sisältöä ja tietoteknisiin kehityshankkeisiin liittyviä haasteita käydään tarkemmin läpi seuraavissa kappaleissa.

INCF pyrkii oman tietoteknisen kehitystyönä lisäksi muodostamaan yhteistyöverkostoja suurten dataa, malleja ja tietokantaratkaisuja tuottavien tutkimuslaitosten ja -projektien kanssa. Esimerkkinä tällaisista ovat Allen Institute for Brain Science (Seattle, Yhdysvallat), Google, One Mind -tutkimusprojekti (Yhdysvallat), Blue Brain -tutkimusprojekti (Lausanne, Sveitsi) ja EU:n rahoittama FET flagship -projekti Human Brain. Yhteisenä tavoitteena kaikilla edellä mainituilla on luoda pohjaa kehittymässä olevalle, tietoverkoissa tapahtuvalle neurotieteen tutkimukselle (neurotieteen eScience).

## Neurotiede hyötyy tiedon integroinnista

Neurotieteen eri tutkimusalat, kuten molekyyli- ja solubiologia, aivojen rakenteen anatomia sekä kliininen neurotiede, ovat edelleen pitkälti omia itsenäisiä alojaan. Jatkossa tutkijoiden pyrkimyksenä on ymmärtää aivojen eri toimin-

2 <http://www.incf.org/programs>



Neuroinformatiikan tutkimuskohteet. Kuva: Beatriz Martin Villalba, INCF Secretariat.

nallisten tasojen (aivoalueet, soluverkot, solut, solukalvot ja -elimet sekä molekyylit) välisiä vuorovaikutuksia. Aivojen dynaamisen toiminnan selittäminen yhdellä toimintatasolla ei enää riitä – on tärkeää tutkia solu- ja molekyylitason tapahtumien yhteyttä soluverkkotasoon tapahtumiin ja kognitiivisiin prosesseihin.

Aivojen viestinvälityksen yksi ominaisimmista piirteistä on kyky muuttaa toimintaa aikaisemman aktiivisuuden mukaan. Puhumme kyvystä oppia uutta. Tutkijat selvittävät opitun aineksen tallentamista ja muistin eri muotojen, kuten työmuistin sekä lyhyt- ja pitkäkestoisen muistin, toimintaa ja syntymekanismeja. Lukuisat merkittävät tutkimukset viimeisten noin 25 vuoden aikana ovat osoittaneet, että muutokset molekyylili-, solu- ja verkkotasolla ovat olennaisia.

Kehityksen ja oppimisen aikana hermosolut muodostavat synapsien avulla kytköksiä toisten hermosolujen kanssa. Muun muassa näiden kytkösten vahvistamisen on osoitettu olevan olennaista oppimistapahtumassa ja mahdollisesti myös muistin muodostumisessa. Aivoihin muodostuu oppimisen seurauksena paikallisia toiminnallisia mikroverkkoja, joissa hermosolut kytköksineen, hermotukisolut sekä monimuotoinen soluväliaine toimivat ”verkostomais-

ti” yhteistyössä. Mikroverkkojen rakennetta ja toimintaa tutkitaan parhaillaan intensiivisesti ympäri maailmaa niin kehittyvissä kuin kehittyneissä aivoissa.

Aivoalueiden, kuten aivokuoren ja talamuksen, väliset hermoradat siirtävät paikallisten mikroverkkojen käsittelemää tietoa eteenpäin. Aivoalueiden välisissä hermoradoissa informaatio siirtyy pidempiä matkoja kuin paikallisissa, tietyn aivoalueen sisällä olevissa mikroverkoissa. Eri aivoalueiden ja ääreishermoston välittäjä ja käsittelemä tieto integroidaan koko aivojen tasolla kognitioksi.

Eri tekijöiden vaikutuksia esimerkiksi oppimiseen ja muistin muodostumiseen ei kuitenkaan ymmärretä vielä kokonaisvaltaisesti. Aivojen toiminnallisten tasojen välisten vuorovaikutusten selvittäminen ja sirpaleisen tiedon kokoaminen ymmärrettäväksi kokonaisuudeksi vaativat jatkossa kehittyneitä tietoteknisiä välineitä.

Verkkojen tutkimuksella on pitkät perinteet myös insinööritieteissä. Verkkojen rakennetta ja dynamiikkaa on tutkittu erilaisissa järjestelmissä, muun muassa tietoverkoissa kuten internet, tietoliikenneverkoissa ja ihmisten välisissä sosiaalisissa verkostoissa. Samoja työkaluja voidaan soveltaa myös aivojen mikroverkkojen tutkimukseen. Insinööritieteiden tarjoamat teoreettiset analyysityökalut auttavat osaltaan ymmärtämään hermoston integratiivista rakennetta ja toimintaa.

## Mittausmenetelmien mahdollisuudet ja haasteet

Aivotutkimuksen parissa käytetään monia, erilaisten ilmiöiden mittaamiseen perustuvia menetelmiä. Osa mittauksista rekisteröi biosähköisiä ilmiöitä tai aineenvaihdunnan tapahtumia, osa puolestaan mittaa aivosolujen geenien aktivoitumista tai biokemiallisia vasteita tiettyyn ärsykkeeseen. Dataa kerätään koe-eläimiltä sekä terveiltä ja sairailta henkilöiltä. Tietoa kerätään menetelmillä, joiden avaruudellinen mittaustarkkuus vaihtelee solukalvojen ja -elinten tasolta koko aivojen tasolle sekä ajallinen tarkkuus millisekunnin osista päiviin tai

kuukausiin. Evoluutiotutkimukset ja -aineistot ovat tätäkin pidemmältä ajalta. Mittausten avulla päätellään, joko suoraan tai epäsuorasti, mitä aivoissa tapahtuu. Tulevaisuudessa tietokannat ja tietokonemallinnus tarjoaa oivan tavan yhdistää eri mittausmenetelmistä saatua tietoa ja luoda kokonaiskuvaa tutkitusta ilmiöstä aivojen eri toimintatasoilla.

Uudet mittausmenetelmät, joissa mitatun suureen lähde tunnetaan tarkasti (ns. *ground truth* -signaali), ovat jatkossa merkittäviä aivo-toimintojen selvittämisessä. Vasta toimintojen taustalla olevien mekanismien tunteminen edesauttaa aivosairauksien ymmärtämisessä ja täsmähoitojen kehittämisessä. Tällä hetkellä *ground truth* -signaalia mittaavia menetelmiä ovat muun muassa yhdestä kudosleikkeen tai soluviljelmän solusta aktiivisuutta mittaavat sähköfysiologiset menetelmät (*patch clamp*, *multiple electrode patch clamp*). Tilanne on kuitenkin tällä hetkellä se, että esimerkiksi kaksi solun biosähköistä aktiivisuutta mittaavaa tutkimusryhmää eri puolilta maailmaa käyttää erilaisia mittauslaitteistoja ja mittaamistaan signaaleista erilaista sanastoa. Tämä hankaloittaa yhteisten tietoteknisten ratkaisujen käyttöönottoa ja yhteistyötä.

Neurotieteen tutkimuksissa käytetty stimulus (ärsyke, heräte, farmakologisen aineen lisäys) ja systeemille suoritettu perturbaatio (poikkeutus normaalitilasta) on tärkeää tallentaa mahdollisimman tarkasti varsinaisen datan lisäksi. Mikäli koehenkilölle on esimerkiksi näytetty elokuva ja samanaikaisesti mitattu elektroencefalografia (EEG) - tai magnetoencefalografia (MEG) -signaalia, on ärsyksenä käytetyn tiedon tallentaminen sähköiseen muotoon suhteellisen helppoa. Ärsyksen tai poikkeutuksen esittäminen tietokannoissa on selvästi vaikeampaa tutkimuksissa, joissa koe-eläimen on annettu toimia vapaasti elinympäristössään ja joissa on tutkittu niin kutsutun lepotilan aktivoitumista, tai kun soluviljelmää on stimuloitu soluviljelyastiaan lisätyllä farmakologisella aineella. Farmakologisen aineen lisäämisen ajanhetki voidaan antaa, mutta aineen leviäminen soluviljelmässä voidaan esittää vain tilastollisesti. Neuroinfor-

matiikan tavoitteena on luoda standardeja, joilla esitetään tutkimuksissa käytetty stimulus yhdistettynä dataan.

Erilaisista mittauksista kertyy valtavia määriä dataa. Data päättyy tyypillisesti yksittäisen tutkijan tai muutaman hänen kollegansa käyttöön. Dataan perustuva analysoitu tieto johtopäätöksineen julkaistaan, mutta ei alkuperäistä dataa. Tutkimusryhmälle itselleen on hyödyllistä kerätä kokonaisvaltaista tietoa tutkimuksista tietokantaan. Laskennallisen neuroanatomian tutkimusryhmä Oslossa on panostanut vahvasti tällaisen tiedontallennusympäristön kehittämiseen.<sup>3</sup> Kehitetyssä tiedontallennusjärjestelmässä tallennetaan niin aivokuvat, niiden analyysiin käytettävät työkalut, analyysitulokset, muodostetut aivoatlakset kuin myös tutkimukseen liittyvä oheistieto. Oman tutkimusryhmän tutkijat löytävät tarvittavat tiedot helposti ja nopeasti. Tietoa voidaan myös jakaa nopeammin muiden käyttöön, mikäli tarvetta ilmenee esimerkiksi uuden yhteistyöprojektin myötä.

## INCF kehittää datan tallennus- ja hakupalveluita

INCF:n infrastruktuuryö konkretisoitui neurotieteilijän datapankin muodossa (INCF DataSpace<sup>4</sup>). Se esiteltiin ensimmäistä kertaa vuosittaisessa Society for Neuroscience 2012 -konferenssissa New Orleansissa Yhdysvalloissa. Järjestelmä on rakennettu INCF:n ja järjestössä aktiivisesti toimivan maailmanlaajuisen tutkijaverkoston avulla.

INCF:n kehittämä DataSpace mahdollistaa datan tallentamisen jäsennellysti ja tehokkaasti. Systemi on myös tehty helppokäyttöiseksi, mikä mahdollistaa datan jakamisen tiedeyhteisön käyttöön tulevaisuudessa. Tietojen tallennusinfrastruktuurin avulla kaikki maailman yhteensopivat tietokannat saadaan näkymään tutkijan tietokoneella ikään kuin yhtenä tietokantana. Systemissä voi määritellä, kuka saa

3 <http://www.med.uio.no/imb/english/research/groups/neural-systems/index.html>

4 INCF DataSpace on datapankki, jonne kuka tahansa tutkija voi rekisteröityä ja tallentaa datansa; lisätietoa <http://incf.org/resources/data-space/>.

oikeudet käyttää mitäkin tietokantaa. Tieto- ja voidaan jakaa aluksi vain omaan tai tutkimusryhmän käyttöön. Myöhemmin, kun omat tutkimukset on julkaistu, voidaan data jakaa yhteistyötahoille ja lopuksi avoimeksi kaikille – muuttamalla vain käyttörajoituksia avoimemmaksi.

Suomalaiset tutkijat ja informatiikka-alan asiantuntijat ovat olleet aktiivisesti mukana vaikuttamassa biotieteiden, myös neuroinformatiikan ja INCF:n DataSpacen, kehitystyöhön. Esimerkiksi CSC Ltd. – Tieteen Tietotekniikan keskus on luomassa yhteistyötä INCF:n kanssa tarjoamalla omaa osaamistaan järjestelmän laajentamiseksi. Suomessa ollaan käynnistämässä hankkeita, joissa testataan datan jakamista eri yhteistyötahojen kesken käyttäen INCF:n kehittämää järjestelmää.

Neuroinformatiikka-alan päämääränä on, että kerran hankittua dataa ja saatuja tutkimustuloksia käytettäisiin useaan kertaan erilaisissa tutkimusprojekteissa ympäri maailmaa. Erityisesti olisi tärkeää saada käsittelemätön data sellaisenaan laajemman tutkijakunnan käyttöön, jotta se voitaisiin yhdistää paremmin muihin tutkimuksiin tai matemaattisen mallintamisen pohjaksi. Esimerkkejä tällaisista tutkimuksista ovat eri aivoalueiden toimintoja mallintavat ja simuloivat projektit sekä sairauksien syntymekanismien selvittämiseen tähtäävät monitieteiset projektit.

Myös yksittäiset tutkijat tulevat saamaan merkittävän uuden työkalun työskentelynsä tueksi: he voisivat seuloa olemassa olevaa dataa ja sisällyttää sitä omien tutkimustensa rinnalle entistä vahvempien johtopäätösten tekemiseksi. On myös huomioitava, että rahoittajat edellyttävät nykyään datan jakamista.<sup>5</sup>

Tulevaisuudessa tutkimusprojekteja suunniteltaessa datan tallentamiseen on allokoitava riittävä rahoitus. Tämä vaatii uudenlaista tutkimusprojektien suunnittelua ja vuoropuhelua tutkimustuloksia julkaisevien tahojen ja infor-

matiikkaratkaisuja kehittävien organisaatioiden, kuten INCF, välillä.

## Hakuehtona käytettävä metadata

Datan jakaminen tutkijan yhteistyötahojen tai koko tiedeyhteisön yleiseen käyttöön ei ole aivan yksinkertaista. Pelkän datan laittaminen kaikkien saataville ei vielä edistä alan tutkimustyötä. Jotta datasta on hyötyä muille, tietokantoihin pitää itse datan lisäksi kirjata monia asioita liittyen mittausmenetelmään, -laitteistoihin ja -tilanteeseen.

Neuroinformatiikan isona tulevaisuuden haasteena on neurotieteen sanaston (ns. ontologian), mittauslaitteistojen tuottaman datan esitystavan ja metadatan esitystavan yhdenmukaistaminen. Metadata on tutkimusten liitännäistietoa. Se määrittelee, mistä, kuinka ja millaisissa olosuhteissa data on kerätty. Metadata määrittelee myös käytetyn poikkeutuksen, stimuluksen tai farmakologisen aineen lisäyksen.

Kliinisessä neurofysiologiassa ja kuvantamisessa on jo pidempään kehitetty erilaisia datan ja metadatan sähköiseen esitysmuotoon tarkoitettuja informatiikkaratkaisuja. Mittaustavat ja käytetty sanasto ovat vakiintuneita, mikä on mahdollistanut tietokantojen kehittämisen. Huomioitavaa on myös se, että lääketeollisuus on jo pitkään pystyttänyt omia tietokantojaan biolääketieteen alalla, mukaan lukien hermoston tutkimus. Tämä data ei kuitenkaan ole yleisesti saatavilla.

Neurotieteen perustutkimuksessa haasteet ovat erilaisia. Mittausmenetelmät kehittyvät jatkuvasti sekä koeasetelmat ja -tavat muuttuvat alan perustutkimusluonteen vuoksi. Myös täysin uusia, entistä tarkempaa tietoa tuottavia mittausmenetelmiä kehitetään tiedeyhteisössä koko ajan.

## Tietohakujen haasteet

INCF on viimeisen kolmen vuoden aikana kartoittanut erilaisia tutkimuksiin liittyvän metadatan esittämistapoja. Jo nyt on olemassa lukuisia niin kutsuttuja datamalleja, joita on mahdollista käyttää dataan liittyvän metadatan kuvaamiseen ja automaattiseen siirtämiseen tietojärjes-

5 National Science Foundation (NSF), USA: <http://www.nsf.gov/bfa/dias/policy/dmp.jsp>; National Institute of Health (NIH), USA: [http://grants.nih.gov/grants/policy/data\\_sharing/](http://grants.nih.gov/grants/policy/data_sharing/).

telmästä toiseen. Mikään nykyisistä metadatan datamalleista ei kuitenkaan sovellu sellaisenaan kaikkien neurotieteilijöiden ja mittaukstopojen tuottamalle datalle. Tarvitaan vielä paljon työtä, jotta esitystapoja saadaan yhdenmukaistettua, saati standardoitua. Tulevaisuudessa datamallit helpottavat tietokantoihin tietoaan laittavaa ja toisaalta hakuja tekevää tutkijaa. Datamallit ovat myös välttämätön edellytys sille, että tietoja voidaan joustavasti siirtää systeemistä toiseen ja käyttää uudelleen.

INCF DataSpace -ympäristöön tullaan liittämään mahdollisuus suorittaa laajamittaisia hakuja metadatan avulla. INCF DataSpacen tietokannoista voi jatkossa hakea tietoa siten, että samaan aivoalueeseen liittyvä, eri mittausmenetelmien tuottama tieto on helposti löydettävissä. Tämä helpottaa olennaisesti niin kokeellisen, kliinisen kuin laskennallisenkin tutkijan työtä.

Kuinka sitten on mahdollista standardoida kaikki dataan liittyvä tieto tietojärjestelmissä siten, että jatkossa tietohaut ja vertailut onnistuvat vaivattomasti? Yhtä yleispätevää standardia tuskin pystytään luomaan, mutta erilaiset järjestelmät sekä datan ja metadatan esitystavat voidaan tehdä yhdenmukaisemmiksi, jotta tietojen siirto järjestelmästä toiseen onnistuu. INCF onkin aloittanut rakentamaan yhteyksiä eri tahojen (tutkijat, laitevalmistajat, rahoittajat, julkaisijat) välille.

## Tietokonemallinnus: työkalu kokeellisen tutkimuksen rinnalle

Tietokonemallinnus auttaa ymmärtämään syvällisesti aivojen dynaamisia ilmiöitä. Mallinnus mahdollistaa systeemin emergenttien ilmiöiden tutkimisen terveessä ja sairaassa hermosotosteemissä. Yksi merkittävimmistä malleista on niin kutsuttu Hodgkin–Huxley-malli, joka kuvaa aktiopotentiaalin eli sähköisen impulssin syntymekanismia (englantilaiset Alan Hodgkin ja Andrew Huxley saivat kehittämästään mallista ”Ionien toiminta hermosoluissa” Nobelin fysiologian ja lääketieteen palkinnon vuonna 1963). Hodgkin–Huxley-mallin luomisessa käytettiin kokeellisesti mitattua dataa. Fysiikan ja kemian luonnonlakeihin ja kokeelliseen dataan perus-

tuva mallinnus luo pohjaa ymmärtää aivotointoja entistä paremmin. Hodgkinin ja Huxleyn työn pohjalta on tehty uusia malleja, joita on käytetty useissa merkittävässä aivotointoja kuvaavissa projekteissa. Malleja voidaan simuloida tietokoneella. Tietokonesimulaatioiden avulla voidaan testata tilanteita, joita ei kokeellisesti pystytä toteuttamaan.

Mallit integroivat dataa ja tietoa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Tietokonemallinnus on tuottanut lukuisia tarkkoja malleja kuvata ja ennustaa aivotointoja. Esimerkkinä ovat hermosolujen välisten kytkösten ja synapsien mallit. Ne edesauttavat ymmärtämään, kuinka muistijälki tallennetaan aivoissa solu- ja molekyytilason mekanismien avulla. Ala on nopeasti kehittyvä ja malleja julkaistaan vuosittain useita. Nykytila alalla on se, että malleja ei pystytä toteuttamaan uudestaan pelkän tieteellisen julkaisun ja siinä olevien matemaattisten yhtälöiden avulla eikä mallien vertailu siten onnistu.<sup>6</sup> Testattavuuden vuoksi on tärkeää tallentaa kaikki kehitetyt tietokonemallit ohjelmointikielisiin koodeineen tietokantoihin<sup>7</sup>.

Tällä hetkellä vain osasta aivomalleja on saatavilla eri ohjelmointikielillä toteutettuja ratkaisuja tietokannoissa. INCF:n tarkoitus parantaa tilannetta saattamalla myös matemaattisten mallien ohjelmointikieliset esitystavat ja niiden testaamiseen käytetty vertailutieto (*benchmark-data*) tiedeyhteisölle avoimeksi. Erillisten mallien yhdistäminen uusiksi, kattavimmiksi malleiksi aivotoinnoista helpottuu näin oleellisesti. Mallinnuksen päämääränä on tukevan uuden teorian kehitystä – uusi malli ei ole vain erillinen malli aivotoinnoista, vaan se luo pohjaa uudelle teorialle.

INCF on kehittänyt työkaluja (esimerkkinä MUSIC<sup>8</sup>), joiden avulla olemassa olevia mallinnus- ja simulaatiotyökaluja voidaan liittää toisiinsa siten, että erilaisia, eri aikaskaaloilla

6 Lisätietoa tutkimuksesta: [http://www.frontiersin.org/computational\\_neuroscience/10.3389/fn-com.2010.00152/abstract](http://www.frontiersin.org/computational_neuroscience/10.3389/fn-com.2010.00152/abstract).

7 Esimerkki aivomalleja sisältävistä tietokannoista: <http://senselab.med.yale.edu/modeldb/>.

8 <http://software.incf.org/software/music>

aivotointoja kuvaavia malleja voidaan yhdistää toimimaan yhtenä kokonaisuutena. Esimerkiksi hermosolun toimintaa voidaan simuloida yhdellä työkalulla, hermoverkon toimintaa toisella. Solutason mallinnustulokset siirretään hermoverkkotasolle MUSIC-työkalun avulla.

Tulevaisuudessa päämääränä on kehittää simulaatioympäristöjä, joiden avulla alemman tason malleja (solu, mikroverkko) voidaan koota koko aivoja kuvaavaksi kokonaisuudeksi. Uusien käyttäjäystävällisten simulaatioympäristöjen kehittäminen kuuluu kiinteästi neuroinformatiikkaan. Kehitystyötä tekevät tietotekniikan, fysiikan, kemian, dynaamisten systeemien ja neurotieteen asiantuntijat maailmanlaajuisissa verkostoissa. Vapaasti saatavilla olevat tietokannat, tietokonemallit ja tehokkaat mallien laskentaan suunnatut simulaatioympäristöt mahdollistavat nykyistä paremmin monimuotoisten aivotointojen tutkimisen.

## Neurotieteen ja neuroinformatiikan uudet sovellusmahdollisuudet

Tärkeä lähitulevaisuuden haasteemme on erilaisten neurologisten ja psykiatristen häiriö- ja sairaustilojen syntymekanismien ymmärtäminen sekä hoitojen kehittäminen kaikissa väestön ikäryhmissä. Koko maailmassa dementiaan ja muihin muistisairauksiin sairastuneiden määrä on väestön ikääntyessä lisääntymässä. Koska emme ymmärrä aivojen monimuotoista tapaa reagoida nopeasti muuttuvaan elinympäristöön, emme pysty ennakoimaan sitä, mikä muutos ympäristössä on meille vaaraksi ja aiheuttaa sairastumista.

Erilaisen epidemiologisen ja kliinisen tiedon yhdistäminen neurotieteen perustutkimuksesta saatavaan tietoon on yksi neuroinformatiikan haasteista. Päätöksentekojärjestelmät ovat apuna lääkäreiden ja muun hoitohenkilökunnan jokapäiväisessä työssä ja hoitopolkujen suunnittelussa. Tällainen päätöksentekojärjestelmä on muun muassa suomalainen, Turun Aivovamakeskuksen ja BCB Medical Ltd:n yhteistyönä kehittämä järjestelmä aivovammojen hoidon seurantaan ja hoitokäytäntöjen parantamiseen.

Aivotointojen dynamiikkaa tarkasti solu-

ja hermoverkkotasolla kuvaavat tietokonemallit puolestaan saattavat mahdollistaa uudentyyppisiä aivosairauksien hoitomuotoja. Malleja käytetään ennustamaan aivoihin syötettävää sähköistä signaalia, jotta voidaan lievittää oireita tai saada aikaan muu haluttu hoitotulos. Jo nyt tarkkoja, tietyn aivoalueen toimintaa kuvaavia tietokonemalleja on käytetty muun muassa Parkinsonin taudin erään muodon hoitamisessa menestyksellisesti professori Peter Tassin (Jülich Research Centre, Saksa) johtamassa tutkimusryhmässä. Hoidoissa tietokonemallit ennustavat potilaan tarvitsemaa sähköstimulusta, jotta Parkinsonin taudille tyypillinen vapina ja liikkeiden epätarkkuus saadaan poistettua.

Neuroteknologia on ala, jossa neuroinformatiikalla tulee olemaan merkittävä rooli tulevaisuudessa. Neuroteknologian viimeisin huippusaavutus on tutkimus, jossa saatiin raajoistaan halvaantunut potilas liikuttamaan robottikäsiiä ja nostamaan vesilasia potilaan aivoista robotin ohjaukseen teknisin menetelmin välitetyn signaalilla.<sup>9</sup> Potilasta pyydettiin ensin ajattelemaan haluamaansa vesilasin siirtoa ja samanaikaisesti mitattiin liikeaivokuorelle asennetuilla elektrodeilla aivojen paikallisen mikroverkon aktiivisuutta. Robottia ohjaava tietotekniikkajärjestelmä oppi halutun tehtävän vuorokaudessa ja toimintoa pystyttiin ylläpitämään muutamien viikkojen ajan. Vesilasin siirto onnistui ajattelun ja aivotointoja mittaavien elektrodien avulla. Tietokannoissa oleva data auttaa jatkossa neuroteknologisten sovellusten kehittämistä.

Japani on ollut jo pitkään edelläkävijä robotiikan ja aivotutkimuksen yhdistämisessä. Aivotointoja matkivien matemaattisten mallien käyttö robotiikassa on yksi mahdollinen tulevaisuuden ala myös Suomessa. ZenRobotics Ltd. on esimerkki suomalaisesta ennakkoluulottomasta osaamisesta. Yrityksen päätuote on jätteenlajittelujärjestelmä, joka poimii jätevirrasta halutut esineet ja raaka-aineet robottitekniikan avulla. Osana tuotteen ohjausteknologiaa on algoritmi,

9 Lisätietoa tutkimuksesta: <http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2812%2961816-9/fulltext#>.

jonka inspiraationa on toiminut pikkuaivojen informaationkäsittely.

Suomessa on huomattava määrä päteviä tietotekniikka- ja informatiikka-alojen osaajia, joilla on matemaattis-luonnontieteellinen tausta sekä laajat tietotekniset valmiudet tuottaa informatiikka- ja laskentaratkaisuja. Suomessa on myös huomattava määrä elektroniikan osaajia, joista monilla on myös hyvät tietotekniset valmiudet. Osalle näistä osaajista työpaikka saattaisi löytyä aivotutkimusta sivuavilta aloilta.

Tulevaisuuden tietotekniikka perustuu aivojen toiminnan tuntemiseen. Uudentyyppiset tietojärjestelmät käyttävät aivojen tapaa tallentaa ja käsitellä tietoa. Esimerkiksi kun ymmärrämme paremmin aivojen mikro- ja makrotasojen mekanismeja, voimme käyttää tietoa hyväksi uuden tietotekniikan luomisessa.

### **INCF:n jäsenmaiden välinen yhteistyö**

INCF:n toimintaa koordinoi jäsenmaiden edustajista koostuva johtokunta, joka päättää tutkimusohjelmista, tavoitteista ja toiminnasta. Jokaisessa jäsenmaassa on oma koordinaatiokeskus. Jäsenmaiden edustajat tapaavat kaksi kertaa vuodessa. Näissä tapaamisissa informoidaan jäseniä tutkimusohjelmissa tapahtuneesta kehitystyöstä konkreettisesti, myös tietokonedemonstraatioiden avulla. Tapaamisissa myös keskustellaan erilaisista muodoista tehdä yhteistyötä jäsenmaiden kesken. Moni työpaja, kurssi tai tietotekninen kehitysprojekti on saanut alkunsa näistä tapaamisista. Tapaamisissa tutkijakunta on myös antanut suosituksia INCF:n tieteellisten tutkimusohjelmien johtoryhmille ohjelmien tavoitteisiin liittyen.

INCF perusti vuonna 2010 myös opetukseen liittyvän ohjelman (*INCF Training Committee*)<sup>10</sup>, jossa alan johtavat asiantuntijat suunnittelevat maailmanlaajuisista maisteri- ja tohtorikoulutusvaiheen opetusta sekä myöhempää postdoc-vaiheen monitieteellistä koulutusta. Suomi oli aktiivisesti mukana vaikuttamassa ohjelman perustamiseen ja on osallistunut vahvasti sen toimintaan. INCF Training Committee on suunnitellut ja osarahoittanut neuroinformatiikan kursseja ja suunnittelee parhaillaan opetusmateriaaleja verkkotyöskentelyyn.

Ensimmäinen INCF:n kattojärjestön koordinoima ja jäsenmaiden yhdessä suunnittelema, jatko-opiskelijoille suunnattu kurssi järjestettiin Saksan Münchenissä Neuroinformatiikan kansainvälisen konferenssin yhteydessä syyskuussa 2012. Kurssi ja INCF:n opetukseen liittyvän ohjelman toiminta ovat esimerkkejä siitä, millä tavalla tulevaisuudessa toteutetaan opetusta kapeilla, mutta tärkeillä tieteenaloilla. Kaikkea ei välttämättä tehdä omassa maassa tai yksittäisessä yliopistossa itse, vaan yhteistyössä maailmanlaajuisissa verkostoissa. Tutkijakollegioiden yhdessä tuottamat, itseopiskeluun suunnatut verkkokurssit ovat esimerkki siitä, kuinka nyky-yhteiskunta kouluttaa asiantuntijoita.

INCF Training Committeeen työn pohjalta on virinnyt hankkeita, joissa lähekkäin sijaitsevat maat toteuttavat yhteistyössä maidensa jatko-opiskelijoille ja postdoc-vaiheen tutkijoille suunnattuja kesäkouluja ja muita kursseja. Suomen koordinaatio suunnittelee yhteistä Pohjoismaiden ja Baltian maiden välistä neuroinformatiikan kesäkoulua vuosille 2013–15.

Jäsenmaiden tutkijat tapaavat tutkimusohjelmia valmistelemissa työpajoissa ja tutkimusohjelmien suunnittelukokouksissa. Näissä tapaamisissa konkretisoidaan tulevia kehittämistarpeita. On tärkeää tuoda alan asiantuntijat keskustelemaan kasvotusten ennen kuin varsinainen aika ja rahaa vievä kehitystyö aloitetaan. INCF tukee tutkimusohjelmien työryhmien välistä yhteistyötä. Varsinainen työ tehdään asiantuntijoiden omissa yliopistoissa tai tutkimusinstituuteissa. Toteutusten arvioinneissa ja muussa kommunikoinnissa käytetään yhä enemmän puhelinkonferensseja ja INCF:n tarjoamia keskustelufoorumeita.

**Neuroinformatiikka Suomessa**

Ensimmäisten INCF:n jäsenyysvuosien aikana Suomessa kartoitettiin tutkimusryhmiä ja tutkijoita, joiden työ sisältää tai sivuaa neuroinformatiikkaa. Kartoituksen pohjalta todettiin, että Suomessa on noin kymmenkunta isohkoa aivo-

10 <http://www.incf.org/programs/training-committee>

kuvantamisen alalla toimivaa ryhmää, joiden työ liittyy neuroinformatiikkaan. Suomessa on vain muutama laskennallisen neurotieteen malleja kehittävä ryhmä, mikä on suhteellisen vähän verrattuna muihin vastaavankokoisiin pieniin maihin. Kartoituksen pohjalta perustettiin ohjausryhmä ja postituslista, jonka kautta INCF:n toiminnasta on informoitu. Suomen koordinaatioelin on lisäksi tuonut esille suomalaista erityisosaamista jäsenmaiden tapaamisissa.

Kartoitustyön jälkeen on järjestetty verkostoitumistapahtumia ja työpajoja. Teemat ovat vaihdelleet aivojen lepotilan tutkimuksesta oppimisen tutkimukseen ja käytettäviin laskennallisiin työkaluihin. Työpajoja on ollut yhteensä viisi vuosina 2008–12. Viimeisin työpaja käsitteli datan jakamista ja neuroinformatiikan mahdollisuuksia aivosairauksien ymmärtämisessä. Työpajoihin on kutsuttu useimmiten yksi ulkomainen alan tutkija tai INCF:n edustaja kotimaisten tutkijoiden lisäksi. Lisäksi on myös käyty yliopistoissa tapaamassa tutkijoita ja järjestetty tietoisuuksia neuroinformatiikasta ja INCF:n toiminnasta.

Suomi on ollut INCF:n alkuajoista lähtien aktiivinen opetuksen kehittämisessä, tarjoten lyhyitä neuroinformatiikan eri aihealueisiin keskittyneitä niin sanottuja hands-on-kursseja. Näitä kursseja on järjestetty muun muassa kansainvälisen Neuroinformatiikka-konferenssin yhteydessä (Tukholma vuonna 2008 ja Pilsen vuonna 2009). Lisäksi Suomi osallistuu aktiivisesti INCF Training Committeeen työskentelyyn.

Jatkossa neuroinformatiikan koulutusta tuodaan suomalaisten neurotieteen alan opiskelijoiden ja tutkijoiden ulottuville INCF:n ja sen

jäsenmaiden tarjoaman kurssitarjonnan avulla. INCF:n Suomen yksikön koordinaatioelin pyrkii osaltaan auttamaan insinööri- ja luonnontieteellisen koulutuksen saaneita asiantuntijoita integroitumaan neurotieteen haasteelliseen tutkimuskenttään koulutuksen avulla.

INCF:n Suomen yksikön koordinaatioelin on osallistunut säännöllisesti jäsenmaiden tapaamisiin. Suomalaisia on osallistunut myös vuosittain INCF:n järjestämiin tutkimusohjelmien suunnittelutyöpajoihin, joissa määritellään alan ja tieteellisten ohjelmien tavoitteita. Tällaisten tapaamisten merkitys on suuri, jotta pystytään seuraamaan alan kehityssuuntia ja toisaalta vaikuttamaan sen kehitykseen.

## Kirjallisuutta

- Akil, H., Martone, M. E. ja Van Essen, D. C. Challenges and opportunities in mining neuroscience data. *Science* F331 (6018): 708–712, 2011.
- Ascoli, G. A., De Schutter, E. ja Kennedy, D. N. An information science infrastructure for neuroscience. *Neuroinformatics* 3 (1): 1–2, 2003.
- Bjaalie, J. G. ja Grillner, S. Global neuroinformatics: the International Neuroinformatics Coordinating Facility. *Journal of Neuroscience* 27 (14): 3613–3615, 2007.
- Eckersley, P. ym. Neuroscience data and tool sharing: A legal and policy framework for neuroinformatics. *Neuroinformatics* 1 (2): 149–166, 2003.
- Gerstner, W., Sprekeler, H. ja Deco, G. Theory and Simulation in Neuroscience. *Science* 338 (6103): 60–65, 2012.

**Marja-Leena Linne on laskennallisen neurotieteen ja neuroinformatiikan dosentti ja Ulla Ruotsalainen signaalinkäsittelyn professori Tampereen teknillisen yliopiston signaalinkäsittelyn laitoksella.**