



Neurobiologia – Silta fysiikasta psykologiaan

Kai Kaila



Aivojen toiminnan ymmärtämistä pidetään yhtenä aikamme tieteiden suurimmista ja kiinnostavimmista haasteista. Historiasta tiedämme, että sielunelämän ja aivojen salaperäinen yhteys on askarruttanut ihmisiä vuosituhansien ajan tosin johtamatta juurikaan varsinaiseen tiedon kasvuun. Tämä tilanne on aikanamme muuttunut rajusti, ja 1990-luvun lopussa neurotieteet edistyvät hämmästyttävällä vauhdilla: suuri osa tämän päivän kokeellisesta työstä olisi vain joitain vuosia sitten tuntunut tieteiskirjallisuudelta.



Nopean tiedonkasvun syynä on biologiassa, erityisesti solu- ja molekyylibiologiassa sekä biotekniikassa tapahtunut vallankumous. Lisäksi neurotieteissä käytetyt, fysiikan sovellutuksiin perustuvat menetelmät ovat kehittyneet nopeasti. Näin on syntynyt uusia tekniikoita ja teoreettisia lähestymistapoja, joiden avulla aivotointaan liittyviä kysymyksiä voidaan asettaa kokeellisen tutkimuksen kohteiksi. Mutta menestyksellinen tutkimus ei tietenkään perustu vain siihen, että osataan asettaa mielenkiintoisia kysymyksiä: hyvä tutkija osaa esittää kysymyksensä siten, että ne ovat käytettävissä olevilla menetelmillä testattavissa!



Neurobiologia tieteiden siltana



Neurobiologia muodostaa aivojen tutkimuksen ydinalueen, joka avaa harrastajalleen ainutlaatuisen näkymän: se toimii siltana, joka yhdistää käyttäytymistä ja ihmisen psyykeä tutkivat tieteet (psykologia, kognitiotiede) solu- ja molekyylibiologiaan sekä muihin biotieteisiin, kuten fysiologiaan. Fysiologia, "elämän logiikka", on biotieteiden eri osa-alueita integroiva suuntaus, jonka tavoitteena on tutkia millä tavalla kukin solu- ja molekyyli-tason lukemattomista prosesseista palvelee yksilön kehitystä, toimintaa ja sopeutumista ympäristöön.



Vaikka oheisessa kuvassa eri tieteenalueet on havainnollistettu neurobiologiaa leikkaavina ympyröinä, on paikallaan voimakkaasti tähdentää, että kaikkien tieteiden (englannin science-sanan merkityksessä) kohteena on yksi ja sama todellisuus – luonto ei tunne eikä tunnusta tieteiden tai tiedekuntien rajoja!



Erilaisten suuntausten välimaastossa syntyvät yleensä kaikkein merkittävimmät tutkimuksen painoalueet ja läpimurrot. Esimerkkinä tällaisesta voisi mainita vaikkapa oppimisen ja muistin mekanismeihin porautuvan molekyyli- ja solubiologian. Ja kannattaa pitää mielessä, että hermostofysiologia, erityisesti hermosolujen sähköisen toiminnan tutkiminen, syntyi kahden tieteen – biologia ja fysiikka – vuorovaikutuksessa.



Aivojen organisaatiotasot: molekyyleistä neuroniverkkoihin



Kuten muissakin elimistömme kudoksissa ja elimissä, aivojen rakenteessa on havaittavissa monia päällekkäisiä tasoja, ns. organisaatiotasoja: molekyylit järjestäytyvät makromolekyyleiksi, nämä puolestaan solujen rakenneosiksi, solukalvoiksi ja soluelimiksi.



Aivojen rakenteellisenaja toiminnallisina perusyksikköinä pidetään hermosoluja (neuronit). Ihmisaivoissa on arviolta 10^{11} neuronit, ja kun jokaiseen hermosoluun tulee kontakteja sadoista tai jopa tuhansista muista hermosoluista, on ihmisaivojen hermosolujen keskinäisten yhteyksien lukumäärä näille samoille aivoille täysin käsittämätön, 10^{14} . Tähän verrattuna on linnunradan tähtien lukumäärä häviävän pieni.




Aivotointa perustuu hermosolujen väliselle viestinnälle, joten hermosoluyhteyksien (*synapsien*) ja siten siis informaatiota siirtävien ja käsittelevien neuroniverkkojen rakentumisen sekä ylläpidon on oltava äärimmäisen tarkkaan ohjattu kehitysbiologinen prosessi.



Aivojen plastisuus





Ihmissen perimässä on arviolta lähes 100 000 geeniä, ja niiden valikoiva ilmentyminen eri soluissa ohjaa niiden kehitystä, toimintaa sekä erilaistumista erilaisiksi kudoksiksi. Tiedämme, että aivot on elin jossa ilmentyy valtaosa perimämme geeneistä. Mutta vaikka koko perimämme kaikki geenit käytettäisiin ainoastaan ohjaamaan aivojen hermosoluyhteyksien syntyä, tarjolla olisi mitättömän vähän informaatiota tähän tehtävään. Ratkaisu tähän näennäiseen ongelmaan on se, että ihmisaivojen rakentumista ohjaava ei-geeneettinen (geenitoiminnan päälle rakentuva, *epigeneettinen*) informaatio syntyy yksilön ja ympäristön (fyysisen ja sosiaalisen) jatkuvassa vuorovaikutuksessa.

Aivojen solurakenteen eräs kaikkein merkittävimmistä piirteistä on *muovautuvuus eli plastisuus*: neuroniyhteydet ovat jatkuvan muokkauksen kohteina. On käynyt ilmi, että ihmisaivojen plastisuus on paljon aiemmin oletettua kattavampaa. Me emme esimerkiksi "oppisi" näkemään (itse asiassa seurauksena olisi täydellinen sokeus), mikäli viettäisimme varhaislapsuutemme ympäristössä, missä kyllä olisi valoa mutta ei selvärakenteisia kappaleita katseltavana. Plastisuus ei rajoitu sikiöaikaan ja lapsuuteen, vaan aivokudos säilyttää rakenteellisen ja toiminnallisen muovautuvuutensa läpi koko ihmiselämän. Hermosolut eivät jakaannu, mutta niiden väliset kontaktit muuttuvat solujen omasta aktiivisuudesta riippuvalla tavalla. Me vaikutamme aivojemme rakenteeseen oman toimintamme kautta eräissä mielessä siis aivot rakentavat itse itseään.

Aivotutkimuksen menetelmiä

Usein kun aivojen tutkimuksessa saavutetaan tekninen edistysaskel tai läpimurto, on mediassa paljon uutisia siitä miten aivotoinnin jokin "perimmäinen" ongelma tulee ratkeamaan. Tieteelliselle työlle on kuitenkin luonteenomaista, ettei siihen liity sen enempää perimmäisiä ongelmia kuin vastauksiakaan. Tiede ei myöskään ole vakiintuneiden tosiasioiden museo, vaan pikemminkin jatkuva prosessi, jossa jokainen vastaus synnyttää uusia kysymyksiä. Niin tiedon kokonaisuus kasvaa – ja samoin ihmisen loputon uteliaisuus.

Hieman yksinkertaistaen: jos esimerkiksi on saatu selville, että jokin oppimisilmiö perustuu synapsivälityksen vahvistumiseen kahden neuroniryhmän välillä, tämä oppimistapahtuman selitys johtaa heti kysymyksiin mm. siitä, mitkä molekulaariset ja biofysikaaliset mekanismit muuttavat näiden synapsien tehoa. Tällainen *reduktionistinen* selittäminen ("ylemän" organisaatiotason ilmiö selitetään "alemman" tason mekanismin avulla) on varsin yleistä biologiassa, tosin se ei ole ainoa selitysmalli.

Organisaatiotasojen merkitys kokeellisen työn kannalta tulee selkeästi ilmi kun vertaillaan, täydennetään ja tulkitaan erilaisilla mittausmenetelmillä saatuja tuloksia. Ihmisaivojen kognitiivisen toiminnan, esimerkiksi tarkkaavaisuuden sekä muistin ja oppimisen, mekanismeja tutkitaan laajasti menetelmillä, jotka soveltuvat elävien ihmisaivojen toiminnan seuraamiseen kallon ulkopuolelta. Näitä ovat jo kauan käytössä ollut *elektroenkefalografia* (EEG), sekä uudemmat *magnetoenkefalografia* (MEG), *positroniemissiotomografia* (PET) ja *funktionaalinen magneettinen resonanssikuvantaminen* (fMRI). Niiden avulla saatuja tuloksia olisi kuitenkin mahdotonta tulkita, ellei yksittäisten hermosolujen ja hermosolupopulaatioiden fysiologiaa ja biofysiikkaa olisi tutkittu sähköfysiologisoin keinoin, mm. *mikroelektrodien* avulla. Tätä solutaso fysiologiaan liittyvää tietoa puolestaan syventää *molekyylibiologian tekniikoin* tehty tutkimus.

Varsinaisen kokeellisen tutkimuksen ohella neurotieteissä ovat yleistyneet puhtaasti teoreettiset menetelmät, joilla tutkitaan formaalisten mallien toimintaa. Näitä ovat mm. *assosiativiset neuroverkot ja neurotietokoneet*. Tämä työ vie voimakkaasti eteenpäin sekä tietotekniikkaa että neurobiologiaa.

Aivot rakentavat mallin maailmasta

Vaikka molekyyli- ja solubiologisten mekanismien tutkiminen on yksi aivotutkimuksen painoaloista, ovat neurotieteet hiljattain laajentuneet suuntaan, jota monet luonnontieteilijät ehtivät jo pitää jollain tavalla epätieteellisenä. Tarkoitin täällä *tietoisuuden* tutkimusta, joka elää renessanssvaihettaan modernissa neurobiologiassa.



Aivomme ovat ihmislajin evoluution ja oman yksilöllisen kehityksemme tuote. Ne rakentavat mallin maailmasta, ja jotkin (hyvin harvat!) tämän mallin piirteistä tulevat tietoisuuteemme, tietoisiksi kokemuksiksi. Aivotutkimuksen merkellisimpiä piirteitä on se, että tutkija ja tutkimuskohde ovat yksi ja sama. Neurobiologien piirissä usein toistettuun ajatukseen lienee helppo yhtyä: me emme voi ymmärtää maailmaa ellemmme ymmärrä aivojemme toimintaa.



Kirjoittaja on akatemiaprofessori Helsingin yliopiston Biotieteiden laitoksella sekä vastuullinen johtaja Finnish Graduate School of Neurosciences'issa. Hän esitelmöi kirjoituksen aihepiiristä Suomen Aivotutkimusseuran 25-vuotisjuhlasymposiumissa.

