

Minna Huotilainen

Näin aivot oppivat

Tässä pdf-tiedostossa on mukana kirjasta seuraavat näytteet:

- Sisällys
- Aluksi: Miten oppiminen tapahtuu?

Tutustu kirjaan
verkkokaupassamme



Sisällys

ALUKSI: MITEN OPPIMINEN TAPAHTUU?	11
Aivotutkimuksen jännittävä palapeli.....	12
Alustavia vastauksia vaikeaan kysymykseen.....	14
<i>Muovautuvuusperiaate</i>	15
<i>Automatisoitumisperiaate</i>	17
<i>Ennakointiperiaate</i>	21
<i>Sosiaalisuusperiaate</i>	23
Menetelmien aarreaitta.....	25
<i>Aivosähkökäyrä – vanha ja uusi mittaustapa</i>	26
<i>MEG on EEG:n isosisko</i>	29
<i>Toiminnallinen magneettikuvantaminen tarjoaa kuvan aivoista</i>	31
<i>PET päästää katsomaan myös aivokemiaa</i>	34
<i>Aivoja aktivoidaan sähköllä ja magneettikentällä</i>	35
<i>Autonomisen hermoston vasteet tuovat tilannetajua</i>	37
IHMISAIVOT ON LUOTU OPPIMAAN	41
Laiska kylvää siemenet ja valjastaa härän.....	44
Ihmisten ja eläinten aivoja.....	45
Onko kana tyhmä?.....	48
Eläimet oppivat kuten ihminen oppii.....	49

OSA 1 · Oppimisen työkaluja

MUISTI, TARKKA-AVAISUUS JA MOTIVAATIO	57
Tiedon vastaanottaminen, säilyttäminen ja hakeminen sekä unohtaminen.....	59
<i>Aistimuisti vastaanottaa valtavasti tietoa</i>	59
<i>Työmuisti pätkii meistä ihan jokaisella</i>	60
<i>Pitkäkestoisen muistin kapasiteetti on ääretön</i>	63
<i>Taitomuisti on kykyä tehdä asioita</i>	64
<i>Miten muisti säilyy ikääntyessä?</i>	65
Motivaatio ohjaa oppimista.....	67
Miten opin tehokkaasti?.....	69
LIIKKUVAA OPPIMISTA	75
Iloisesti juoksevat rotat ovat fiksuimpia.....	77
Miten ihmisen aivot reagoivat liikkumiseen?.....	79
Stereotypiat kumoon – nörtti ei pelkääkään palloa.....	81
Liikunta auttaa keskittymään ja iloitsemaan oppimisesta.....	82
Jos tarkkaavaisuus takkuua, kiinnitä huomiota liikuntaan.....	83
Liikunta ehkäisee ja lievittää suomalaisten kansantautia, masennusta.....	84
Liikunnan harrastaminen voi törmätä kielteisiin asenteisiin.....	87
Voiko liikunta olla haitaksi aivoille ja oppimiselle?.....	88
Kaikki mukaan liikkumaan ja oppimaan.....	90
PÄHKINÖITÄ PURTAVAKSI, ENERGIAA AIVOILLE	93
Ovatko toiset aivomme suolistossa?.....	94
Aamupalaa ja kouluruokaa.....	98
Puolet oppimisesta tapahtuu yöllä	101
Hyvä vireystila ja tunnetila syntyvät hyvästä unesta.....	102
Muistin toiminta on vielä osittain mysteeri.....	103
Unen aikana aivot siivotaan kuona-aineista.....	107
Miten hyvä uni saavutetaan?.....	108
Voiko unta syventää tai parantaa?.....	111
Stressin, liikunnan ja unen välinen monimutkainen suhde.....	112

OSA 2 · Oppia ikä kaikki

VAAVA OPPII VAIVATTA	119
Ohjaamatonta oppimista.....	120
Ajoitus ratkaisee solujen tietoyhteyksien rakentumisessa.....	122
Aivoalueet järjestyvät geenien, stimulaation ja toiminnan ohjaamina.....	123
Vauvalla on äidinkielen taitoja jo ennen syntymää.....	126
Parempia vauvoja opettamalla?.....	127
LEIKKI-ikäISEN MAAILMA TäYTTY YUPEN OPPIMISESTÄ	131
Lasten erilaisen käytöksen taustalta vaikuttaa temperamentti.....	135
Leikki-ikäinen lapsikin kokee stressiä – U-käyrä lapsen arjessa.....	138
Musiikki leikki-ikäisen elämässä.....	145
Prosoosiaalinen käytös ja yhteinen tahdistuminen.....	147
Päiväunen aikana aivoissa tapahtuu paljon.....	149
Esikoululainen osaa jo kirjaimia ja numeroita.....	150
MITÄ TÄNÄÄN KOULUSSA OPIT?	153
Alakoulun koulupäivä liikkuvaksi.....	154
Tekemällä oppimaan.....	155
Voiko koululainen nukkua päiväunia?.....	158
Teknologia on hyvä renki mutta todella huono isäntä.....	159
Ilmastoahdistus ei kuulu lapselle, toiminta kylläkin.....	162
TEININ AIVOT OHJELMOITUVAT UUSIIN TEHTÄVIIN	165
Murrosikäinen muodostaa itsestään uuden kuvan.....	167
Murrosikäiset hiiret ryyppyretkillä.....	170
Katse perusasioihin: nukkuminen, syöminen ja liikkuminen.....	171
TyÖSSÄ OPPII JOTAIN JOKA PÄIVÄ	173
Hyvät ja ergonomiset työvälineet innostavat oppimaan.....	175
Hyvin organisoitu opetus tehoaa.....	175
Omistajuus tuo oppimisen ilon ja halun.....	176
Oppimisvaikeuksiin kannattaa varautua.....	177
Oppimisen sisältö suunnitellaan työntekijöiden kanssa.....	177
Oppiminen ei voi tulla työn päälle, vaan sille on varattava aikaa.....	178
Oppiminen on osa työtä.....	179
VANHAT AIVOT OPPIVAT UUSIA TEMPPUJA	181
Aivot muuttuvat iän myötä.....	183
Miksi tuntuu, ettei muista eikä opi enää mitään?.....	185
Oppiminen on terveellistä aivoille.....	187

OSA 3 - Oppimisen alueita

LUKEMINEN ON EPALLEEN OPPIMISEN PERUSTAITO	195
Pienikin lapsi oppii kirjainten nimet.....	198
Kirjainten nimistä lukemisen oivallukseen.....	201
Pitkät ja lyhyet vokaalit ja konsonantit.....	202
Lukemisen sujuvoituminen vaatii aivojen rakenteellista uudelleenjärjestäytymistä.....	203
Voiko lukivaikeus ollakin merkki paremmista aivoista?.....	204
ARKI ON TÄYNNÄ MATEMATIIKkaa	211
Automaattinen lukumäärien summittainen havaitseminen on synnynnäistä....	213
Matematiikka-ahdistus ja asenteet vaikuttavat innostumiseen ja onnistumiseen.....	215
Matemaattiset prosessit aivoissa.....	217
Kielelliset ja matemaattiset taidot ovat vahvasti päällekkäisiä.....	220
OPIMME SOITTAMAAN JA LAULAMAAN, OPIMME OPPIMAAN	223
Olenko epämusikaalinen?.....	225
Pienen lapsen kiljahtelu ja lauleskelu on arvokas asia.....	227
Kouluiässä musiikkiharrastus mahdollistaa monenlaista oppimista.....	229
Nuorelle musiikki on tunteiden tulkki ja enemmänkin.....	232
Kuulovammainen oppii musiikin avulla kuulotaitoja.....	233
Musiikkiharrastus ylläpitää ikäihmisen aivoterveyttä.....	235
AIVOIHIN MAHTUU MONTA KIELTÄ	239
Äidinkielen äännekartta vaikeuksissa.....	240
Milloin vierasta kieltä kannattaisi opiskella?.....	242
Leikkiminen ja laulaminen ovat lapsen tehokkain tapa oppia kieltä.....	244
Tehokasta oppimista pelien maailmassa.....	246
Eri kielet tukevat toisiaan.....	247
Varhainen kaksikielisyys asettuu aivoissa eri tavoin kuin myöhemmin opittu uusi kieli.....	247
Kaksikielisyys tuo kognitiivisia etuja.....	248
Eri kielet asettavat kuulojärjestelmälle erilaisia vaatimuksia.....	250
Viittomakieli on omanlaisensa kieli.....	253
Englanti on erityinen maailmankieli.....	255

TAITO- JA TAIDEAINEET -ÄLYKKYYTTÄ KÄSISSÄ	259
Kehittyvät aivot tarvitsevat monipuolisia materiaaleja.....	262
Tekemisen näkeminen on osa ajattelun kehittymistä.....	263
Taito- ja taideaineet itseilmaisun välineinä.....	265
Käsillä tekemisen hyvinvointivaikutukset.....	267
Kädentaidot työssä.....	269
Käsityö kuuntelemisen apuna.....	270
LOPUKSI: MIHIN OPPIMISEN AIVOTUTKIMUSTA OIKEASTAAN PITÄISI KÄYTTÄÄ?	273
Älä rakenna näennäistä vastakkainasettelua.....	275
Älä yleistä tutkimustulosta liikaa.....	276
Kavahda kohtalonuskoa, sillä aivot ovat muovautuva elin.....	278
Arvioi tieteellistä taustaa vähintään kahdesta eri näkökulmasta.....	281
Ajattele kokonaisuutta ja käytäntöä äläkä takerru termeihin.....	285
LÄHTEET	289

Aluksi: Miten oppiminen tapahtuu?

Miten aivot oppivat? Oikeastaan kysymys on nykyisen aivotutkimuksen tulosten valossa väärin asetettu. Aivot eivät opi, vaan ihminen oppii – tai jopa koko ihmisyhteisö oppii. Tämä on tärkeää, sillä aivot ovat nimenomaan osa ihmisen kehoa ja kehon merkitys ihmismielen toiminnoille on suuri. Esimerkiksi tunteiden tunteminen aktivoi aivoissa tiettyjä alueita, mutta se vaatii myös kehon reaktioita. Ihmisen ajattelu ja oppiminen kehittyvät hyvin tehokkaasti ryhmässä, ja eri ihmisten taidot täydentävät toisiaan. Ihmisen älykkyys näkyy erityisesti aktiivisessa toiminnassa ja ryhmässä, ei niinkään aivoissa. Ihmismieli on kokonaisuus, jota ei voi paikantaa pelkästään yhden ihmisen aivoihin.

Aivotutkimusmenetelmillä voidaan kuitenkin lähestyä niitä ilmiöitä, joita aivoissa tapahtuu silloin, kun ihminen oppii. Siinä mielessä myös aivot oppivat, että oppimiseen johtanut toiminta saa aivoissa aikaan mitattavia muutoksia. Tämä kirja perustuu tutkimuksiin, joissa on mitattu juuri näitä oppimisen aiheuttamia aivomuutoksia. Toivon, että kirjassa esiteltävät tutkimustulokset kiinnostavat oppimisesta innostuneita ja johdattavat lukujen sisältöön. Yksittäi-

nen tutkimus toimikoon esimerkkinä lukuisista erilaisista tutkimuksista, joiden avulla aivotutkimus on mukana avaamassa oppimisen suuria mysteereitä.

Aivotutkimuksen jännittävä palapeli

1990-luku nimettiin Yhdysvalloissa aivojen vuosikymmeneksi. Tuolloin keksittiin monia merkittäviä aivotutkimuksen menetelmiä, ja jo aiemmin keksittyjä menetelmiä pystyttiin kehittämään tarkemmiksi ja helpokäyttöisemmiksi. Tuskin kukaan 1980-luvulla aivotutkimusta tekevä olisi osannut kuvitella, että aivotutkimuksesta todellakin tulisi kaikkien meidän arkeen vaikuttava ja myös arkisia asioita tutkiva tieteenala. Yhdysvalloissa käynnistynyt panostus aivotutkimuksen menetelmiin jatkui muuallakin länsimaaisissa yliopistoissa ja levisi myös Aasiaan. Uudelle vuosituhannelle tultaessa tutkijoilla oli käytettävissään menetelmäpakki, josta vielä hetki sitten vain uneksittiin.

Aivotutkimusta määrittäviä perusasioita olivat 1990-luvulla toisaalta lääketieteen tarpeet ja toisaalta perustutkimuksellinen ote. Oli paljon kartoittamatonta: täytyi tutkia hermosoluja, niiden tyyppejä, välittäjäainemolekyylejä, niiden toimintaa, solujen kalvolla sijaitsevia ionipumppuja ja kaikenlaisia aivojen perusrakenteen ja toiminnan yksityiskohtia. Oli myös runsaasti kiireellistä lääketieteellistä ja käytännöllistä selvitettävää: mitä tehdä yhä yleistyvälle Alzheimerin taudille, kuinka ymmärtää autismin kirjoa tai miten auttaa masennuspotilaita? Menetelmiltä vaadittiin aivan uudenlaista tarkkuutta ja monipuolisuutta, ja sitä myös saatiin. Yhä pienemmät anturit, voimistuvat magneettikentät ja kasvavat näyttteenottajaudet yhdessä uusien datatieteen keksintöjen kanssa mahdollistivat aivan uuden tarkkuuden. Aivoja voitiin

tutkia niin monipuolisesti, että pelkän perustutkimuksen ja lääketieteellisen tutkimuksen lisäksi tutkijoita alkoivat kiinnostaa muutkin kysymykset: oppiminen, harrastusten vaikutus, hyvä ikääntyminen, teini-iän myllerrykset, kaksi- ja monikielisyys tai vaikka rakastuminen.

Yksittäisen kokeellisen tutkimuksen tulos voi aluksi olla lukijalle jopa pienoinen pettymys. Näinkö pieni asia saatiin selville kuukausia kestävässä kokeissa? Lukijan mieleen tulvii helposti lisää kysymyksiä: Olisiko tulos sama, jos oppimistilanne olisi järjestetty toisin? Entä jos tutkittavat olisivat olleet nuorempia tai vanhempia kuin kokeeseen osallistuneet, olisiko se vaikuttanut tuloksiin? Kaikki nämä ovat tärkeitä kysymyksiä, ja toivon tietysti, että niitä päästään selvittämään. Kaikkea ei ole vielä tutkittu. Tiede etenee pienin askelin, ja tutkimustuloksia pyritään toistamaan sekä samanlaisissa että erilaisissa olosuhteissa, jotta ymmärretään, mitkä niistä liittyvät juuri kyseisessä tilanteessa tutkittuihin yksilöihin tai ympäristöön ja mitkä niistä ovat laajemmin yleistettävissä. Meille suomalaisille on äärimmäisen tärkeää, että erityisesti kielen oppimiseen liittyvää tutkimusta tehdään myös Suomessa – muista kielistä ja kulttuureista saatuja oppimistuloksia ei nimittäin voi suoraan siirtää Suomeen ja suomalaisiin oppijoihin. Jos jokin uusi tieteellinen löydös toistuu useissa tutkimuksissa ja monenlaisissa olosuhteissa, tietoa aletaan tiedeyhteisössä pitää luotettavana. Palapeli, johon kootaan tutkimustiedosta koostuvaa ymmärrystä ihmisestä, on saanut uuden palasen.

Miten palapelin palaset sopivat yhteen? Miten oppiminen tapahtuu? Miten aivot itse asiassa toimivat? Näihin suuriin kysymyksiin on vielä liian aikaista vastata, sillä tiedämme liian vähän. On tärkeää, että tutustumme palapelin palasiin. Siksi tässäkin kirjassa esitellään monta yksittäistä tutkimusta, yksi jokaisen luvun alussa. Kun tutus-

tut luvun alussa esitettyyn esimerkkitutkimukseen, pääset mukaan aivotutkimuksen jännittävään palapelin kokoamistehtävään: Mikä tämän yksittäisen tuloksen merkitys kokonaisuudessa voi olla? Mitä se kertoo oppimisesta? Voinko soveltaa sen antamaa tietoa omassa työssäni, vanhemmuudessa tai oppimisessäni? On tärkeää, että pyrimme luomaan kokonaiskuvaa ja sovittamaan saatuja tuloksia siihen.

Kokonaiskuvan muodostaminen on todella vaikeaa. Moni aiemmin kehitetty malli aivojen toiminnasta on uusien tutkimusten valossa osoittautunut virheelliseksi tai riittämättömäksi. Uusia malleja kehitetään koko ajan ja testataan uusien tutkimusasetelmin. Muutamia yleisiä aivojen ja mielen toimintaperiaatteita voidaan kuitenkin pitää sellaisina, että niistä on apua yksittäisten tutkimusten tulosten ymmärtämisessä. Näitä periaatteita esitellään seuraavaksi.

Alustavia vastauksia vaikeaan kysymykseen

Jotta aivojen toiminnasta saatavaa pirstaleista tietoa voidaan jäsentää, tarvitaan malleja, teorioita ja ajattelun kehikkoja. Niiden luominen on kuitenkin osoittautunut erityisen vaikeaksi. Tieteellisen teorian pitäisi olla kokeellisesti testattavissa – sen puolesta ja sitä vastaan pitäisi voida kerätä tutkimusaineistoa. Aivojen toiminnasta ei ole helppo muodostaa sellaisia teorioita, joita todella voisi tutkimuksin testata.

Seuraavassa esitellään sellaisia aivotoiminnan ja aivojen rakenteen järjestäytymisperiaatteita, jotka ovat avuksi, kun yritetään ymmärtää tutkimustuloksia ja asettaa niitä laajaan kokonaisuuteen. Nämä aivojen toimintaperiaatteet ovat malleja, joiden hyödyllisyys

selviää pikku hiljaa. Niiden avulla voimme yrittää hahmottaa aivotutkimuksen tuottamaa tietotulvaa. Päivittäin julkaistaan suuri joukko uusia tutkimustuloksia, eikä kukaan pysty seuraamaan kaikkea aivotutkimuksen tuomaa tietoa. Yksittäisten tutkimusten merkitys tieteen kentässä on pieni mutta tärkeä: jokainen kokeellinen tutkimus tuo uuden palasen tietoa osaksi kokonaisuutta.

Muovautuvuusperiaate

Muovautuvuusperiaate on eräs tärkeä aivojen toimintaa selittävä ajatusmalli. Aivojen tilaresurssit ovat rajalliset: päähän ei mahdu loputtomasti hermosoluja ja solujen välisiä yhteyksiä, vaan kallon tilavuus rajoittaa aivojen kokoa. Aivot kuluttavat valtavasti energiaa ja hapetta, joten suuret aivot tulevat kalliiksi. Vieläkö ihmisaivot voivat kasvaa nykyisestä koostaan? Synnyttäminenkin vaarantuu, jos pään koko vielä tästä kasvaa. Aivojen tilaresurssista on jatkuva kamppailu.

Muovautuvuus on aivojen ominaisuus, jonka avulla tilaa voidaan käyttää mahdollisimman tärkeisiin tarkoituksiin myös tilanteiden ja olosuhteiden muuttuessa. Peruspiirustukset tilankäytölle ovat olemassa: oikean käden tuntoaistimuksia käsitellään vasemman päälakilohkon etuosassa ja näköaistimuksia käsitellään takaraivolohkolla. Aivojen täsmällinen rakenne kuitenkin muokkautuu ihmisen toiminnan perusteella. Tilaa pyritään varaamaan aina kulloinkin tärkeimmille asioille. Rakenteelliset muutokset eivät tapahdu hetkessä, vaan ne vaativat toiminnan muutosta, joka kestää satoja tunteja. Mutta kun oppija saadaan innostumaan uudenlaisesta harjoittelusta, aivoissa nähdään rakenteellisia muutoksia. Nuori, joka yhtäkkiä innostuu harjoittelemaan kitarasooloja netistä löytämiensä videoiden avulla, muokkaa aivojensa toimintaa ja lopulta rakennettakin, jos in-

nostus jatkuu riittävän pitkään. Niille alueille ja niihin toimintoihin, joita uuden oppimiseen tarvitaan, kasvaa lisää resurkseja.

Kuuluisissa jongleerauskokeissa on havaittu konkreettisesti aivojen harmaan aineen määrän kasvua tietyillä aivoalueilla, kun aiemmin jongleerausta taitamattomat koehenkilöt ryhtyvät sitä harjoittelemaan. Aivot tukevat uutta toimintoa kasvattamalla lisää solujen välisiä yhteyksiä ja mahdollisesti uusia hermosolujakin niille alueille, joita jongleerauksessa tarvitaan.

Muovautuvuuden yhteydessä puhutaan usein *siirtovaikutuksista*. Jos kitarasoolon opettelu sai aikaan resurssien lisääntymistä ja laskentakapasiteetin kasvua tietyillä aivoalueilla, vaikkapa kulloaivokuorella, onko lisääntynyt resurssi hyödyllinen myös jossain muussa tehtävässä kuin kitarasoolojen soittamisessa? Voisiko siitä olla hyötyä vaikka vieraan kielen lausumisen opiskelussa? Osassa tehtävistä positiivista sivuvaikutusta eli siirtovaikutusta on vaikea havaita. Esimerkiksi vaikkapa sudokujen ratkominen tai kuvataidekursseille osallistuminen varmasti vaikuttaa aivoihin positiivisesti, mutta siirtovaikutuksia ei ole juurikaan havaittu. Sen sijaan vaikkapa liikuntaharrastuksen tai musiikkiharrastuksen aloittamisella on todettu olevan paljonkin positiivisia siirtovaikutuksia: esimerkiksi muisti, tarkkaavaisuus ja erilaiset havaintotaidot kohenevat. Tutkijat etsivät parhaillaan selitystä siihen, miksi jotkin toiminnat edistävät pääasiassa vain juuri kyseisen tekemisen taitoja ja toiset toiminnat taas kehittävät laajasti erilaisia taitoja.

Aivojen muovautuvuusperiaate on keskeinen kasvatustieteen näkökulmasta. Aivot eivät ole jäykkä mötikkä, joka kohtalomaisesti määrää rajat osaamisellemme ja tekemisellemme, vaan ne ovat muovautuva alusta. Vanhan sanonnan ”Siltä, jolle on lusikalla annettu, ei voi kauhal-

la vaatia” voi heittää romukoppaan. On viisainta muokata ajatteluaan, uskomuksiaan ja toimintatapojaan sitä tosiasiaa kohti, että aivot harjaantuvat uusiin tehtäviin harjoittelemalla. Kenenkään aivoissa ei ole valmiina jotain mystistä osaamista, vaan taidot kehittyvät tekemällä.

Aivojen voi ajatella olevan kuin talvinen lumihanki. Siellä voit rämpien hiihtää umpihangen vapaudessa paikasta A paikkaan B. Kun seuraavan kerran menet saman reitin, voit hyödyntää aiemmasta hiihdostasi syntynyttä latua. Jos hiihdät parin viikon ajan muutaman kerran päivässä saman reitin, saat aikaan niin hyvän ladun, että perille pääsee tätä reittiä pitkin melkein kuin itsestään. Jos ensimmäinen paikasta A paikkaan B rämpiminen onnistui vain ankaralla ponnistelulla, vaikkapa elämäsi ensimmäisen jakolaskun laskeminen jakokulmassa, valmista latua pitkin hiihtäminen on vastaavasti hyvin opitun jakokulman käyttöä – tuntuu jo automaattiselta. Uusi tapa tai kyky on opittu.

Automatisoitumisperiaate

Automatisoitumisperiaate on keskeinen malli, jolla selitetään oppimista, taidon kehittymistä ja uusien tapojen muotoutumista. Automatisoitumisperiaatteen mukaisesti jokin opittu toiminta siirtyy aivokuoren tietoisesta hallinnasta ohjattavaksi osittain tietoisuuden ulkopuolella esimerkiksi pikkuaivojen alueella. Tämä periaate säästää tietoisuuden kapasiteettia muuhun toimintaan. Ajattelepa vaikka kävelyä. Kun kävelyä harjoitellaan parin ensimmäisen elinvuoden aikana, kaikki kapasiteetti kuluu motorisen toiminnan hallintaan. Kaatuminen uhkaa jatkuvasti, ja kävelijä yrittää etsiä tasapainoa käsiään heiluttamalla, jalkoja siirtämällä ja kehon painoa käyttämällä. Rankkaa treeniä. Kuitenkin jo muutaman vuoden harjoittelun jälkeen

kävely on automatisoitunut: lapsi juttelee sujuvasti kävellessään, väistää kuoppia ajattelematta asiaa, kävelee kaltevaa pintaa vaivatta, hallitsee erilaisilla alustoilla kävelyn ja kulkee portaita. Tällöin kapasiteettia jää muihin tehtäviin.

Arjessa toimiessamme teemme paljon asioita automaattiohjauksella. Mies avaa kotioiven, heittää avaimet eteisen pöydälle, marssii jääkaapille, ottaa kaapista lasin ja kaataa itselleen lasillisen mehua. Mitä tuossa oikeastaan tapahtui? Automatisoitumisperiaatteen mukaisesti aivotointia tässä tilanteessa ei ajatella niin, että ovi olisi ratkaistava tehtävä ja avaimen laittaminen lukkoon olisi sen ratkaisuyritys tai että jano olisi ongelma, jota pyrittäisiin ratkaisemaan ottamalla mehua. Sen sijaan ajatellaan, että kotiovea lähestyvän miehen aivoissa käynnistyvät automaattiset toimintamallit, jotka saavat käden hapuilemaan kotiavainta kuin itsestään, ja kaikki sen jälkeenkin tapahtuva sujuu ennalta opittujen toimintamallien mukaisesti. Liikesarjat ovat tuttuja, sillä ne on tehty satoja kertoja. Miehellä ei välttämättä edes varsinaisesti ollut jano. Tämän automaattisen toiminnan aikana hän ehkä ajatteli jotain ihan muuta. Tavat ovat erittäin tärkeitä, sillä ne ohjaavat toimintaa tiedostamattomasti. Tavoista on vaikea päästä eroon juuri siksi, että automatisoitunut toimintamalli uhkaa käynnistyä tietoisuuden ulkopuolella aina, kun jokin ympäristössä muistuttaa tuosta toimintamallista. Tässä mielessä olemme tapojemme orjia, mutta ne myös helpottavat elämäämme, sillä jo opittu tapa säästää kapasiteettia muuhun tekemiseen.

Uusimman tutkimuksen mukaan päättäväisyys ja luja tahdonvoima on usein selitettävissä hyvillä tavoilla. Hyväkuntonen ihminen ei välttämättä ole erityisen päättäväinen, vaan hänelle on muodostunut tavaksi käydä ulkoilemassa joka ilta – ehkä hänellä on koira,

joka pakottaa lenkille. Terveellisesti syövä ihminen ei ole välttämättä ollenkaan lujaluontoinen herkkujen vastustaja, vaan hänelle on kehittynyt hyvät ostostavat. Saattaa olla, että hän on tottunut ostamaan ruokatarvikkeet suunnitelmallisesti ostoslistan mukaan. Kun kotona ei ole herkkuja käden ulottuvilla, niitä on helpompi vastustaa.

Aivojen automaattiohjauksen tiedostaminen auttaa kasvattajaa ymmärtämään, miten tärkeää on opettaa tapoja ja tottumuksia. Hyvä tapa on kehikko, johon toiminta automaattisesti tukeutuu. Erinomainen tapa opetettavaksi oppilaille voisi olla vaikka sellainen, että kun vaikeaan tehtävään ei tunnu löytyvän ratkaisua, tehdään kolme kyykkyä tai punnerrusta. Kun oppilas on tottunut tähän koulussa, hän saattaa aivan automaattisesti kotonakin läksyjä tehdessään huomata liikkumisen tarpeen, kun tehtävä ei tunnu sujuvan. Tämä tapa voi kantaa pitkälle.

On hyvä oivaltaa, ettei automatisoitunutta tapaa voi *oppia pois*, vaan sitä on muokattava tai sen tilalle täytyy oppia jotain muuta. Jokainen tupakoinnin lopettamista yrittänyt tietää tämän, samoin kynsien pureskelua harrastava. Tapa kytkeytyy päälle aina automaattisesti. Jos tavasta haluaa eroon, on syytä miettiä, mitä sen tilalla voisi olla: millaisen uuden tavan ja toimintamallin voisi kehittää niihin tilanteisiin, joissa aiemmin on noudattanut vanhaa tapaa?

Automatisoitumisperiaate selittää myös asiantuntijuuden kehittymistä. Pianistin täytyy osata soittaa kappale ilman että hän ajattelee jokaista yksittäistä sormen painallusta. Muuten hän ei voisi tehdä varsinaista tehtävänsä eli tulkita musiikkia, keskittyä teoksen suuriin linjoihin, ilmaista tunteita ja ilmentää musiikin olemusta soittaessaan. Motorisen toiminnan on ensin täytynyt automatisoitua. Samoin loistava automyyjä osaa ilmeillään ja eleillään vahvistaa

asiakkaan uskoa autokaupan kannattavuuteen. Automyyjä ei ajattele jokaista sanaa, ovenavausta ja elettä erikseen vaan palvelua kokonaisuutena. Jotta tämä olisi mahdollista, kaikkien yksityiskohtien tulee olla automatisoituneita. Hän ei mieti, minne virta-avain täytyikään laittaa tai miten valot laitetaan päälle, vaan hän esittelee tuotteen ostajalle luontevasti. Mitä enemmän automatisoituneita taitoja ja osaamista tehtävästä on kertynyt, sitä paremmin voi toimia asiantuntijana, sillä kognitiivista kapasiteettia on silloin käytettävissä juuri tehtävän vaativimpiin osiin. Kapasiteetti ei kulu itse tekemiseen vaan laajan kokonaisuuden hallintaan.

Asiantuntijuuden voisi ajatella olevan kasa automatisoituneita, pitkälle vietyjä toimintoja. Ajattelepa vaikka keihäänheittäjää heittoradan päässä. Hänen tulee pitää huolta lukemattomista asioista: jalkojen askelkuviosta, rytmistä, lähestyvistä heittoviivasta, käden asennosta, keihään kulmasta, lantion asennosta ja sen kääntymisestä, katseen suunnasta ja hartioiden suunnasta. Kukaan ei voi ajatella näitä kaikkia asioita yhtä aikaa. Keihäänheiton asiantuntijuus syntyy ajattelemalla ja harjoittelemalla näitä asioita yksi kerrallaan. Askelrytmiä harjoitellaan treenistä toiseen, kunnes se alkaa pikku hiljaa automatisoitua. Aivoissa tämä tarkoittaa sitä, ettei otsalohkon eikä edes liike- ja tuntoaivokuorien aktivoitumista tarvita enää yhtä paljon kuin aiemmin, vaan askelet alkavat kulkea automaattisen tuntuisesti erityisesti pikkuaivojen ohjaamana. Tällöin urheilijalle jää kognitiivista kapasiteettia miettiä seuraavaa asiaa, vaikkapa käden asentoa. Ja kun sitä on harjoiteltu riittävästi, otetaan taas seuraava.

Palataanpa vielä kokeneeseen keihäänheittäjään. Mitä hän ajattelee heittoviivan lähestyessä? Todennäköisesti hänen mielessään pyörii: "Nyt tulee aivan mieletön heitto! Rennosti vain. Kaikki peliin!"

Hän ei ajattele kättä eikä jalkaa, vaan kaikki tämä on automatisoitu. Niinpä hän pystyy keskittymään huippusuoritukseen ja sen vaatimaan rentouteen ja samanaikaiseen räväkkyteen. Automatisoituminen on välttämätöntä asiantuntijuuden kehittymisessä, ja se vaatii paljon taitoharjoittelua. Ihmisen tietoisien kognition resurssit ovat erittäin rajalliset, joten automatisoitumisella on tärkeä rooli siinä, miten selviydymme monimutkaisista tilanteista.

Ennakointiperiaate

Ennakointiperiaate on hyvin kiinnostava ja viime aikoina paljon tutkittu aivojen toiminnan periaate. Aiemmin ajateltiin, että aivojen olennainen tehtävä on reagoida ärsykkeisiin. Aistien kautta tulee tietoa esimerkiksi äänen alkamisesta. Aivot analysoivat tietoa, päättävät, mitä toimintaa kyseinen tieto edellyttäisi, ja lähettävät lopuksi lihaksille toimintaohjeet. Sittemmin on esitetty, että on hedelmällisempää ajatella aivojen toimivan ennakoiden: aivot päättelevät, mallintavat ja laskevat, mitä kohta tapahtuu, ja suunnittelevat valmiiksi muuttamia siihen sopivia toimintamalleja. Ennustettu asia joko tapahtuu tai sitten ei. Jos ennuste menee pieleen, toimintaa on muokattava uutta ennustetta vastaavaksi ja virheelliseen ennusteeseen johtaneita malleja on mahdollisesti päivitettävä. Kaikki tämä on esitietoista oppimista. Ennustavan järjestelmän avulla osaamme ennakoida tilanteita jo paljon ennen niiden tapahtumista, ja tämä ennakointi vaikuttaa havaintoihimme.

Vauva ei tietenkään voi kovin paljon ennakoida: kaikki on uutta ja moni asia yllättää. Ennakointi alkaa kuitenkin rakentua heti, kun aivot vastaanottavat tietoa ulkomaailmasta – jo ennen syntymää. Ennakoinnin rakentuminen onkin olennainen osa oppimista.

Kuulojärjestelmässä ennakointiperiaate on erityisen vahva. Jos esimerkiksi ulkona sataa, sateen ääni on melko ennustettava. Jonkin aikaa kuuluttuaan ääni häipyi taustalle aivan kuin emme kuulisi sitä. Tietenkin kuulemme äänen, mutta se ei enää vie tietoista tiedonkäsitelykapasiteettiamme, sillä se on riittävän ennustettava. Jos yhtäkkiä tapahtuu jonkin muutos, esimerkiksi vesisade muuttuu raekuuroksi tai ukkonen jyrähtää, kuulojärjestelmä hälyttää ja tietoisuus kääntyy kohti muuttunutta ääntä. Ennusteen rikkoutuminen toi paljon uutta informaatiota verrattuna ennusteen toteutumiseen eli sateen jatkumiseen samanlaisena.

Myös motorista toimintaa voidaan tulkita ennakointiperiaatteen mukaisesti. Ihminen osaa tarttua hentoon lasiesineeseen varovasti, mutta robotille se on vaativa suoritus. Ihmisen tarttumistoiminto on täynnä ennakointia ja ennusteen korjaamista. Käden ojentuessa kohti esinettä näköjärjestelmä saa koko ajan tietoa siitä, kuinka hyvin lähestyminen onnistuu. Liikkeen suuntaa voidaan korjata näkö tiedon perusteella. Tarttumishetkellä tietoa tulee todella paljon: kosketustunto kertoo, kuinka voimakkaasti sormet puristuvat esineen ympärille ja onko voima eri sormissa tasainen. Myös näkö- ja kuuloaisti osallistuvat tarttumisen hienosäätöön. Sääto on pieniä korjauksia, jotka kaikki perustuvat toiminnon ennakointiin – miltä sen pitäisi tuntua tai näyttää – ja toiminnosta saatuun aistitietoon. Näiden välinen ero eli ennusteen rikkoutuminen tuo tietoa, jota hienosäädössä tarvitaan. Kaikki tämä tapahtuu tietoisuuden ulkopuolella. Ei ihminen ajattele, miltähän käden liikkeen pitäisi näyttää, vaan tieto kulkee automaattisesti ja korjausliikkeet perustuvat kokemukseen – se vain tapahtuu.

Ennakointi on tärkeää silloin, kun kuunnellaan puhetta. Puheessa tietoa tulee todella nopeassa tahdissa, ja kuullunymmärrys on lähes mahdotonta pelkästään kuultua tietoa analysoimalla. Siksi ennakkoivia malleja tarvitaan. Äidinkielessä ennakointimallit kehittyvät itsestään aivoihin ennen kouluikää, mutta ne jatkavat kehittymistään vielä kouluiässäkin. Vieraan kielen kuuntelemisessa ennakointimalleja rakennetaan altistumalla suurelle määrälle vierasta kieltä esimerkiksi elokuvien, vlogien, podcastien, pelien ja musiikin muodossa sekä tietysti koulussa kuullunymmärrystehtäviä ja puhumista harjoiteltaessa. Ennakointi vieraalla kielelläkin on lopulta automaattista, mutta ennakointimallien rakentaminen vaatii kielenoppijalta tietoista asioihin paneutumista. Erityisen vaivattomasti puhutun kielen ennakkoinnin mekanismit kehittyvät lapsuudessa. Vieraan kielen kuullunymmärryksessä tarvittavat ennakointimallit kehittyvät pienelle lapselle helposti ja nopeasti, kun hän altistuu uudelle kielelle. Tämä on kielen oppimisen alueella nuoren kielenoppijan vahvuus, jota kannattaa hyödyntää (ks. luku Aivoihin mahtuu monta kieltä).

Sosiaalisuusperiaate

Sosiaalisuusperiaate ohjaa tutkijoita pohtimaan aivoista mitattuja ilmiöitä siinä valossa, kuinka kokonainen ihmisryhmä toimii yhdessä. Yksittäisten tutkimustulosten ymmärtäminen helpottuu, kun ne sijoittaa ihmisryhmän toimintaan vaikuttavaksi ilmiöksi. Esimerkiksi ilmeiden ja eleiden tulkinta on todella nopeaa. Nopeus on välttämättömyyttä, sillä muutoin emme ihmisryhmänä pystyisi tehokkaaseen yhteistyöhön. Ajattelepa vaikka mammuttia metsästävää ihmisryhmää tai suuronnettomuuspaikalle saapuvaa ensihoitotiimiä. Nopeus, luottamus ja selkeä tieto toisen osaamisesta ja aikeista on välttämät-

töntä, jotta ryhmän yhteistoiminta onnistuu. Sanoja vaihdetaan vain lyhyesti. Tärkeitä ja nopeita kommunikointikeinoja ovat ilmeet ja eleet.

Ympäristön vaatimuksiin eivät sopeudu vain yksittäisen ihmisen aivot, vaan koko ihmisryhmän toiminta muokkaantuu, kun jonkun tai kaikkien aivot muuttuvat. Keskeinen kysymys ei olekaan tämän toimintaperiaatteen mukaisesti se, miten muutos aivoissa vaikuttaa yksilön toimintaan vaan miten se vaikuttaa ryhmän toimintaan. Kysymyksen ”Miten aivot oppivat?” voisikin tässä yhteydessä korvata kysymyksellä ”Miten luokka tai ryhmä oppii?”.

Sosiaalisuusperiaatteeeseen liitetään joskus ajatus siitä, että yksilöllisyys ja vaihteleva moninaisuus on ihmisryhmän kokonaissuoritusta parantava piirre. Yksittäisen ihmisen hyvinkin erikoinen tapa hahmottaa maailmaa tai reagoida aistitietoon voi olla hänelle itselleen jopa taakka, mutta se auttaa ja mahdollistaa ihmisyhteisössä sellaista toimintaa, jota muutoin emme voisi tehdä. Tämän periaatteen mukaisesti esimerkiksi kuulovamma, oppimisvaikeus, vieraskielisyys, lukivaikeus tai vaikkapa autistiset piirteet olisivat yhteisön kannalta hyödyllisiä, ihmisryhmän moninaisuutta ja vaihtelevuutta lisääviä piirteitä, vaikka ne saattavat yksilölle itselleen tuntua hyvin raskailta kantaa. Ihanteellisessa maailmassa nämä ihmiset olisivat yhteisön tärkeä voimavara.

Olemmeko kohdelleet näitä yksilöitä väärin yrittämällä kehittää heissä niitä ominaisuuksia, jotka meille muille ovat tärkeitä – vaikkapa sujuvaa lukutaitoa? Samalla olemme jättäneet kehittämättä heissä sellaisia ihmisyhteisölle arvokkaita ominaisuuksia, joita meillä muilla ei samassa laajuudessa ole, vaikkapa karttojen ja tilan hahmottamista. Ehkäpä laajennetun sosiaalisuusperiaatteen mukaisesti

meidän tulisikin keskittyä nimenomaan erilaisuuteen ja vahvistaa sitä, mutta silloin toki nykyisen kaltaisen yhteiskunnan pitäisi pystyä joustamaan enemmän ja ottamaan erilaisuus paljon paremmin huomioon ja käyttöön. Millaisia tuottavuusloikkia ja huimia keksintöjä nämä poikkeusyksilöt silloin saisivatkaan aikaan? Tätä ei ole länsimaaisessa nyky-yhteiskunnassa koskaan kokeiltu. Uskaltaisimmeko?

Menetelmien aarreaitta

Aivotutkimuksen menetelmien kehitys on ollut nopeaa. Aloitin itse aivotutkimuksen 1990-luvun alussa, ja silloin monet tutkimukset vaativat aikamoista insinööritaitoa. Tutkimusryhmissä oli runsaasti insinöörejä ja fyysikoita, ja psykologian, kognitiotieteen ja lääketieteen alan tutkijoiden tekninen osaaminen ja signaalinkäsittelytaidot olivat korostetusti esillä samoin kuin tutkimuskysymysten asettaminen, aineiston hallinta ja tilastotieteen ymmärrys. Nykyään aivotutkimusta tekee suuri määrä eri alojen tutkijoita. Markkinoinnista kiinnostuneet käyttävät aivotutkimuslaitteita mainosten herättämien aiovasteiden tutkimiseen. Liikunnan alan tutkijat selvittävät aivotutkimuksen keinoin liikunnan vaikutuksia hyvinvointiin. Musiikin tutkijat käyttävät aivotutkimusta ymmärtääkseen musiikin herättämiä emootioita tai terapeuttisia vaikutuksia. Päiväkotipäivää tutkitaan mittaamalla autonomisen hermoston vasteita. Unen laatua selvitetään käteväillä aivotutkimuslaitteilla tutkittavien kodeissa. Lukivaikeutta pyritään ymmärtämään aivotutkimuksen keinoin. Työelämää kehitetään tutkimalla hermostollisia reaktioita työpäivän aikana eri työtehtävissä, erityyppisillä työpaikoilla ja erilaisissa työti-

loissa. On jo vaikea keksiä inhimillistä toimintaa, jota ei olisi lähestytty myös aivotutkimuksen keinoin.

Tutkimusmenetelmät ovat aivotutkimuksen aarreaitta, sillä menetelmien kehittyminen on ollut niin nopeaa. Osaltaan kehitykseen ovat vaikuttaneet elektronisten komponenttien koon pieneneminen, langattoman tiedonsiirron kehittyminen ja laitevalmistajien tuotekehitystiimien uurastus. Mittaaminen on paljon helpompaa kuin parikymmentä vuotta sitten. Silti tutkimusmenetelmät asettavat edelleen aivotutkimukselle myös suuria rajoituksia.

Jotta aivotutkimus voi ottaa paikkansa kasvatustieteen kentässä, on käytettävä aivotutkimuksen menetelmiä kasvatustieteellisten kysymysten ratkaisemiseen. Seuraavassa esitellään muutamia yleisiä aivotutkimuksen menetelmiä erityisesti oppimisen tutkimuksen näkökulmasta tarkasteltuna.

Aivosähkökäyrä – vanha ja uusi mittaustapa

Aivosähkökäyrä eli EEG (elektroenkefalogrammi) keksittiin jo 1920-luvulla Saksassa. Tutkija Hans Berger huomasi, että ihmisen päästä tulee sähköä. Eläinten hermosolujen reagoimista sähköön oli tutkittu jo aiemmin, ja Bergerin kiinnostava havainto aivojen sähköisestä toiminnasta ja sen mittaamisesta sai ihmiset innostumaan. Berger osoitti, että silmien sulkeminen ja avaaminen muutti aivojen sähköistä toimintaa: silmät auki toiminta oli vaimeaa, mutta kun silmät suljettiin, pään takaosassa näkyi sähköistä värähtelyä, jonka taajuudeksi Berger määritteli noin 10 värähdystä sekunnissa (10 Hz). Mikä tämä signaali oli? Mistä se kertoi? Signaali nimettiin alfarytmiksi ja sen ajatellaan olevan jonkinlainen tyhjäkäyntirytmi erityisesti ai-

vojen näköalueilla. Ihan täsmälleen alfarytmin tehtävää ei tiedetä vielääkään.

Innostavinta EEG-pohjaisissa tutkimuksissa on niiden ajallinen tarkkuus. Menetelmä mittaa suoraan hermosolujen sähköisen toiminnan aiheuttamia jännitevaihteluita pään pinnalta, joten minikäänlaista viivettä ei mittauksessa ole. Kun solut aktivoituvat, niissä kulkevat sähkövirrat saavat aikaan sähkökenttiä, jotka kulkeutuvat valon nopeudella pään pinnalle. Aivojen reaktio arkisiin asioihin voidaan nähdä heti.

Haasteena EEG-mittauksessa on aineiston valtava määrä. Yksittäiselle mittauselektrodille tulee dataa, jota kertyy periaatteessa lähes kaikista aivojen osista. Aivoissa on meneillään yhtä aikaa valtava määrä eri prosesseja – ne ovat todellinen rinnakkaisten prosessoreiden järjestelmä. Mitatusta datasta on todella vaikea päätellä, mistä kohdasta aivoja signaali itse asiassa tulee tai mihin prosessiin se liittyy. Valtaosa näistä prosesseista on tiedostamattomia, joten koehenkilöltä kysymienkään ei auta. Tästä syystä käyttöön on otettu keskiarvoistaminen. Kun haluamme tutkia vaikkapa epävireisen äänen havaitsemista musiikkikappaleessa, emme soita koehenkilölle vain yhtä vaan kymmeniä epävireisiä ääniä tavallisten sävelten joukossa. Keskiarvoistamalla aivosähkökäyrää niiltä ajanhetkiltä, joissa epävireisiä ääniä oli soitettu, voimme nähdä aivotoimintaa, joka toistuu samanlaisena joka kerta epävireisen äänen kuuluessa. Muu aivotoiminta ei keskiarvossa eli kuulovasteessa näy, sillä se on satunnaista ja pienee signaalissa sitä mukaa, mitä useampia keskiarvoistuksia teemme. Kuulo-, näkö- tai tuntovasteen mittaaminen vaatii kymmenestä sataan keskiarvoa. Kovin ainutkertaisia asioita ei näillä menetelmillä siten voida tutkia.

EEG-tutkimus on erittäin yleinen tutkimusmenetelmä, ja sitä on käytetty monipuolisesti oppimisen tutkimisessa. Monet muistin, tarkkaavaisuuden ja havaitsemisen ilmiöt on alun perin kartoitettu nimenomaan EEG:n avulla. Nykyisin EEG-mittausta käytetään erittäin laajasti. Mittaus on helppo toteuttaa, ja menetelmän käyttöä puoltaa myös laitteistojen edullinen hinta.

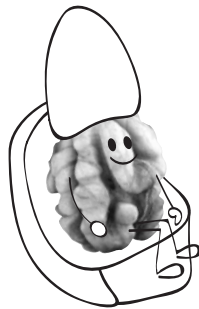
EEG-signaaliin pohjautuva aivotutkimus elää suurta renessanssia. Suomessakin on kymmeniä tutkimuslaboratorioita, joissa käytetään EEG-menetelmää. Kannettavat, edulliset ja helppokäyttöiset laitteet mahdollistavat signaalin mittaamisen missä tahansa – kotona, päiväkodissa, koulussa, työpaikalla tai vaikka ulkotiloissa voidaan ottaa aivosähkökäyrää talteen. Kun suuret määrät aivosähkökäyrää yhdistetään tilannetietoon, voidaan tehdä aivan uudenlaisia tutkimuksia. Tältä tutkimusalalta odotan paljon ja toivon, että saamme aikaan sovelluksia, jotka todella hyödyttävät yksittäisiä ihmisiä. Ne voisivat auttaa meitä esimerkiksi tunnistamaan kuormitustekijöitä koulupäivän aikana ja antaa meille tietoa siitä, miten oma oppiminen kannattaa ajoittaa ja suunnitella.



Aivosähkökäyrän mittaaminen onnistuu vaikka koululuokassa, päiväkodissa tai työpaikalla.

MEG on EEG:n isosisko

MEG eli magnetoenkefalografia on aivosähkökäyrän eli EEG:n sisarmenetelmä. Sama hermosolujen sähköinen aktiivisuus, joka aiheuttaa mitattavia potentiaalinmuutoksia pään pinnalle, saa aikaan myös pään ympärillä vaihtelevan magneettikentän. Tämä magneettikenttä on todella pieni, joten sen mittaamista vaikeuttavat monet asiat. Maan oma magneettikenttä vaihtelee ja sekoittaa tutkimuksia samoin kuin eri sähkölaitteiden toiminnasta aiheutuvat magneettikentät, mutta asiasta selvittää tekemällä tutkimukset magneettisilta häiriöiltä suojatussa laboratoriohuoneessa. Aivojen aiheuttama magneettikenttä on niin pieni, ettei sitä voi mitata tavanomaisella magneettikentän mittaamenetelmällä eli asettamalla johdinsilmukka magneettikenttään – mittauskohinaa olisi liikaa. MEG:ssä käytetäänkin erikoistarkkoja, suprajohtavasta materiaalista valmistettuja kvantti-interferenssilaitteita eli squidejä. Suprajohtavuus saavutetaan upottamalla squidit nestemäiseen heliumiin. Suojahuone ja helium tekevät laitteistosta järeän, vanhanaikaista hiustenkuivaajaa muistuttavan järkäleen, eikä sitä voida viedä laboratoriosta ulos.



MEG-menetelmässä hermosolujen sähköistä toimintaa mitataan magneettisesti. Suprajohtavat anturit vaativat kunnolla eristetyn kypärän.

Miksi MEG-menetelmää halutaan käyttää, jos kannettava EEG mittaa samaa asiaa? MEG:llä on erityisenä etuna signaalin vääristymättömyys. Matkalla hermosolulta pään ihon pinnalle sähkökenttä läpäisee erilaisia materiaaleja, jotka johtavat sähköä eri tavoin: aivo-selkäydinneste johtaa sähköä hyvin, kun taas kallo eristää sitä. Näiden erojen vuoksi EEG-signaali vääristyy niin paljon, että lopulta on hyvin vaikeaa päätellä, mistä kohdasta aivoja signaali sai alkunsa. MEG:ssä tilanne on toinen: magneettikenttä ei kohtaa minkäänlaisia esteitä matkatessaan syntypaikaltaan pään ulkopuolelle ja aina squid-antureihin asti. Koska magneettikenttä ei vääristy, siitä voidaan EEG:tä huomattavasti helpommin päätellä signaalin alkupiste eli se aivojen sopukka, jonka aktiivisuus on mitatun signaalin aiheuttanut.

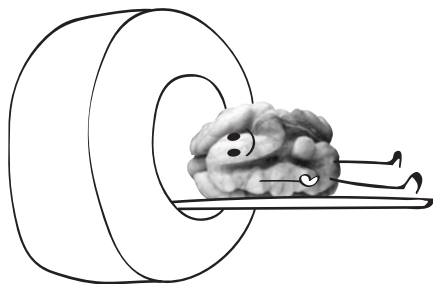
MEG-menetelmä on harvinainen yhdistelmä suurta ajallista tarkkuutta ja myös paikannustarkkuutta. Laitteisto ei kuitenkaan ole erityisen edullinen, ja sen käyttö ja ylläpito vaativat teknistä osaamista. Suomessa MEG-tutkimuksia tehdään HUS:n Meilahden sairaalassa sijaitsevan BioMag-laboratoriossa, Espoossa Aalto-yliopiston AMI-keskuksessa ja Jyväskylän yliopiston soveltavan MEG-tutkimuksen laboratoriossa.

MEG-menetelmällä on selvitetty monia aivojen tiedonkäsittelyn ja oppimisen verkostoja. Esimerkiksi lukemisen tutkimuksessa MEG-menetelmällä on keskeinen rooli sen ymmärtämisessä, kuinka aivot pystyvät lukemaan ja ymmärtämään luettua. Kokonainen tiedonkäsittelyverkosto on pystytty esittelemään MEG-menetelmään pohjautuvilla tutkimuksilla: aluksi on tutkittu, miten takaraivolohkon näköalueet toimivat tunnistettaessa grafeemeja eli kirjainten muotoja, ja monen tutkimusvaiheen jälkeen on päädytty tarkastelemaan lopulta ohimoja otsalohkojen alueita, joilla luetun sanan tai lauseen merkitys avautuu ja yhdistyy ymmärrykseen tunnetuista käsitteistä.

Toiminnallinen magneettikuvantaminen tarjoaa kuvan aivoista. Magneettikuvantamislaitteessa (MRI) tutkittava henkilö asetetaan voimakkaaseen magneettikenttään, jotta hänen aivoistaan voidaan saada rakennekuva. Mustavalkoinen viipalekuva näyttää aivojen rakenteen erittäin tarkasti. Kuvassa erottuvat aivojen harmaa aine, joka koostuu hermosolujen soomaosista, ja valkea aine, joka koostuu solujen viejähaarakeista ja niitä ympäröivästä, tiedonkulkua nopeuttavasta rasvakerroksesta. Näin tarkalla rakennekuvalla on tärkeitä lääketieteellisiä sovelluksia, mutta tutkijat tietysti käyttävät sitä muuhunkin. Aivojen rakennekuvan avulla voidaan esimerkiksi tutkia oppimista. Ensin kuvataan aivojen rakenne tarkasti, ja pyydetään koehenkilöitä sen jälkeen harjoittelemaan jotain uutta taitoa. Kun harjoittelua on jatkunut riittävän kauan, esimerkiksi 1 000 tunnin ajan, kuvataan aivojen rakenne uudelleen ja verrataan tulosta alkuperäiseen kuvaan. Yksittäisen henkilön aivojen rakenteessa voi tapahtua monenlaisia satunnaisia muutoksia, mutta jos samanlaisia muutoksia havaitaan suuressa ryhmässä harjoitelleita, voidaan päätellä muutosten johtuvan harjoittelusta. Tällaisia muutoksia aivojen rakenteessa on nähty muun muassa musiikkiharrastuksen, jongleeraus- ja yksipyöräisellä ajamisen ja monen muun taidon harjoittelun jälkeen.

Kun MRI-laitteella kuvannetaan aivojen *toimintaa*, kyse on hyvin erityyppisestä tutkimuksesta. Tällöin puhutaan toiminnallisesta magneettikuvantamisesta eli fMRI:stä. Laite tuottaa edelleen rakennekuvan aivoista, mutta kuvan eri alueilla signaalin voimakkuus vaihtelee hieman sen mukaisesti, kuinka paljon happipitoista verta alueella on. Hermosolut kuluttavat toimiessaan paljon happea, ja verenkierto tuo sitä koko ajan lisää. Nämä veren happipitoisuuden

muutoksen nähdään fMRI-kuvissa. Toisin sanoen menetelmä ei suoraan mittaa hermosolujen aktivoitumista vaan sen aikaansaamia muutoksia verenkierrassa. Tämä aiheuttaa menetelmään tiettyä viivettä. Siksi fMRI:llä onkin vaikea mitata nopeasti tapahtuvia ilmiöitä, kuten normaalisti alkavaa mutta yllättäen odottamattomalla tavalla päättyvää lausetta ja siihen liittyvää tiedonkäsittelyä. Lisäksi laite pitää mittauksen aikana kovaa melua ja koehenkilön pään on pysyttävä mittauksen onnistumiseksi mahdollisimman hyvin paikallaan, joten koetilanne ei ole kovin luonnollinen esimerkiksi oppimistilanteena.



Kookkaassa fMRI-mittalaitteessa muodostetaan vahvan magneettikentän avulla tarkka kuva aivoista. Kuvassa näkyy sekä aivojen rakenne että myös toiminnan merkkejä, kun verenkierto muuttuu eri alueilla hermosolujen aktivoituessa.

Perinteinen fMRI-menetelmän käytötapa on verrata kahta toiminnan tilaa toisiinsa ja osoittaa eroja veren happipitoisuudessa näiden toiminnan tilojen aikana. Keskenään on verrattu esimerkiksi tilannetta, jossa kuunnellaan puhetta ja tilannetta, jossa kuunnellaan musiikkia. Näiden tilanteiden välillä on tietysti todella paljon eroja. Jo akustisesti tarkasteltuna puheessa on paljon nopeampia taajuusmuutoksia ja liukuja kuin tavanomaisessa länsimaisessa musiikissa. Erot vain kasvavat, kun mietitään musiikin kuunteluun liittyvien melodioiden, rytmien ja harmonioiden havaitsemista tai puheeseen liit-

tyvien äänteiden, tavujen ja sanojen havaitsemista. Musiikki saattaa herättää kuulijassaan erilaisia tunteita, ja puhe tuo ehkä uutta tietoa. Voi vain kuvitella, kuinka erilaista aivotoiminnan näissä kahdessa tilanteessa täytyy olla.

Mitä eroja tällaisissa fMRI-kuvissa sitten on havaittavissa? Suurella koehenkilöjoukolla tehdyssä tutkimuksessa nähdään paljon aivoalueita, jotka ovat aktiivisempia puhetta kuunnellessa. Niitä on erityisesti vasemmassa aivopuoliskossa ohimolohkon alueella, mutta myös muualla. Vastaavasti voidaan havaita useita alueita, jotka aktivoituvat enemmän musiikkia kuullessa. Niitä on erityisesti oikeassa ohimolohkossa, mutta myös muualla. Tulos on tietysti yksinkertaistus, sillä se kokoaa yhteen useilla koehenkilöillä samanlaisena havaittuja ilmiöitä. Yksittäisen ihmisen aivoissa tilanne on paljon monimutkaisempi.

Edellä kuvatun kaltainen fMRI-tutkimus soveltuu mainiosti oppimisen tutkimiseen. Menetelmällä voidaan esimerkiksi tutkia, mitä aivoalueita kokeneet osaajat käyttävät tietyn tehtävän suorittamiseen ja miten nämä alueet poikkeavat aloittelijoiden käyttämistä alueista. Osaajien tuloksiin voidaan myös verrata henkilöitä, joilla on erityisiä oppimisen haasteita. Menetelmässä voidaan myös tutkia samoja koehenkilöitä ennen ja jälkeen oppimisen. Oppimisen aikana voidaan tehdä tutkimuksia, jos oppiminen tapahtuu nopeasti yksittäisen mittaustapahtuman aikana eli muutaman kymmenen minuutin kuluessa.

Nykyään fMRI on yksi maailman yleisimmistä aivotutkimusmenetelmistä. Sitä on kehitetty erityisesti Bostonissa 1990-luvulla, ja magneettikuvantamislaitteen eri ominaisuuksiin pohjautuva menetelmäkehitys on edelleen erittäin aktiivista. Vaikka laitteisto on hintava,

Suomessakin on kymmeniä magneettikuvantamislaitteistoja, joissa on fMRI-valmius. Merkittävä osa niistä sijaitsee sairaaloiden tiloissa, ja niitä käytetään yleensä virka-aikaan sairaalan potilastyöhön, mutta iltaisin ja viikonloppuisin ne ovat tutkimuskäytössä. Suomen johtava fMRI-laboratorio on Aalto-yliopiston AMI-keskus Otaniemessä. Maailmalla ja meilläkin fMRI-tutkimus tuo jatkuvasti uutta kiinnostavaa tietoa oppimisesta.

PET päästää katsomaan myös aivokemiaa

Suomessa kokeellinen PET-tutkimus eli positroniemissiotomografia on keskitetty Turun PET-keskukseen. PET-menetelmä kuvaa fMRI:n tavoin aivotoimintaa välillisesti kuvantamalla aivojen aineenvaihdunnan muutoksia. PET-laitteen tuottama rakennekuva ei ole yhtä tarkka kuin MRI-laitteesta saatu, mutta menetelmävalikoima on paljon monipuolisempi. PET-laitteella nähdään tietyn yksittäisen aineen sitoutuminen aivojen eri alueille. Tämä mahdollistaa paitsi happipitoisuuden myös esimerkiksi eri hermovälittäjäaineiden pitoisuuksien tutkimisen.

Tieto hermosolun päästä toiseen kulkee sähköisessä muodossa. Hermosolu kerää tuojahaarakkeilla sähköisessä muodossa tietoa solun soomaan eli keskiosaan, ja jos potentiaali ylittää tietyn raja-arvon, solu laukaisee aktiopotentialin. Tämä tarkoittaa, että voimakas, etenevä sähköinen signaali lähtee kulkemaan solun soomaosasta viejähäaraketta pitkin kohti solun toista päätä. Viejähäarake vie tiedon joskus kauaskin. Pisimmät ihmisen hermosolujen viejähäarakkeet ovat kymmenien senttien, jopa metrin pituisia – jalasta lähtevät tuntoaistimuksia kuljettavat hermosolut ovat todella pitkiä. Kaikki tämä tapahtuu nopeasti, mutta solusta toiseen sähkövirta ei hyppää, vaan

välille tarvitaan kemiallinen hermovälittäjäaine. Eri välittäjäaineilla on aivoissa erilaisia rooleja, ja välittäjäaineiden pitoisuuksien tutkiminen avaa mahdollisuuden ymmärtää näiden aineiden merkitystä myös oppimisessa.

Dopamiini on esimerkki välittäjäaineesta, johon kohdistuu paljon tutkimusta. Dopamiinin vaikutus aivoihin on kovin myönteinen: se tuottaa mielihyvän kokemusta, kohottaa oppimismotivaatiota ja auttaa myös esimerkiksi vuorokausirytmien säätelyssä. PET-menetelmällä voidaan tutkia, missä tilanteissa dopamiinia erittyy ja miten se vaikuttaa aivojen tiedonkäsittelyyn.

Aivoja aktivoidaan sähköllä ja magneettikentällä

Lähes kaikki aivotutkimusmenetelmät pyrkivät mittaamaan aivojen tavanomaisen toiminnan aiheuttamaa sähkömagneettista signaalia tai mittaamaan aivojen lähettämää heijastetta sähkömagneettisesta pulssista tai lievästi radioaktiivisesta merkkiaineesta. On kuitenkin olemassa myös aktiivisia aivotutkimusmenetelmiä, joissa aivoihin kohdistetaan sähkövirtaa tai magneettikenttää. Näin aktivoidaan aivoja tai muutetaan aivojen tavallisia aktivoitumistapoja. Tunnetuin näistä menetelmistä on TMS eli transkraniaalinen magneettistimulaatio, jossa voimakas magneettikenttä aktivoi hermosoluja pieneltä alueelta kerrallaan. Myös miedompia, sähköisesti toimivia stimulaattoreita on aivotutkijoiden käytössä. Näillä menetelmillä voidaan selvittää esimerkiksi sitä, mitkä aivoalueet ovat välttämättömiä tietyissä tehtävissä tai kuinka nopeasti tieto kulkee eri aivoalueiden välillä. Suomalaiset aivotutkijat ovat tunnettuja erityisesti TMS-menetelmän kehittämisestä.

Tässä kohdassa joudun esittämään varoituksen internetin ihmeellisestä maailmasta. Hakukoneilla saa tietoa henkilöistä, jotka ovat itse rakentaneet itselleen erilaisia aivostimulaattoreita. Stimulaattori on erittäin yksinkertainen – tehtävänä on vain ja ainoastaan johtaa mietoa sähkövirtaa aivoihin – joten laitteiston osat maksavat vain muutaman euron. Stimulaattoreita rakennelleet henkilöt kertovat blogeissaan ja vlogeissaan kokemuksiaan, jotka arvattavasti ovat hämmästyttävän loistavia. Joku on yhtäkkiä päässyt eroon matemaatiikkaan liittyvästä ahdistuksesta ja toinen on oppinut soittamaan pianoa stimuloimalla aivojaan itse tehdyllä tai netistä tilatulla stimulaattorilla (engl. *low current stimulator, random current stimulator, alternating current stimulator*). Tutkijat selvittävät parhaillaan, missä tilanteissa tällaisesta stimuloinnista voisi olla etua ja toisaalta voisiko se olla haitallista. Tutkimukset ovat kuitenkin täysin kesken. Yksittäisiä julkaisuja on olemassa ehkä muutamia kymmeniä tai vähän yli sata, mutta kokonaisvaltainen ymmärrys stimuloinnin pitkäaikaisvaikutuksista puuttuu kokonaan. En voi muuta kuin varoittaa näistä ylioptimistisista ja mahdollisesti vaarallisista kokeiluista. Itse tehtyjä kokeiluita ei säätele mikään laki, eikä kukaan ota niistä vastuuta.

Tutkijoiden ja lääkäreiden tekemät, kontrolloiduissa olosuhteissa suoritettavat aivostimulaatiot ovat eri asia. Näissä tutkimuksissa selvitetään menetelmien lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia. TMS-menetelmän tulokset näyttävät lupaavilta varsinkin vakavasti masentuneilla ja myös osalla aivoinfarktipotilaista.

Aivotutkijat stimuloivat aivoja eli vaikuttavat aivojen toimintaan esimerkiksi voimakkaan magneettikentän avulla. Näin voidaan tut-

kia esimerkiksi eri aivoalueiden välisiä yhteyksiä tai tietyissä tehtävissä tarvittavia aivoalueita. Ethän kokeile tätä kotona!

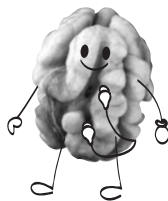
Autonomisen hermoston vasteet tuovat tilannetajua

Aivot ovat osa kehoa eivätkä suinkaan mikään erillinen, itsenäinen saareke. Kehon toiminnot ovat olennainen osa mielen toimintoja. Esimerkiksi tunteista on mahdotonta sanoa, missä mieli alkaa ja missä on mielen ja kehon rajapinta. Ovatko kiivaasti pumppaava sydän ja hikoilevat kädet pelkoa? Vai onko pelko vain aivojen sähkökemiallinen ilmiö, jolloin kehon reaktiot olisivat sen sivuvaikutuksia? Nykyään ihmisyyden ajatellaan olevan kokonaisuus, jossa myös mieli on kehollinen. Keho tarvitsee mieltä, mutta myös ihmisen mieli tarvitsee kehoa ollakseen olemassa.

Kun tunne, mieliala tai toiminnan tila muuttuu, kehossa tapahtuu paljon. Kun pelästymme, pulssi kiihtyy, kädet hikoavat ja verenpaine kohoaa. Kun rauhoitumme, hengitys hidastuu ja syvenee. Näitä kehollisia toimintoja mittaamalla voidaan saada paljon tietoa autonomisen hermoston reaktioista. Osa niistä on niin vaimeita, ettei ihminen itse välttämättä huomaa niitä, mutta ne voidaan silti mitata. Oppimisen kannalta tämä tieto on todella tärkeää, sillä osa toiminnan tiloista, esimerkiksi taistele tai pakene -tila, soveltuu erittäin huonosti uusien asioiden oppimiseen (ks. oppimisen U-käyrä luvussa Leikki-ikäisen maailma täyttyy uuden oppimisesta).

Jotta toiminnan tila voitaisiin määrittää tarkasti, kehollisia muutoksia tulisi mitata monipuolisesti tavallisessa arjessa. Ihanteellista olisi, jos mittausaineistoa olisi sydämen toiminnasta, hengityksestä, käsien hikoilusta, verenpaineesta ja liikkumisesta. Tällainen määrä eri mittauksia on jo aikamoinen arsenaali, ja siihen tarvittaisiin muun

muassa sydänsähkökäyrää (EKG), sykeväliaineistoa (HRV), ihon sähkönjohtavuustestiä (SC tai GSR), askelmittaria ja kiihtyvyyssantureita. Käytännössä useimmiten mitataan vain yhtä tai kahta signaalia kerrallaan. Mittaamalla sydämen toimintaa ja ihon sähkönjohtavuutta saadaan jo erittäin kattava kuva autonomisen hermoston toiminnasta. Mittalaitteet ovat huomaamattomia, tulitikkuaskia pienempiä, ja niitä voi pitää mittaamassa vaikka kokonaisen työ-, koulu- tai päiväkotipäivän ajan. Autonomisen hermoston vasteiden mittaaminen mahdollistaa oppijan tilanteen ymmärtämisen. Kokenut kasvattaja näkee tutun oppijan taistele tai pakene -tilan päällepäin, mutta aina näin ei ole.



Autonomisen hermoston toiminnan mittalaitteet ovat niin pieniä ja käteviä, että niitä voi käyttää kokonaisen työ- tai koulupäivän ajan tai vaikka viikkojakin.

Positiivisen, rennon ja innostuneen oppimistilan saavuttaminen on käytännön opetustyön tärkeä tavoite, ja autonomisen hermoston mittaukset voivat auttaa näissä tavoitteissa. Laaja menetelmävalikoima kehittyi jatkuvasti. Osa mittalaitteista on tarjolla tutkijoiden lisäksi myös kuluttajille. Moni mittaaakin jo aktiivisuusrannekkeella tai älysormuksella stressiään ja liikkumistaan. Olisiko autonomisen hermoston vasteiden mittauksesta apua opetuksen ja kasvatuksen arjessa? Voisiko koulukiusaaminen, matematiikka-ahdistus tai oppitunneilla ilmenevä innostuneisuus näkyä näillä laitteilla, ja voisiko

se suunnata opetus- ja kasvatustyötä? Tämä voi olla tulevaisuudessa hyvinkin yleistä.

Monet näistä kuluttajille suunnatuista itsensä mittaamiseen tarkoitettuista laitteista ovat suomalaisia. On hienoa nähdä, että erityisesti Suomessa on paljon osaamista tällä alalla. Esittelen usein ylpeänä kansainväliselle tutkijayhteisölle niitä keksintöjä ja käteviä laiteratkaisuja, joita Suomessa toimivat yritykset ovat rakentaneet. Ehkä näemme vielä ajan, jolloin ihmiset mittailevat kiinnostuneena omaa aivotoimintaansa ja pyrkivät suojelemaan aivojaan arjessa. Suhtaudun tähän kehitykseen optimistisesti ja toivon, että kaikki oppimisesta kerätty aineisto voisi olla oppijan itsensä käytettävissä ja viedä hänen oppimistaan ja ymmärrystään eteenpäin. Mittausteknologian kehitystä on ilo seurata!