

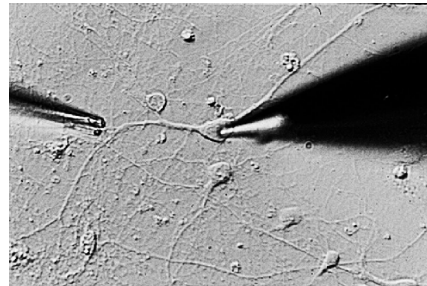
Aivotutkimusmenetelmiä

Yleistä

- Hermoston toimintaa eri näkökulmista tutkivia tieteitä (neuropsykologia, neurofysiologia, neurologia yms.) kutsutaan neurotieteiksi. Viime vuosikymmeninä neurotieteiden tarkoituksiin on kehitetty useita uusia aivotutkimusmenetelmiä.
- Aivotutkimuksen tyypilliset tavoitteet:
 - **Missä** tapahtuu – mikä aivojen osa on yhteydessä psyykkiseen toimintoon?
 - **Milloin** tapahtuu – missä järjestyksessä aivojen osat aktivoituvat?
- Yksikään nykyinen menetelmä ei tarjoa sekä hyvää spatiaalista (paikallista) erottelukykyä että hyvää ajallista erottelukykyä koko aivojen mittakaavassa.

Piikittelyä - Yksittäissolurekisteröinti (Single Neuron Imaging, SNI)

- Hermostoluun kytketään mikroelektrodi (tarpeeksi pieni liittymään 10-40 μm soluun), jolla mitataan suoraan yksittäisen solun jännitemuutoksia.
- Solun ulkopuolisilla (*extracellular*) voidaan tutkia elävässä eliössä (*in vivo*), mutta niillä voidaan mitata vain kokonaisia impulsseja, ei solukalvon jännitemuutoksia. Vaadittu tarkkuus n. 100 μm solun lähellä.
- Solukalvon jännitemuutosten mittaamiseen kykenevillä solun sisään työnnettävillä (*intracellular*) elektrodeilla voidaan tällä hetkellä tutkia vain elävän eliön ulkopuolisia soluja/-viljelmiä (*in vitro*). Elektrodin asettelu on mekaanisesti vaikeaa ja elektrodi ei saisi vahingoittaa elävää solua mittauksen aikana. Solun sisäinen jännite vaihtelee välillä -70 mV (lepo) – +50 mV (impulssi).
- Ajallisesti ja paikallisesti erittäin tarkka menetelmä, mutta sillä voidaan tutkia vain yksittäisiä hermosoluja – kokonaisuuden hahmottaminen vaikeaa, jos ympäröivien hermosolujen toimintaa ei rekisteröidä. Toisaalta tämä on ainoa menetelmä, jolla voidaan rekisteröidä yksittäiset impulssit.
- Menetelmä on vaikea, sillä siinä vaaditaan todella suurta mekaanista tarkkuutta ja esteetöntä pääsyä neuroniin. Siksi sitä voidaan käyttää ihmisten tutkimiseen vain poikkeustapauksissa, kuten epileptikkopotilaiden aivoleikkauksissa.

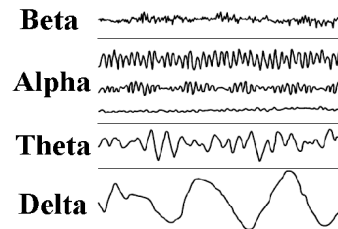


Aivosähköä – Elektroenkefalografia (Electroencephalography, EEG)

- Kun suuri määrä hermosoluja toimii samanaikaisesti, summautuvat niiden aiheuttamat sähkökentät. Tavallisimmin näitä n. 100 μV suuruisia kenttiä mitataan asettamalla päänahalle elektrodeja. Aivojen pinnalta mitattaessa n. 1-2 mV.
- Ajallisesti erittäin tarkka (tuhansia mittauksia per sekunti), mutta paikallisesti hyvin epätarkka menetelmä. Mitatut arvot ovat suuren hermosolujoukon tuottamia summia ja lisäksi pääkallo sekä iho vääristävät sähkökenttiä.



- Menetelmä on käytännössä helppo ja jopa elektroniikkaharrastajan on mahdollista rakentaa itse oma EEG-mittalaite elektrodeineen (joskin sähköturvallisuuden on kiinnitettävä erityisen suurta huomiota). EEG on vanhin sähkömagneettisista aivotutkimusmenetelmistä. Saksalainen fysiologi Hans Berger aloitti ihmis-EEG:n tutkimisen 1920-luvulla.
- Unta selittävät teoriat useimmiten pohjautuvat univaiheiden aikana nauhoitettuun nk. aivosähkökäyriin (EEG-käyriin).
- EEG-käyrien aaltomuotoja jaetaan epätarkasti määriteltyihin päätyyppeihin:
 - *Alfa*, taajuus 8,5-12 Hz. Tyypillistä rennolle, virkeälle tietoisuuden tilalle. Uneliaisuus heikentää alfa-aaltoja.
 - *Beta*, taajuus yli 12 Hz. Epäjärjestäytynyt, matalavoimakkuuksinen beta yhdistetään usein aktiiviseen ajatteluun ja keskittymiseen.
 - *Delta*, taajuus alle 4 Hz. Aiheutuvat mahdollisista aivovammoista (leesio), mutta delta-aaltoja näkyy myös syvän unen aikana.
 - *Theta*, taajuus 4,5-8 Hz. Yhdistetään uneliaisuuteen ja esitietoiseen tilaan.
 - (*Gamma*, taajuus yli 40 Hz (n. 30-80 Hz). Gamma-aallot näyttävät liittyvän korkeampaan mentaaliseen aktiviteettiin, kuten oivaltamiseen ja tajuaamiseen.)

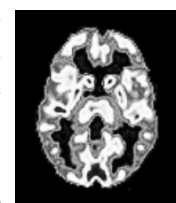


Aivomagnetismia – Magnetoenkefalografia (Magnetoencephalography, MEG)

- Verrattavissa EEG:hen, mutta tässä varsin uudessa menetelmässä mitataan sähkövarausten aiheuttamia heikkoja magneettikenttiä.
- Paikalliselta tarkkuudeltaan EEG:tä parempi, magneettikentät synnyttäneet hermosolut voidaan paikantaa jopa alle senttimetrin tarkkuudella. Ajallisesti erittäin tarkka, kuten EEG:kin. Voidaan tutkia aivojen eri osien aktivoitumista erilaisten kognitiivisten tehtävien aikana.
- Mitattavat magneettikentät ovat niin heikkoja, että mittaus pitää tehdä erityisestä Mu-metallista valmistetussa huoneessa, joka kumoaa mm. Maan magneettikentän. Lisäksi heikot magneettikentät voi havaita vain hyvin alhaisissa lämpötiloissa toimivilla suprajohteilla.

Pää säteilee – Positroniemissiotomografia (Positron Emission Tomography, PET)

- Unohdetaan kentät. Hermosolut tarvitsevat muiden solujen tavoin aktiivisessa tilassa enemmän happea ja sokeria. Sokeriin voidaan sisällyttää *nopeasti hajoavaa, heikosti radioaktiivista ainetta*, joka kertyy hermosolujen ”syömän” sokerin mukana niihin. Hajotessaan radioaktiivinen indikaattori emittoi antimateriahiukkasen, positronin, joka annihiloituu kohdatessaan elektronin, ja synnyttää tällöin gammasäteitä, jotka voidaan havaita mittauslaitteistolla.
- PET-skannauksen suurin hyöty on toimivan aivon verenkierron sekä happi- ja glukoosimetabolian (aineenvaihdunta) näkyminen mittauksissa. Miinuksena radioaktiiviset aineet eivät hajoa kovin kauaa, joten pitkiä mittauksia ei voi tehdä.



- Paikallisesti tarkka (säteen alkuperä voidaan paikantaa n. 5 mm tarkkuudella), mutta ajallisesti epätarkka menetelmä – yhden kuvan ottaminen kestää 10-30 sekuntia. Voidaan tutkia aivojen eri osien aktivoitumista erilaisten kognitiivisten tehtävien aikana. Kaksi- tai kolmiulotteinen kuva.
- PET-skannauksen aikana potilas altistuu noin 7 mSv (millisievert) säteilyannokselle. Vertailukohtana suomalaisten vuosittainen säteilyannos on noin 3,7 mSv.

Läpivalaisu – Tietokonetomografia (Computed axial tomography, CT/CAT)

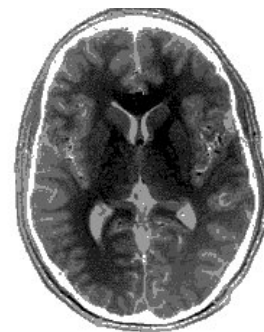
- Aivoista otetaan useita röntgenkuvia eri suunnista samassa tasossa. Tietokone laskee kuvien perusteella kaksiulotteisen läpileikkauskuvan.
- Kuvasta voidaan analysoida lähinnä aivojen ja kallon rakennetta, etsiä kasvaimia.

Ydinmagneettisia kaikuja – Magneettiresonanssikuvaus (Magnetic Resonance Imaging, MRI)

- Magneettiresonanssikuvauksessa käytetään hyödyksi ihmiskehossa olevan veden vetyjen ytimien magneettisia ominaisuuksia. Voimakkaalla magneettikentällä sekä sopivalla taajuudella lähetetyillä radiosignaaleilla vetyatomit saadaan järjestettyä ja viritettyä. Kun radiosignaalit poistetaan, atomit palaavat alkuperäiseen asentoonsa lähettäen itse heikkoja radiosignaaleita. Eri kohdissa olevat signaalit saapuvat mittauslaitteiden antennille eri aikaan, ja vetytiheys eri kehon osille voidaan lopulta laskea tietokoneella.
- Perinteinen MRI on psykologian kannalta varsin hyödytön, koska sillä ei voi kuvata kuin aivojen rakennetta, muttei aivojen toimintaa. Se saadaan selville nykyään MRI:stä kehitetyllä fMRI:llä.
- Menetelmä on paikallisesti erittäin tarkka (tutkimuslaitteet jopa alle $1 \mu\text{m}^3$, sairaanhoidossa käytettävät yleensä noin 1 mm^3). Menetelmällä saadaan joko kaksiulotteisia läpileikkauskuvia tai kokonaisia kolmiulotteisia kuvia.

Tapahtumakaikuja – Funktionaalinen Magneettiresonanssikuvaus (Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)

- Funktionaalisessa magneettiresonanssikuvauksessa keskitytään vetyatomien sijasta happea sisältävän ja hapettoman hemoglobiinin magneettisiin eroihin. Koska taas aktiiviset osat kuluttavat enemmän happea, voidaan aktiivisuus havaita veren happipitoisuuden muuttumisena ts. hapellisen/hapettoman hemoglobiinin suhteen muuttumisena (*Blood Oxygenation Level Dependent*, BOLD).
- fMRI on jo varsin monimutkainen ja montaa tieteenalaa hyödyntävä tekniikka, tällä hetkellä aktiivisen kehityksen alla.
- MRI:n tavoin paikallisesti erittäin tarkka, mutta ajallinen tarkkuus ei ole EEG/MEG:n tasoa.

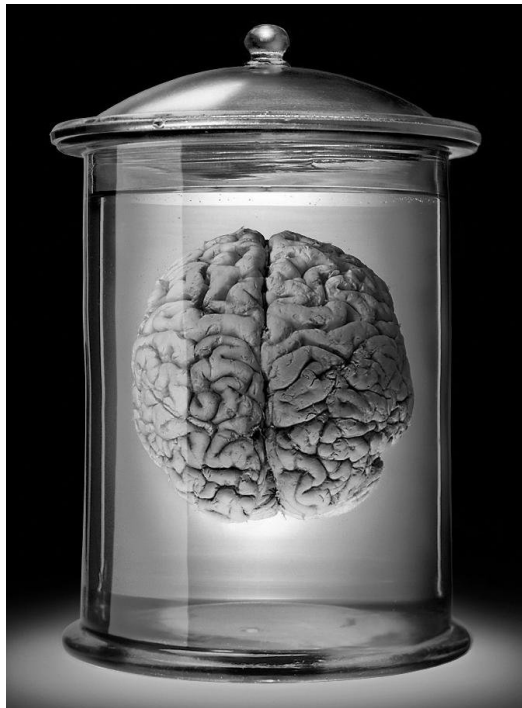


Muuta aiheen tiimoilta, joka ei mahtunut edellisiin

- Koska mikään ylläluetelluista tekniikoista ei yksinään ole kaikenkattava, niitä yritetään yhdistellä. Esimerkiksi fMRI:n ja MEG:n yhdistämistä yritetään
- Aivotoimintaa voidaan myös tutkia muuntamalla sitä keinotekoisesti. Voidaan joko pitäytyä niinkin hienovaraisessa toiminnassa, kuin aivovaurioiden tuottamisessa jäädyttämällä tai kemiallisin ainein tai voidaan brutaalisti ärsyttää yksittäisiä hermosoluja mikroelektrodilla. Tämän jälkeen voidaan taas mitailla ja puhtaasti observoida, mitä tapahtuu.

Mediakriittisyyttä jälleen

- Jälleen kerran, vaikka aivotutkimus kehittyy nopeasti, ei silti olla vielä vähään aikaan pääsemässä jonkun ajatuksenluvun tai edes uskonnollisen ja rakastumisen osa-alueen paikantamisen tasolle. On hyvä ymmärtää mitkä ovat nykyiset rajoitukset.
- Korkeampia mentaalisia toimintoja ei toistaiseksi pystytä millään tavalla tutki-
maan, koska ei ole mitään tapaa tallentaa täydellisesti aivotoimintaa. Psykkiset toiminnot hyödyntävät aivojen eri osien monimutkaista vuorovaikutusta.
- Jos fMRI-kuvassa joku aivojen osa-alue aktivoituu esimerkiksi lukiessa, ei tästä pidä suoraviivaisesti päätellä, että kyseinen osa-alue nimenomaisesti on lukemiseen tarkoitettu, ettei muualla tapahtuisi mitään käsittelyä.



Nämä neljä sivua löytyvät myös osoitteesta:

http://epoksi.ath.cx/~jusic/shared/misc/ps4_esitelma_aivotutkimusmenetelmia.pdf

Lisäinformaatiota lontoonmurteella osoitteesta:

http://en.wikipedia.org/wiki/Brain_imaging