

**JYVÄSKYLÄN AVOIN YLIOPISTO
KOKKOLAN YLIOPISTOKESKUS CHYDENIUS**

Jouni Vilkkä

Neuropsychologia II

Psykologian aineopinnot

Annamaija Oksanen: PSYA120 Neuropsychologia II

Opiskelutapa 2: Oppimistehtävät

Jyväskylän avoin yliopisto, lukuvuosi 2015–16

Kevätlukukausi 2016

2016-02-03

Sisällys

1. Aivojen rakenne ja toiminta	1
1.1 Keskushermosto, ääreishermosto	1
1.2 Aivot pääpiirteissään	1
1.3 Harmaa aine, valkea aine	2
1.4 Pikkuaiivot ja limbinen järjestelmä	2
1.5 Isot aivot	3
1.6 Monimutkaiset kognitiiviset toiminnot	4
1.7 Lähteet	5
2. Aivojen kuvantamismenetelmät	6
2.1 PET ja fMRI	6
2.2 PET	6
2.2 fMRI	8
2.3 PET vs. fMRI	9
2.4 Lähteet	10

1. Aivojen rakenne ja toiminta

1.1 Keskushermosto, ääreishermosto

Hermosto jaetaan anatomisesti keskushermostoon ja ääreishermostoon; keskushermostoon kuuluvat aivot ja selkäydin; ääreishermostoon taas kuuluvat aivohermot ja selkäydinhermot sekä autonomisen hermoston perifeeriset osat (Niensted ym., s. 518). Ääreishermosto jaetaan vielä anatomisesti somaattiseen ja autonomiseen hermostoon (Lambert & Kinsley, s. 65). Autonominen hermosto jaetaan edelleen sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon, joista jälkimmäinen ylläpitää sisäistä homeostaasia (Lambert & Kinsley, s. 66 - 67). Stressireaktiossa sympaattinen hermosto virittää kehon taistelemaan tai pakenemaan. Reaktiot eivät kehityshistoriastaan huolimatta aina ole ihanteellisia: esimerkiksi väkivallan uhatessa tyypillinen reaktio on niin sanottu putkinäkö, jolloin näkökyky keskittyy tarkan näön kapealle alueelle, eikä ääreisnäkö toimi juuri lainkaan (tämän takia hyvässä itsepuolustuskoulutuksessa opetetaan ”rikkomaan putkinäkö” heti kun mahdollista).

1.2 Aivot pääpiirteissään

Isoaivot, väliaivot, keskiaivot, aivosilta, pikkuaivot ja ydinjatke ovat tärkeimmät aivojen osat. Aivosilta ja pikkuaivot muodostavat yhdessä taka-aivot. Väliaivot, keskiaivot, aivosilta ja ydinjatke puolestaan muodostavat aivorungon. Sekä isoissa- että pikkuaivoissa on harmaan aineen muodostama aivokuori. Sen alla on enimmäkseen valkeaa ainetta mutta myös harmaan aineen muodostamia hermotumakkeita, joita on myös aivorungossa. Muiden osien päällä olevat isoaivot koostuvat syvän uurteen erottamista vasemmasta ja oikeasta aivopuoliskosta. Ne yhdistää toisiinsa uurteen pohjalla sijaitseva valkeasta aineesta koostuva aivokurkiainen. Aivopuoliskojen sisällä ovat mm. iskujen vaikutuksilta suojaavat, aivoselkäydinnesteen täyttämät aivokammiot. (Yleistason kuvaus esim. Niensted ym., s. 529.)

Aivokammiot ovat yhteydessä selkärangan sisällä olevaan selkäyttimeen, jonka kautta aivoselkäydinneste (jota on myös kaikkialla aivojen ympärillä) pääsee verenkiertoon

(Lambert & Kinsley, s. 69). Tämä neste kannattelee ja suojaa aivoja, mutta esimerkiksi kovan iskun takia sen paine päässä voi kasvaa, jolloin aivokuoren hermosolut ovat vaarassa tuhoutua. Hämäläisen mukaan aivokammioissa syntyy hermosoluja, jotka kulkeutuvat paikoilleen aivoselkäydinnesteen mukana (Hämäläinen 2014).

1.3 Harmaa aine, valkea aine

Niensted ja kumppanit kertovat, että isoivokuoren harmaassa aineessa on suurin osa neuronien soomaosista. Kuori ei kuitenkaan ole rakenteeltaan yhtenäinen, vaan sen hermosolujen rakenne ja niiden keskinäinen sijainti vaihtelee. Yleensä hermosolut muodostavat kuusi päällekkäistä kerrosta. Lajinkehityksellisesti vanhemmassa limbisessä järjestelmässä on vain kolme solukerrosta. (Niensted ym., s. 532.)

Hämäläinen selitti luennossaan harmaan aineen hermosolupylväistä, jotka läpäisevät kaikki edellä mainitut solukerrokset. Niiden solut käsittelevät keskenään samoja asioita. Esimerkiksi yhden näköivokuorella sijaitsevan hermosolupylvään kaikki solut käsittelevät samansuuntaisia viivoja. (Hämäläinen 2014.)

Harmaan kuoren alla oleva osa koostuu pääosassa valkeasta aineesta, ja kuten Hämäläinen opettaa, siinä kulkee paljon hermoratoja, jotka yhdistävät eri aivoalueet toisiinsa. Aivokurkiainen on aivojemme ehkä tärkein hermorata, koska se yhdistää aivopuoliskot toisiinsa ja siten se on hyvä esimerkki valkeasta aineesta. (Hämäläinen 2014.)

1.4 Pikkuaiivot ja limbinen järjestelmä

Niensted ja kumppanit kertovat, että pikkuaiivot säätelevät lihasliikkeitä, erityisesti nopeita liikesarjoja, joiden muistamisessa niillä on tärkeä osa. Ne sovittavat yhteen eri lihasten toimintaa, jotta liikkeistä tulee tarkkoja, oikea-aikaisia ja tilanteeseen sopivia. Lisäksi niiden vanhempi osa vertailee hitaampien liikkeiden aikana aivojen muiden osien antamia käskyjä

lihasten todellisiin suorituksiin. Kaikkein vanhin osa huolehtii tasapainon säilyttämisestä pääasiassa sisäkorvan lähettämien viestien perusteella. (Niensted ym., s. 534 ja 556.)

Kuten Niensted ja kumppanit selittävät, käyttäytymisen säätely on usein homeostaattista, esimerkiksi janon sammuttaminen juomalla, ravinnon hankkiminen ja syöminen, ulostaminen, virtsaaminen, lämpötilan säätely, hengitys, lepääminen ja nukkuminen, ehkä jopa uteliaisuus. Kaikille näille toiminnoille yhteistä on pyrkimys poistaa elimistön sisäistä häiriötilaa. (Niensted ym., s. 574.)

Niensted ja kumppanit kertovat, että hypothalamuksella on keskeinen asema käyttäytymisen säätelyssä. Autonomisen hermoston säätelemiä toimintasarjoihin liittyviä toimintoja, jotka liittyvät homeostaattisiin ja sosiaalisiin käyttäytymismuotoihin, säätelee limbinen järjestelmä. Siihen kuuluu väliaivojen ja ohimolohkojen tumakkeita sekä joitakin aivokuoren osia, jotka sijaitsevat isoaiukuoren sisäreunassa aivokurkiaisien ympärillä. Limbisen järjestelmä on lajikehityksellisesti vanha ja vain vähän muuttunut varhaisemmista muodoista nykyiseen. (Niensted ym., s. 575.)

1.5 Isot aivot

Etuaivot jakautuvat väliaivoihin ja isoihin aivoihin (Vilkko-Riihelä, s. 122). Niensted ja kumppanit kuvaavat niitä yllättävällä tavalla:

“Isoaivoissakin on hyvin runsaasti synapseja. Isoaivoja voidaankin pitää suurena passiivisena neuronikasaumana, joka toimiakseen tarvitsee paljon fasilitaatiota, ulkopuolista stimulaatiota. Tämän saa aikaan aivoverkosto. Niin kauan kuin se stimuloi vilkkaasti isoaivoja, ihminen pysyy hereillä.”
(Niensted ym., s. 569 - 570.)

Isojen aivojen aivokuoren molemmat puoliskot jaetaan neljään laajaan alueeseen eli lohkoon niiden sijainnin mukaan: etuotsalohko (joka ohjaa kehon liikkeitä, yhdistää muistoja ja tunnekokemuksia reaaliaikaisesti ympäristön ärsykkeisiin ja suunnittelee toimintoja, sekä saa

aikaan ihmisen persoonallisuuden), ohimolohko (joka huolehtii äänten havaitsemisesta ja käsittelee kielen tulkintaa ja tuottamista), päälaenlohko (joka tulkitsee tuntoaistin havaintoja ja avaruudellisia suhteita), sekä takaraivon lohko (joka käsittelee näköhavaintoja ja) (Lambert & Kinsley, s. 79).

Aivopuoliskojen työnjaon varmaankin tunnetuin piirre on se, että oikea aivopuolisko ohjaa kehon vasenta puolta ja vasen aivopuolisko oikeaa (Vilkko-Riihelä, s. 123). Tämä koskee paitsi raajojen toimintaa, myös aistihavaintoja. Kuten Hämäläinen luennossaan huomauttaa, silmien kohdalla tämä hermoratojen risteäminen vastakkaiselle aivopuoliskolle tarkoittaa, että kummankin silmänpohjan vasemman puoliskon – ei koko silmän – aistinsolujen informaatio siirtyy oikeaan aivopuoliskoon ja kääntäen (Hämäläinen 2014).

1.6 Monimutkaiset kognitiiviset toiminnot

Tajunta yhdistää monimutkaisia kognitiivisia toimintoja, kuten menneiden tapahtumien muistamisen, nykyhetken aistihavaintojen tekemisen ja tulevaisuuden suunnittelun (Niensted ym., s. 559). Aivoissa on omat alueensa eri aistien havaintojen tulkintoja varten, sekä assosiatiivisia alueita, kuten niistä tärkein, taaempi assosiatiivinen alue, jossa eri aistien tuottama tieto yhdistetään kokonaisvaltaiseksi havainnoiksi, joiden avulla ihminen saa käsityksen ympäristöstään (Niensted ym., s. 560).

Niensted ja kumppanit jaottelevat muistitoimintoja sen mukaan, kuinka kauan ne säilyttävät tietoa. Lyhin niistä on aistimuisti, jonka kesto on enintään sekunti. Suurin osa aistimuistiin tulevasta tiedosta unohtuu lähes välittömästi, koska siihen ei ole syytä kiinnittää vähääkään huomiota. Osa aistimuistin sisältämästä tiedosta kuitenkin siirtyy lyhytaikaiseen työmuistiin käsittelyä varten. Jos asiaa pidetään tarpeeksi tärkeänä, se siirtyy säilömuistiin, joka kestää vaihtelevan ajan minuuteista päiviin. Jos muistettua asiaa tuona aikana vahvistetaan riittävästi, se uppoaa pysyvään muistiin, jossa se voi säilyä vaikka loppuelämän ajan. Edes tajunnan menettäminen tässä vaiheessa ei pyyhi asiaa pois pysyvästä muistista, vaikka voikin vaikeuttaa asian mieleenpalauttamista. Limbiseen järjestelmään kuuluvalla hippokampuksella on keskeinen osa mieleenpainamisessa. Mantelitumake on lisäksi tärkeä, sillä se ilmeisesti

yhdistää muistoon tunnekokemuksen, joka määrittää sen, miltä asian muistaminen tuntuu. (Niensted ym., s. 562 - 563.)

Omastakin kokemuksesta lienee kaikille selvää, että vahvat tunnekokemukset vaikuttavat siihen, kuinka helposti niihin liittyvät asiat muistetaan, jopa silloin kun ne haluaisi kovasti unohtaa. Erityisesti traumaattiset asiat tuntuvat puskevan tajuntaan lähes jatkuvasti, vaikka kuinka haluaisi ajatella mitä tahansa muuta.

Muistitoimintoja jaotellaan myös sen mukaan, onko muistettava asia sanoin ilmaistava asia, kuten tapahtuma tai tieto (deklaratiivinen muisti) vai onko kyseessä taito, jonka osaa (nondeklaratiivinen muisti) (Niensted ym., s. 564).

Asioiden ilmaiseminen sanoin vaatii toimintaa sellaisilla aivoalueilla kuin Wernicken alue, joka toimii puheen tai kirjoituksen ymmärtämisessä ja tuottamisessa, sekä Brocan alue, joka ilmeisesti ohjaa puheen tuottamisen motorista toteutusta (Niensted ym., s. 566).

1.7 Lähteet

Hämäläinen, J. (2014). *Aivojen rakenne ja toiminta*. Luento.

Lambert, K.G. & Kinsley, C.H. (2011). *Clinical neuroscience: Psychopathology and the brain*. Second Edition. Oxford University Press.

Niensted, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björnkqvist, S-E. (1999). *Ihmisen fysiologia ja anatomia*. Helsinki: WSOY.

Vilkko-Riihelä, A. *Psykye. Psykologian käsikirja*. Helsinki: WSOY.

2. Aivojen kuvantamismenetelmät

2.1 PET ja fMRI

Tässä kirjoituksessa selitän positroniemissiotomografian (PET) ja toiminnallisen magneettiresonanssikuvauksen (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) toimintaa ja käyttöä neurotieteellisessä tutkimuksessa. Näistä jälkimmäinen on nykyään jollain tasolla laajasti tunnettu ainakin populaaritieteellisiä lehtiä ja verkkosivuja lukevien keskuudessa, kun taas edellinen on kalleutensa takia vähemmän käytetty ja varmaankin siksi myös vähemmän tunnettu. Se on kuitenkin tavallaan fMRI-menetelmää täydentävä, vaikka myös tavallaan samankaltainen sen kanssa ja siksi hyvä vertailukohde sille. Silloin kun muuta ei ole ilmoitettu, lähteenä on käytetty Hämäläisen ja kumppaneiden teosta *Mieli ja aivot* (Hämäläinen ym., s. 118 - 129).

2.2 PET

Positroniemissiotomografiaa (PET) sanotaan suomeksi myös hajasäteilytomografiaksi (Vilkko-Riihelä, s. 178). PET-menetelmässä elimistöön ruiskutetaan radioaktiivisella merkkiaineella ”leimattuja” molekyylejä, joiden kulkeutumista ympäri kehoa ja kertymistä eri elimiin seurataan PET-kameralla. Isotooppileima tehdään hiukkaskiihdyttimellä (syklotronilla) ja sen voi tehdä monille erilaisille molekyyleille, joten tutkimusmenetelmää voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin, myös muihin kuin neurotieteellisiin (tosin neurotieteellisiä tutkimuksia varten on rakennettu PET-kameroita, joiden kuva-aukko on suunniteltu vain ihmisen päätä varten, jotta sen ilmaisimet olisivat mahdollisimman lähellä kohdetta, eivätkä tällaiset laitteet tietenkään sovellu esimerkiksi keskivartalon kuvaamiseen). Koska kyseessä on radioaktiivinen aine, ”leiman” protoni hajoaa tietyn ajan kuluessa. Sen hajoamisessa vapautuu positroni, joka törmää pian tämän jälkeen johonkin ympäristössä olevaan elektroniin. Silloin ne häviävät ja niiden energia vapautuu kahtena vastakkaisiin suuntiin lähtävänä säteilykvanttina, jotka PET-kamera havaitsee. Kameralaitteiston avulla

voidaan päätellä, mitkä kvanttiparit ovat peräisin samasta hajoamistapahtumasta ja siten muodostaa kolmiulotteinen kuva merkkiaineen jakaumasta aivoissa. Jos mittaus tehdään pidemmän aikaa, voidaan muodostaa dynaaminen kuva, joka esittää merkkiaineen kertymisen ajan myötä. Tavallisesti tehdäänkin näin ja mittaus kestää tunnin. PET-kameroiden erottelukyky on mallista riippuen jopa alle 3 mm.

Nykyisillä menetelmillä kuvantamisen tuloksena syntyy kuvia, joita voidaan analysoida tilastollisesti. Tulokset voidaan esittää kuvamuodossa parametrikarttana. PET-kuvantamista voidaan käyttää sekä terveiden että sairaiden ihmisten tutkimiseen. Suomessa sitä on käytetty eniten keskushermoston tautien tutkimiseen. Lisäksi sillä on tehty psykologista tutkimusta, kun on haluttu selvittää erilaisten mielen prosessien (kuten kielen käyttöön tai tunteisiin liittyvien toimintojen) neurobiologiaa.

PET-kuvantamista käytetään neurotieteissä (1) välittäjäainereseptorien määrän tutkimiseen, (2) välittäjäaineiden toiminnan tutkimiseen, (3) aivojen metabolian tutkimiseen ja (4) aivojen verenvirtauksen tutkimiseen. Näistä tutkimustyypeistä ensimmäistä ja tärkeintä käytetään esimerkiksi selvittämään, liittyykö tiettyyn tautiin tai tautialttiuteen muutoksia reseptorimäärissä tai niiden keskinäisissä suhteissa. Löydösten perusteella voidaan sitten pyrkiä kehittämään asiaan vaikuttavia lääkkeitä. Välittäjäaineiden vapautumisen, säätelytoiminnan tai synteysin tutkiminen sen sijaan on harvinaista. Aivojen metabolian tutkimus tuottaa tietoa energian lähteiden eli glukoosin tai hapen kulutuksesta aivoissa, mikä on neurotieteen näkökulmasta kiinnostavaa, sillä hermosolujen toiminnan muutokset näkyvät muutoksina niiden energiankulutuksessa. Samoin muutokset veren virtauksessa aivoissa kertovat aivosolujen aktiivisuudesta. Tämä on kognitiivisessa neurotieteessä tärkeä tutkimustyyppi, mutta sitä tehdään nykyään pääasiassa fMRI-tekniikalla, joka on paljon PET-kuvantamista halvempi ja helpommin saatavilla oleva menetelmä. PET-menetelmää on kuitenkin käytettävä, jos tutkimusasetelma vaatii kuvantamisen yhteydessä sellaisten laitteiden käyttöä, joita ei voi viedä voimakkaaseen magneettikenttään. Sitä täytyy käyttää myös siinä tapauksessa, että halutaan mitata verenvirtauksen absoluuttisia määriä. PET on myös hiljainen, toisin kuin fMRI, joten hiljaisuutta vaativissa tutkimusasetelmissa se on parempi vaihtoehto.

PET-menetelmän ilmeisin heikkous on siihen liittyvä säteilyaltistus, vaikka sitä onkin saatu vähennettyä herkempiä laitteita kehittämällä. Sen ajallinen tarkkuus on myös huono, minuutista puoleen tuntiin.

2.2 fMRI

Toiminnallinen magneettiresonanssikuvauksen (fMRI) avulla voidaan havainnoida aivojen eri osien aktivoitumista erilaisten toimintojen aikana seuraamalla paikallisia muutoksia veren virtaamisessa. Se perustuu pidempään käytössä olleeseen magneettikuvaukseen (MRI), jolla voidaan kuvata tarkasti anatomisia rakenteita. Se perustuu ydinmagneettiseen resonanssiin ja siihen, että ihmisen elimistössä on niin paljon vettä ja vedessä taas vetyä, johon voidaan vaikuttaa voimakkaalla magneettikentällä. Ensin vetyatomien magneettikenttä käännetään sähkömagneettisella pulssilla ulkoisen magneettikentän suuntaiseksi ja sitten seurataan kun ne palaavat takaisin alkutilanteeseensa luovuttaen samalla pulssista absorboimansa energian. MRI-laite havaitsee osan tämän relaksaation aikana luovutetusta energiasta. Eri kudoksista saadaan erilainen signaali, joten laite erottaa ne toisistaan.

Hämäläisen mukaan MRI-kuvan värittämiseen (aivojen eri alueiden värikoodaamiseen) menee kaksi viikkoa, koska aivoalueiden tunnistaminen on hankalaa ja työlästä ja se täytyy tehdä käsityönä (Hämäläinen 2014).

Kuten tietyissä PET-menetelmän käyttötavoissakin, fMRI-kuvaus perustuu siihen, että hermosolut tarvitsevat toimiessaan energiaa. Sitä ne saavat ATP-molekyyleistä, joiden tuottamiseen tarvitaan happea, jonka kuljetukseen taas tarvitaan verenkiertoa. Verenkierron tehostuminen tietyllä alueella siis viittaa hermosolujen toiminnan kasvuun sillä alueella. Veren hapettuneen hemoglobiinin suhteellinen kasvu näkyy muutoksena kudoksen MRI-signaalissa ja siten toimiva kudos erottuu ympäröivistä kudoksista, minkä fMRI-laite havaitsee seuratessaan aivojen magneettisia muutoksia riittävän ajan kuluessa. Tämä ei tapahdu yhtä nopeasti kuin elektroenkefalografian (EEG) tai magnetoenkefalografian (MEG) havaitsemat muutokset, vaan vie useampia sekunteja. Aktivaation paikan fMRI kuitenkin erottaa tarkemmin kuin muut menetelmät.

Yleensä tutkimuksissa täytyy yhdistää dataa useamman koehenkilön kuvauksista, jolloin joudutaan käyttämään anatomista normalisointia, jossa hyödynnetään useiden kymmenien henkilöiden aivojen keskiarvoja. Yksilöiden välillä voi kuitenkin olla suuria eroja, joten tämä ei ole ongelmaton.

Hankalaa tutkimuksen kannalta on myös fMRI-laitteiston aiheuttama kova melu ja laitteen muu epämukavuus (liikkumattomuuden vaatimus, ahtaassa putkessa makaamine) koehenkilön kannalta. Nämä vaikeuttavat kognitiivisten toimintojen tutkimusta, sillä ne häiritsevät koehenkilön keskittymistä. Melua voidaan kyllä vähentää paljonkin mittaamalla vain pientä osaa aivoista. Tarkkaavaisuus vaikuttaa aivotoimintaan, eikä aina voida tietää, mitä koehenkilöt todella tekivät (kognitiivisesti) kokeen aikana. Voimakas magneettikenttä rajoittaa muiden havainto- ja koevälineiden käyttöä, sillä magnetisoituvia esineitä ei voi tuoda laitteen kanssa samaan huoneeseen.

2.3 PET vs. fMRI

Molemmat esitellyt kuvantamismenetelmät, PET ja fMRI, voivat kuvata verenkierron vilkastumista tietyillä (syvilläkin) aivoalueilla ja saada näin tietoa aivojen toiminnasta tai vaurioita tai tukoksia verenkierrossa (Vilkko-Riihelä, s. 177 - 178). PET-menetelmällä on tämän lisäksi muita käyttötarkoituksia, joiden osalta fMRI ei lainkaan kilpaile sen kanssa. Jos tutkimuksessa tarvitaan laitteita, joita ei voida tuoda fMRI-laitteen magneettikenttään, tai vaaditaan hiljaisuutta, on valittava PET. Se on kuitenkin kallis ja hankalammin saatavissa kuin lähes kaikista hyvin varustelluista sairaaloista löytyvä, toiminnalliseenkin magneettikuvantamiseen sopiva laitteisto.

2.4 Lähteet

Hämäläinen, H., Laine, M., Aaltonen, O. & Revonsuo, A. (toim.) (2006). *Mieli ja aivot: Kognitiivisen neurotieteen oppikirja*. Turku: Turun yliopisto, Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.

Hämäläinen, J. (2014). *Aivojen rakenne ja toiminta*. Luento.

Vilkko-Riihelä, A. (1999). *Psyyke. Psykologian käsikirja*. Helsinki: WSOY.