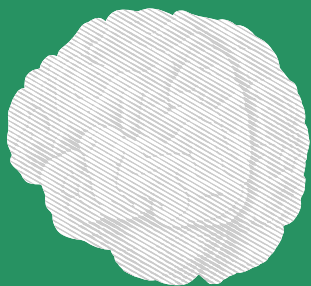


A

T

V



A

A

K

K

O

S

E

T

S. CARLSON & R. HARI (TOIM.)

Aalto-yliopiston julkaisusarja 5/2021
CROSSOVER

Perustieteiden korkeakoulu /
Aalto Brain Centre (ABC) &
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Aalto ARTS Books
Espoo
www.aaltoartsbooks.fi

ISBN 978-952-64-0394-6 (painettu)
ISBN 978-952-64-0412-7 (ePub)
ISBN 978-952-64-0395-3 (pdf)
ISSN 1799-4950
ISSN 1799-4969 (electronic)

© Synnöve Carlson & Riitta Hari
ja kirjoittajat

Graafinen suunnittelu
Jani Pulkka, Camilla Pentti
Typografia ja kansi
Jani Pulkka
Infografiikat ja niiden muokkaus
Camilla Pentti, Juha Haapala,
Ville Mehtonen, Jani Pulkka

Kirjaintyytit
Arnhem, IBM Plex Sans & Mono

Materiaalit
Kansi Ensocoat 230 g/m²
Sisus Scandia Natural 115 g/m²

Otavan kirjapaino Oy, 2021

SISÄLLYS

Esipuhe • 4

1 AIVOJEN RAKENNE JA TOIMINTA • 10

SYNNÖVE CARLSON

Hermoston osat • 13

Aivorunko, autonominen hermosto ja pikkuaivot • 16

Hermosolut ja gliasolut • 18

Hermosolut toiminnassa • 19

Aivolohkot sekä primaariset ja assosiatiiviset aivokuorialueet • 22

Aivopuoliskot ja split-brain-potilas • 27

Aivokuoren hienorakenne • 29

Hermosoluista hermoverkostoihin • 33

Lopuksi • 35

2 IHMISAIVOJEN KUVANTAMINEN? • 38

RIITTA HARI

Tietokonetomografia (TT) • 41

Magneettikuvaus (MK) • 42

Toiminnallinen magneettikuvaus (tMK) • 45

Diffuusiotensorikuvaus (DTI) • 47

Magnetoenkefalografia (MEG) ja elektroenkefalografia (EEG) • 49

Positroniemissiotomografia (PET) • 51

Yksifotoniemissiotomografia (SPECT, SPET) • 53

Lähi-infrapunaspektroskopia (NIRS) • 53

Aivojen stimulaatio • 54

Menetelmien yhteiskäyttö • 57

3 VERKOSTOITUVAT AIVOMME • 60

ENRICO GLERIAN

Aivot ja verkostot • 63

(Aivo)Verkostojen ABC • 63

Aivojen verkostotiede • 65

Ihmisaivojen verkostot • 68

Lopuksi • 70

4 MUOVAUTUVAT AIVOMME, OPPIMINEN JA MUISTI • 72

SYNNÖVE CARLSON JA VIRVE VUONTELA

Aivojen kehityksestä • 75
Aivojen muovautuvuus • 76
Synnynnäinen aistipuutos muovaa aivojen toimintaa • 78
Monenlaista muistia ja muistamattomuutta • 80
Muistipotilas HM • 81
Muisti ja oppiminen muovaavat synapseja: LTP ja LTD • 84
Sensorinen muisti ja työmuisti • 87
Työmuistin solumekanismeista • 87
Ihminen oppii – muuttuvatko aivot • 89

5 AIVOT ERÄÄN FYYSIKON NÄKÖKULMASTA • 94

RISTO ILMONIEMI

Johdanto • 97
Aivoja koskevia kysymyksiä • 99
Aivojen toiminta • 101
Aivot ja fysiikka • 102
Voidaanko ajatuksia lukea • 102
Ajatusten kirjoittaminen • 103
Ajatusten ”kopioiminen” tai tallentaminen • 105
Uutta aivokuvantamisteknologiaa • 106
Uutta magneettistimulaatiotekniikkaa • 109
Jäljellä olevia kysymyksiä • 111

6 SILMÄ AIVOJEN OSANA: ÄLYKÄS VERKKOKALVO PYYDYSTÄÄ FOTONEITA JA ENNUSTAA TULEVAA • 114

AARNI SEPPÄNEN JA PETRI ALA-LAURILA

Verkkokalvo- ja näkö tutkimuksen taustaa maailmalla ja Suomessa • 117
Valoympäristöt, silmän evoluutio ja näköaisti • 120
Verkkokalvon hermosolutyypit ja niiden väliset kytkennät • 122
Verkkokalvo toiminnassa: koodaus ja selektiivisyys • 125
Verkkokalvo välittää jopa yksittäisten valokvanttien synnyttämiä signaaleja • 126
Älykäs verkkokalvo laskee liikettä ja ennustaa tulevaa • 128
Yhteen veto • 131

7 LIHAKSET LIIKUTTAVAT MAAILMAA • 134

HARRI PIITULAINEN

Aivot – liikkeen ohjauskeskus • 138
Lihaksiston tehtävät • 141
Lihasten hienorakenne • 142
Lihasten ohjaus • 143
Proprioseptiikka ja selkäytimen liikeohjaus • 145
Lopuksi • 148

8 KIELELLINEN PROSESSOINTI • 150

RIITTA SALMELIN

Kieli ja ihminen • 153

Kielen evoluutiosta, kehityksestä ja ominaisuuksista • 154

Kielen aivoedustuksesta • 156

Mitä aivokuvantaminen kertoo kielen prosessoinnista terveissä ihmisaivoissa? • 157

Aiemman tiedon vaikutus kielellisen viestin ymmärtämiseen • 160

Lukemisen kehityksestä ja häiriöistä • 162

Kvantitatiiviset kielimallit ja koneoppiminen aivotutkimuksen uusina työkaluina • 163

9 ELOKUVA ÄRSYKKEENÄ AIVOKUVANTAMISTUTKIMUKSISSA • 168

IIRO P. JÄÄSKELÄINEN

Elokuvat tarjoavat huikeita mahdollisuuksia tunnereaktioiden tutkimuksessa • 173

Ajallisen prosessoinnin aikaikkunoiden hierarkia aivoissa • 175

Tunteiden samankaltaisuus näkyy aivojen toiminnan samankaltaisuutena • 176

Tunteita voidaan lukea aivoaktiviteetista • 177

Elokuviin käyttö sosiaalisen kognition tutkimuksessa • 178

Menetelmäkehitys on avain jatkuviin edistysaskeliin • 180

Johtopäätökset • 181

10 TUNTEELLISET AIVOT • 184

LAURI NUMMENMAA JA HEINI SAARIMÄKI

Ihmismielen termostaatti • 187

Tunteiden eloonjäämisälykyys • 188

Tunteiden neuroniverkot • 190

Tunteet saavat kehon liikkeelle • 193

Tunteet tulevat näkyviksi • 195

Miksi tunteet näkyvät ulospäin? • 197

Lopuksi • 198

11 MISSÄ TIETOISUUS LUURAA? • 202

LAURI PARKKONEN

Johdanto • 205

Mitä on tietoisuus? • 205

Tietoisuuden filosofinen ongelma • 206

Tietoisuuden tunnistaminen • 208

Tietoisuuden tutkiminen • 211

Reflektiivisen tietoisuuden malleja • 214

Yhteenveto • 216

12 AIVOT PINTEESSÄ – NEUROLOGISTEN SAIRAUKSIEN KUVANTAMINEN • 218

NINA FORSS

Neurologisen potilaan tutkiminen • 221
Rakenteellinen ja dynaaminen aivokuvantaminen • 222
Toiminnallinen aivokuvaus • 224
Krooninen kipu • 225
Vireystilan ja tajunnantason häiriöt • 228
Lopuksi • 231

13 AIVOJEN JA MIELEN SAIRAUKSISTA JA HYVINVOINNISTA • 234

TUUKKA RAIJ

Miksi tutkia aivoja, jos halutaan ymmärtää mieltä? • 237
Psykkisten oireiden vastineet aivoissa • 239
Miksi mielellä on taipumus häiriintyä? • 244
Miten psykiatriset hoidot vaikuttavat aivoihin? • 245
Mielenterveys tulevaisuudessa • 247

14 TIEDÄMMEKÖ MITEN IHMISAIVOT TOIMIVAT? • 250

RIITTA HARI

Miten nähdä iso kuva? Liikkumisesta aistimiseen ja vuorovaikutukseen • 255
Älykäs ympäristö • 263
Kutakin viiraa laillaan (hiitolalainen sanonta) • 264
Sosiaalisen vuorovaikutuksen keskeisyys • 264
Palataan perusasioihin • 267
Yhteenveto • 269

15 TAIDE, NEUROTIEDE JA LUOVUUS – MITÄ VOIMME OPPIA TOISILTAMME? • 272

RIITTA HARI

Kun eri alat kohtaavat • 275
Näköaistin toiminnasta taiteen kannalta • 278
Taide mielen notkeuttajana • 279
Neuroestetiikka • 280
Miten taide voi koskettaa ja liikuttaa? Puhummeko edes samaa kieltä? • 281
Voimmeko tietää toistemme mielensisällöistä, kvalioista? • 282
Neurotieteilijän lyhyt taidehistoria • 283
Luovuudesta, ajattelusta ja aivoista • 286
Loppumietteitä neurotieteen ja taiteen suhteista • 290

Kuvien tekijänoikeudet • 295

Hakemisto • 299

LUKU

10

TUNTEELLISET AIVOT

LAURI NUMMENMAA JA HEINI SAARIMÄKI

LAURI NUMMENMAA

FT, on laillistettu psykologi ja lääketieteellisen kuvantamisen professori Turun PET-keskuksessa. Nummenmaa tutkii tunteiden ja tunne-elämän häiriöiden taustalla olevia keskushermostollisia mekanismeja aivokuvantamismenetelmien avulla.

HEINI SAARIMÄKI

FT, on neurotieteilijä ja Suomen Akatemian tutkijatohtori Tampereen yliopistossa. Saarimäki tutkii tunteita aivoissa, kehossa ja mielessä sekä sosioemotionaalisen tiedonkäsittelyn kehitystä lapsuudesta aikuisuuteen. Hän yhdistelee tutkimuksessaan aivokuvantamista, koneoppimista, laadullisia menetelmiä sekä luonnollisen kaltaisia ärsykeitä kuten elokuvia ja tarinoita.

IHMISMIELLEN TERMOSTAATTI

Ihmiselämä on täynnä nautintoja, onnea ja iloa, mutta ajoittain myös syvää murhetta, tuskaa ja ahdistusta. Tunteet värittävät päiviämme toisinaan kirkkailla ja toisinaan synkillä sävyillä, ja monesti joudumme ymmällemme tunteiden edessä: miten on mahdollista, että emme olekaan koko ajan oman elämämme ohjaimissa. Repivä raivo saattaa saada meidät riitelemään puolisolomme kanssa, tai silmitön nautintojen tavoittelu voi johtaa ylensyöntiin tai päihteiden käyttöön. Usein mietimmekin, miksi emme voi olla kuin U.S.S. Enterprisen vulcanilainen tiedeupseeri Mr. Spock, joka kykenee pitämään tunteensa täydellisesti hallinnassaan ja navigoimaan avaruuden halki pelkästään rautaiseen logiikkaansa luottaen?

Lukuisat potilailla ja terveillä vapaaehtoisilla tehdyt tutkimukset kuitenkin osoittavat, että tunteiden katoaminen ei tee elämästä pelkästään tasaista, vaan suorastaan latteaa ja monessa tapauksessa jopa vaarallista tai mahdotonta. Tunte-elämän häiriintyminen on tyypillinen oire vakavissa psykiatrisissa sairauksissa kuten masennuksessa, skitsofreniassa ja yleistyneessä ahdistuneisuushäiriössä. Pakonomainen nautintojen tavoittelu on puolestaan päihderiippuvuuksien tunnusmerkki. Myös arkipäivän tunteet vaikuttavat monella tavalla hyvinvointiimme. Myönteisten tunteiden toistuva kokeminen on yhteydessä parempaan terveyteen, suurempiin sosiaalisiin verkostoihin ja korkeampaan sosiaaliseen asemaan (Lyubomirsky ym. 2005). Kielteiset tunteet ovat puolestaan merkittävä riskitekijä sekä psyykkiselle että somaattiselle terveydelle (Suinn 2001). On selvää, että tunteet ovat ihmisille välttämättömiä, mutta miksi?

Ihmiset ja muut eläimet toimivat monimutkaisissa, jatkuvasti muuttuvissa ympäristöissä, jotka ovat täynnä sekä vaaroja että mahdollisuuksia oman ja muiden lajitoverien hyvinvoinnin edistämiseen ja lisäämiseen. Perustarpeet ja -toiminnot, kuten lisääntyminen ja ravinnon hankkiminen, ovat välttämättömiä kaikille eliölajeille. Kaikkien eläinten on myös kyettävä välttämään haitallisia ympäristöjä, kuten sopimattomia lämpötiloja, myrkyjä ja pilaantuneita ruokia. Saaliseläinten on osattava välttää petoeläimiä ja opittava varomaan sellaisia paikkoja ja ympäristöjä, joissa pedot vaanivat. Lisäksi nisäkkäiden on välttämättä huolehdittava jälkeläisistään, jotta nämä säilyisivät hengissä. Kognitiivinen tiedonkäsittely on kapasiteetiltaan rajallinen, eikä se pysty millään hoitamaan kaikkia näitä (ja lukemattomia muita) eloonjäämistehtäviä. Tämän vuoksi tarvitaan mekanismi, joka valikoi ja suodattaa eloonjäämistavoitteiden kannalta keskeiset tapahtumat ja reagoi niihin. Tunteet säätelevät kaiken aikaa käyttäytymistämme juuri tällä tavalla. Ne ohjaavat huomaamattamme sekä suuria päätöksiä, kuten parinvalintaa ja perheen perustamista, että myös pienempiä arkielämän tekoja, kuten ruokailutottumuksia ja musiikkimieltymyksiä. Tällainen taustalla toimiva päätöksentekomekanismi on keskeinen ihmisten ja kaikkien muiden eläinten

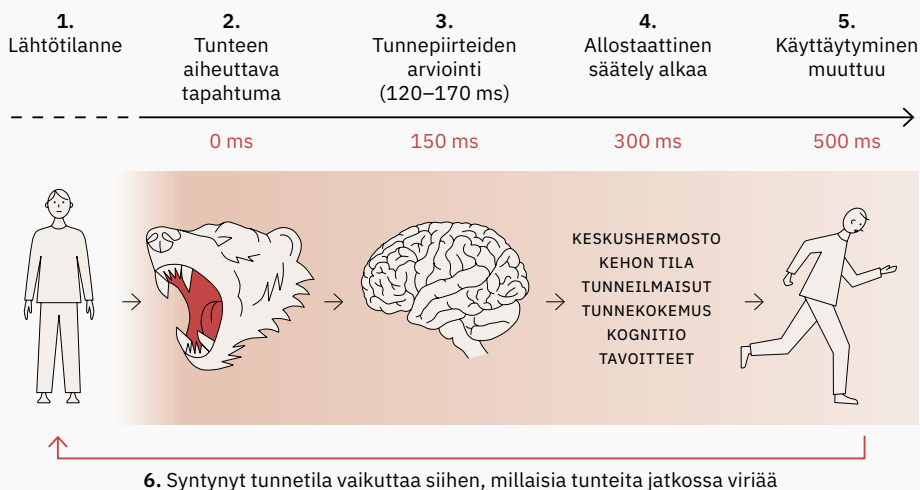
toiminnanohjauksessa. Vaikka meistä tuntuu siltä kuin tekisimme elämäämme koskevat suuret ja pienet päätökset tietoisesti ja järkiperustaisesti, kuljemme suurimman osan elämästämme tunteiden autopilotti päällä. Potilastutkimuksissa onkin huomattu, että tunteiden katoaminen esimerkiksi aivovaurion seurauksena ”oikosulkee” kyvyn tehdä yksinkertaisiakin päätöksiä (Bechara ym. 2000). Kun tunteiden ylläpitämä autopilotti katoaa, ei kognitiolla pystytä paikkaamaan päätöksenteon puutteita.

TUNTEIDEN ELOONJÄÄMISÄLYKKYYS

Se, millaisia olemme ja mitä koemme ja tunnemme, ei ole sattumaa, vaan ihmis-aivojen toiminnan lainalaisuudet, tunteet mukaan lukien, ovat lajinkehityksen tulosta. Nautimme makeista ja rasvaisista ruoista, mikä varmistaa elimistön energiantarpeen täyttymisen. Rakastamme seksiä, koska sen avulla sukumme jatkuu. Toisaalta kammoamme epävarmuutta, kipua ja vaarallisia tilanteita, koska ne saattavat päättää elämämme ennenaikaisesti. Kaikkialla maailmassa ihmiset myös elävät ryhmissä, jotka liimautuvat yhteen voimakkaiden vastavuoroisten lämpimien tunteiden ansiosta. Myös monet kulttuurin tuotteilta vaikuttavat tunnekäyttäytymisen muodot, kuten aggressio ja hoiva, ovat niin yleismaailmallisia, ettei niiden syntyminen opitun kulttuuriperinnön ansiosta ole mahdollista.

Tunteet toimivat tällaisissa ja monissa muissa tilanteissa automaattisena ”eloonjäämisälykkyytenä” kohdentamalla mielen ja kehon rajallisia resursseja vastaamaan ympäristön jatkuvasti vaihtuviin haasteisiin. Yksittäisiä tunteita voidaankin pitää tiettyihin eloonjäämisen haasteisiin vastaamiseen kehittyneinä, nopeasti muuttuvina aivojen ja kehon toiminnallisina tiloina (Adolphs 2017). Tunteet eivät siis ole pelkkiä kokemuksia (”olen surullinen”), vaan kokonaisvaltaisia organismin toimintaa systeemitasolla muuttavia tiloja. Niiden kesto vaihtelee muutamista sekunneista useisiin minuutteihin, jopa tunteihin. Pidempikestoista taipumusta kokea tiettyntyyppisiä tunteita, esimerkiksi vihaa tai pelkoa, kutsutaan mielialaksi.

Koska evoluutio karsii tarpeettomat tai hyödyttömät ratkaisut pois, on selvää, että tunteet ovat olleet eri lajeille hyödyllisiä haki vuosimiljoonien, sillä ne ovat periytyneet sukupolvelta toiselle. Halusimme tai emme, meidän on mahdotonta päästä kokonaan irti siitä tunne-elämästä, jonka evoluutio on aivoihimme ohjelmoinut. Oppiminen ja elinympäristö voivat vaikuttaa siihen, mikä meissä aiheuttaa tunteita, mutta aivojen rakenne asettaa tiukat rajat varsinaisille tunteille. Meidän on siksi mahdotonta kokea sellaisia tunteita, joita aivot eivät ole kehittyneet tuottamaan, ja toisaalta kaikkialla maailmassa ihmiset kokevat samankaltaisia



Kuva 1. Aivojen ja kehon tunnesilmukka. Tunteet säätelevät jatkuvasti organismin sisäistä tilaa siten, että se vastaa parhaiten ympäristön vaatimuksia. Näin syntyvä aivojen, kehon ja mielen tila vaikuttaa puolestaan siihen, millaisia tunnereaktioita seuraavaksi viriää. Tunteisiin vaikuttaa tunteen aiheuttavan tilanteen lisäksi myös yksilön motivaatio, tulkinta ja mieliala.

tunteita, vaikka he voivatkin kutsua niitä eri nimillä. Lukuisat eläin- ja ihmisko-keet osoittavat, että tunteiden tuottama eloonjäämisälykyys on samankaltaista paitsi eri ihmisten, myös eri eläinlajien välillä (Panksepp 1998; LeDoux 2000).

Tunteet vaikuttavat kunkin tilanteen kannalta olennaisen aistitiedon valintaan ja auttavat suuntaamaan rajallisen tiedonkäsittelykapasiteettimme kullakin hetkellä eloonjäämisen kannalta tärkeimpään tehtävään (Anderson ja Adolphs 2014). Tunteita voidaan ajatella eräänlaisina väliportaan johtajina, jotka ohjaavat tiedonkäsittelyn hierarkiassa sekä alempana (homeostaasi, allostaaasi, fysiologia...) että ylempänä (kognitio, tavoitteet...) olevien järjestelmien toimintaa (kuva 1). Kun tunnetila saa alkunsa, tapahtuu joukko automaattisia muutoksia kasvonilmeissä, puheäänissä, autonomisen hermoston toiminnassa, käytöksessä, muistissa ja kognitiossa. Tunteiden englanninkielinen nimitys *emotion* on johdettu latinan kielen sanasta *emoveo*, joka tarkoittaa liikkeelle laittamista tai liikuttamista. Tämä kuvaa hyvin tunteiden allostaatista tehtävää, eli käyttäytymisen muuttamista ulkoisten vaatimusten mukaisesti kehon sisäisen tasapainon ylläpitämiseksi. Tunteet eivät ylläpidä sisäistä tilaa ennalta määrättyissä rajoissa kuten homeostaasi, vaan valmistavat elimistöä ulkomaailman kulloisiakin vaatimuksia kohtaan.

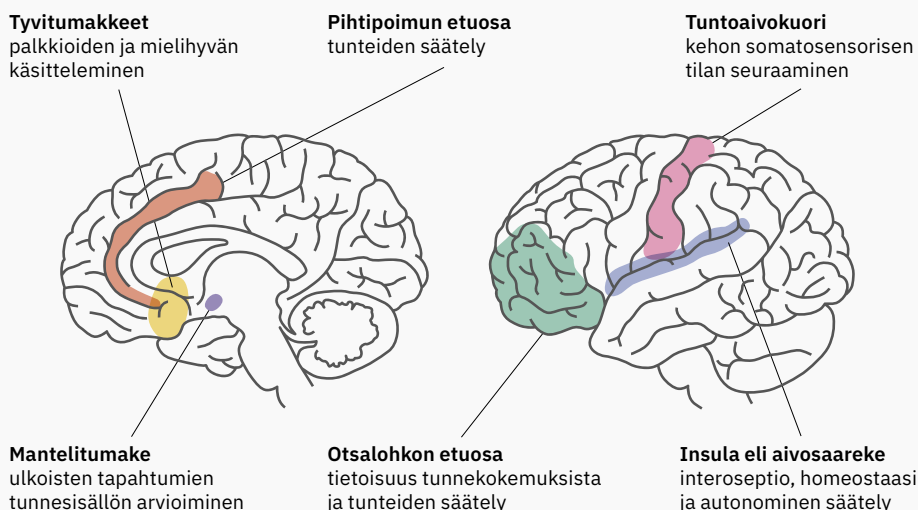
Tunteiden säätelemiä osatoimintoja kutsutaan usein osuvasti komponenteiksi: tunteet koostuvat monesta osasta, joiden yhteisvaikutuksena organismin toiminta muuttuu. Ympäristössä havaittu uhka, vaikkapa öisellä kadulla peräämme

hyökkäävä nuorisojengi, saa sykkeen kohoamaan, toiminnan suuntautumaan pakenemiseen ja tarkkaavaisuuden kohdistumaan esimerkiksi pakoreitin valintaan ja turvapaikkoihin. Lisäksi mieleen nousee muistikuvia mahdollisista aikaisemmista samankaltaisista tai muista vaaraa aiheuttaneista tilanteista. Yhdessä nämä muutokset muodostavat tunnetilan, joka voidaan kokea tietoisesti ja joka voidaan nimetä esimerkiksi peloksi.

TUNTEIDEN NEURONIVERKOT

Aivokuvantamistutkimusten perusteella tiedämme, että erilaiset ajattelun ja tunne-elämän muutokset näkyvät aivotointojen muutoksina. Vastaavasti tiedämme, että aivotointojen muuttuminen ohimenevästi esimerkiksi transkraniaalisten magneettipulssien (ks. LUKU 2) jälkeen tai pysyvästi aivovaurioiden seurauksena voi vaikuttaa ajatus- ja tunne-elämään voimakkaastikin. Koska aivot ovat ääreishermoston, verenkierron ja sisäerityksen välityksellä yhteydessä koko kehoon, tällaiset vaikutukset näkyvät myös kehon toiminnan muuttumisena.

Hermosolujen muodostamat verkostot muovautuvat jatkuvasti oppimisen ja muun toiminnan myötä eivätkä aivot tai mikään niiden osa toimi yksittäisen toisistaan irrallisen ”modulin” tavoin. Vaikka esimerkiksi kuulojärjestelmä on isoai-vokuorella keskittynyt aivojen ohimolohkoihin, se koostuu tosiasiaassa lukuisista toisiinsa liittyvistä osista ja radoista, jotka kulkevat sisäkorvasta aivorungon tumakkeiden kautta talamukseen ja edelleen ohimolohkon kuuloaivokuorille. Sieltä tietoa välitetään edelleen esimerkiksi puheen käsittelyyn tai liikkeiden suunnitteluun erikoistuneille aivoalueille, jotka voivat vuorostaan säädellä kuuloaivokuoren toimintaa. Kuuloaistimus syntyy siis hajautetusti aivoissa. Samalla tavalla tunteet toimivat hajautetusti koko aivoissa (kuva 2). Mikään yksittäinen aivoalue ei vastaa minkään tietyn tunteen käsittelystä, vaan aivoissa on lukuisia hajautettuja järjestelmiä, jotka vastaavat tunteiden eri komponenttien (kehon toiminnan muuttaminen, tietoiset tunnekokemukset, jne.) tuottamisesta (Kober ym. 2008; Saarimäki ym. 2018). Näiden järjestelmien yhteisvaikutuksena syntyy erilaisia fysiologian ja käyttäytymisen muutoksia eli tunteita. Eri tunteita ei kuitenkaan aivojen tai kehon toiminnan perusteella pysty erottelemaan tarkasti, vaan rajat ovat jossain määrin häilyviä. Tämä on käyttäytymisenkin kannalta ymmärrettävää, sillä monessa eri tunteiden ohjaamassa käyttäytymisessä tarvitaan osittain samanlaisia aivojen ja kehon toiminnan muutoksia. Esimerkiksi aggressio ja pelko edellyttävät molemmat kehon toimintojen ja tarkkaavaisuuden tehostamista, mutta aggressiossa toiminta suuntautuu hyökkäämiseen ja pelossa pakenemiseen.



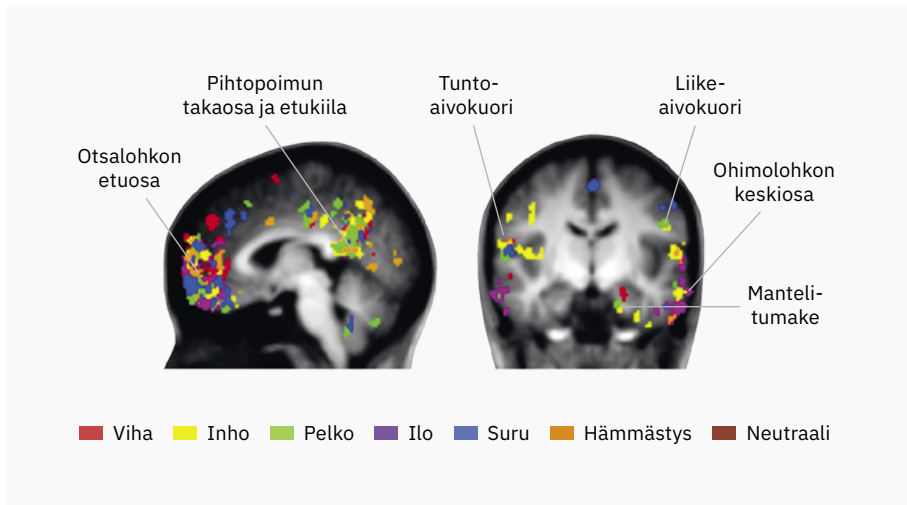
Kuva 2. Tunteisiin ja niiden säätelyyn liittyviä aivoalueita.

Tunteiden hermostollisten mekanismien tutkimus otti merkittävän harppauksen toiminnallisten aivokuvantamismenetelmien kehittyessä 1990-luvulla. Tätä ennen tutkimus oli rajoittunut aivovauriopotilaiden tutkimiseen ja erilaisiin lääkekokeisiin. Ensimmäiset terveillä vapaaehtoisilla tehdyt kuvantamistutkimukset osoittivat, että ihmisten tunteet perustuvat elintoimintojen allostatiin säätelyyn (hypotalamus keskiaivoissa) sekä kehosta tulevien somaattisten ja interoseptiivisten (tuntoaivokuori, aivosaaareke eli insula, pihtipoimun etuosa) signaalien käsittelyyn erikoistuneiden alueiden toimintaan. Samankaltainen joukko alueita aktivoituu useimpien tunteiden aikana (Saarimäki ym. 2016; Hori-kawa ym. 2020). Näihin alueisiin kuuluvat esimerkiksi aivokuoren keskilinjän alueet, tuntoaivokuori, sekä iso-aivokuoren alapuolella sijaitsevat mantelitumake, aivorunko ja talamus.

Mikään näistä aivoalueista ei vastaa vain tunteiden käsittelystä, vaan ne osallistuvat myös monien muiden prosessien ohjaamiseen ja säätelyyn. Samoin mikään yksittäinen alue ei ”tuota” mitään yksittäistä tunnetta. Esimerkiksi aivovauriopotilaiden tutkimuksissa ei ole pystytty osoittamaan, että tietyn aivoalueen vaurioituminen johtaisi järjestelmällisesti tietyn tunteen muutoksiin. Sen sijaan tiedetään, että paikalliset aivovauriot voivat muuttaa tiettyä tunteisiin yleisesti kuuluvaa mekanismia tai toiminnallista komponenttia. Esimerkiksi otsalohkon vauriot sekä otsa- ja ohimolohkorapheet heikentävät suunnitelmallisuutta ja tunteiden säätelykykyä. Otsalohko lienee välttämätön tunteiden säätelylle,

ja sen vaurioituminen johtaa järjestelmällisesti impulsiivisuuteen ja toiminnanohjauksen häiriöihin. Aivosaaressen vaurio heikentää motivaatiota sekä kykyä seurata tietoisesti kehon tiloja, mantelitumakkeen vauriot aiheuttavat laaja-alaisia puutteita tunnepitoisiin tilanteisiin reagoimisessa, ja tyvitumakkeiden dopamiinitoiminnan heikentyminen esimerkiksi Parkinsonin taudissa aiheuttaa motivaatiotilojen muutoksia.

Lisäksi tiedetään, että näiden järjestelmien kemialliseen toimintaan vaikuttaminen muuttaa valikoivasti ihmisen tunne-elämää. Esimerkiksi opiaatit, kuten heroiini ja morfiini, rauhoittavat käyttäytymistä, kun taas dopamiinijärjestelmään vaikuttavat aineet, kuten amfetamiini, kiihdyttävät toimintaa; serotoniinijärjestelmään vaikuttavat lääkkeet puolestaan vaikuttavat mielialaan. Yksittäisten tunnetilojen voidaan ajatella syntyvän tunteiden osakomponenttien yhteisvaikutuksena. Niinpä ihmisen tunnetila on voitu luotettavasti tunnistaa hänen aivotoimintaansa luokittelevan koneoppimisalgoritmin avulla (kuva 3), erityisesti silloin, kun algoritmille syötettiin tietoa laaja-alaisesti aivojen eri osien toiminnasta (Saarimäki ym. 2016, 2018). Tunteita voidaankin ajatella aivojen ja mielen taustatilana, joka vaikuttaa siihen, miten kaikki muut aisti- ja kognitiiviset järjestelmämme toimivat.



Kuva 3. Tunteiden ”dekoodaaminen” aivoista. Koneoppimisalgoritmien avulla voidaan tunnistaa, mitä tunteita ihminen on kulloinkin kokenut. Kuvan värit esittävät miltä aivojen alueilta kunkin tunteen dekoodaaminen onnistui parhaiten. Kaikkien tunteiden edustus on aivoissa hajautettua, eikä koneoppimisalgoritmin perusteella pystytä muodostamaan yksinkertaista vastaavuutta yksittäisten tunteiden ja yksittäisten aivoalueiden välillä. MUOKATTU JULKAISUSTA SAARIMÄKI YM. (2016).

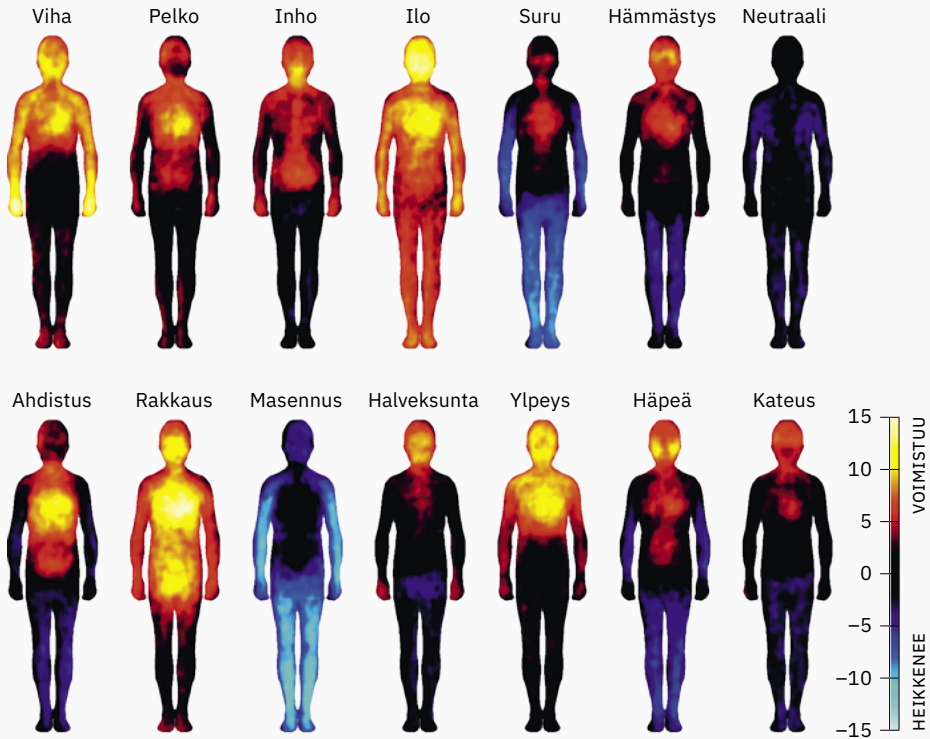
TUNTEET SAAVAT KEHON LIIKKEELLE

Tunteiden ja kehon toiminnan välillä on vastavuoroinen yhteys. Tunteet muuttavat kehon tilaa – esimerkiksi pelko jähmettää paikalleen ja saa sydämen sykkimään kiivaammin, ylpeys saa ryhdin oikenemaan, seksuaalinen kiihottuminen saa veren virtaamaan sukupuolielimiin ja herkullisen kakkupalan näkeminen kiihdyttää syljeneritystä ja valmistelee ruoansulatuselimistöä pilkkomaan ruuan proteiinit, hiilihydraatit ja rasvat käytettäviksi ja varastoitaviksi. Tällaiset kehon toiminnan muutokset ovat merkittäviä tietoisten tunnekokemusten virittäjiä, ja monesti tunteet välittyvätkin kehon kautta. Iho, suurin aistinelimemme, on tärkeä erityisesti kivun ja nautinnon tuottamisen kanavana. Harva asia aiheuttaakaan niin voimakkaita kokemuksia kuin vaikkapa viiltävä kipu astuessamme lasinsirpaleen päälle tai toisaalta puolison hellä kosketus loikoillessamme sängyssä raukeina.

Tällainen tunteiden kehollisuus saa tunteet myös ”tuntumaan” toisenlaisilta kuin mikään muu mielen sisältö. Hapenpuutteen aiheuttama paniikki, lamaanuttava suru tai rinnassa läikehtivä rakkaus tuntuvat kokemuksina laadullisesti erilaisilta juuri siksi, että niihin liittyy voimakkaita kehon tilan muutoksia. Ankarakaan älyllinen ponnistelu ei saa aikaan yhtä voimakasta tapahtumisen tunnetta.

Pitkäkestoinen tunnekuorma voi vaikuttaa suoraan kehon hyvinvointiin. Pitkään jatkuneet kiukun ja vihan tunteet ja niihin liittyvä kohonnut stressihormonitaso kuormittavat elimistöä ja ovat riskitekijöitä sydän- ja verisuonitaudeille (Suinn 2001). Stressin laukaisema puolustusreaktio ja valpastuminen näkyvät mantelitumakkeen toiminnan voimistumisena. Eräässä tutkimuksessa mitattiin lähes kolmensadan osallistujan aivojen ja sydämen toimintaa positroniemissiotomografian (PET; ks. LUKU 2) avulla, minkä jälkeen potilailla ilmeneviä sydän- ja aivoinfarkteja seurattiin tulevien vuosien ajan. Mantelitumakkeen aktiivisuus ennusti todennäköisyyttä saada sydänkohtaus tai aivoinfarkti (Tawakol ym. 2017). Toisaalta myös kehon toiminnat vaikuttavat tunne-elämään ja hyvinvointiin kuukausien ja vuosien aikajänteellä. Säännöllinen aerobinen liikunta madaltaa stressitasoa sekä ahdistuksen ja masennuksen tunteita (Peluso ym. 2005), ja toisaalta ylensyöminen ja lihavuus altistavat mielialahäiriöille ja muille psyykkisille sairauksille (Luppino ym. 2010).

Kehon tila vaikuttaa myös yleisesti tunteisiin ja mielialaan, ja väsymys tai pienikin flunssa saa helposti mielen matalaksi. Tällaisia kehoon liittyviä mielen muutoksia on tutkittu mittaamalla rokotusten vaikutuksia mielialaan. Esimerkiksi lavantautirokotus aiheuttaa lievän tulehdusreaktion, jonka seurauksena rokotuksen saajan mieliala laskee, joskin enintään muutaman päivän ajaksi. Koska mieliala laskee vasta muutaman tunnin kuluttua rokotteen antamisesta, kyse on todellakin tulehduksen aiheuttamasta mielialamuutoksesta eikä silkasta



Kuva 4. Tunteiden kehokartat. Jokaiseen tunteeseen liittyy omanlaisensa kokemuksellinen ”sormenjälki” kehossa. Tietoiset tunnekokemukset perustuvat osittain tällaiseen kehon toiminnan muutosten tiedostamiseen. Kuvan kehokartat perustuvat 302 osallistujan itsearviointien keskiarvoihin. MUOKATTU JULKAISUSTA NUMMENMAA YM. (2014).

”piikkikammosta”, joka saattaisi madaltaa mielialaa rokotushetkellä tai heti sen jälkeen (Harrison ym. 2009).

Tällaiset kehon toimintamuutokset ovat tärkeä tekijä tietoisien tunnekokemusten (kuten ”olen iloinen”) syntymekanismissa: koemme olevamme iloisia tai surullisia osittain siksi, että kehon toimintaa seuraava interoseptiivinen järjestelmä huomaa tunnereaktion muuttaneen kehomme tilaa (kuva 4). Kehoa koskeva, aivosaaressa käsiteltävä interoseptiivinen tieto sekä tuntoaivokuorilla käsiteltävä somatosensorinen tieto ovat keskeisiä tunnekokemuksen rakennuspalikoita – monet tietoiset tunnekokemukset perustuvat nimenomaan siihen, että huomaamme kehomme tilan muuttuneen esimerkiksi säpsähdyksen tai vatsanväenteiden takia. Emme tietenkään tule tietoisiksi kaikista kehon toimintamuutoksista tai läheskään kaikista tunteistamme. Tietoisuutemme sisältöjä ohjaavan ja poimivan tarkkaavaisuuden on pystyttävä suodattamaan tarpeet-

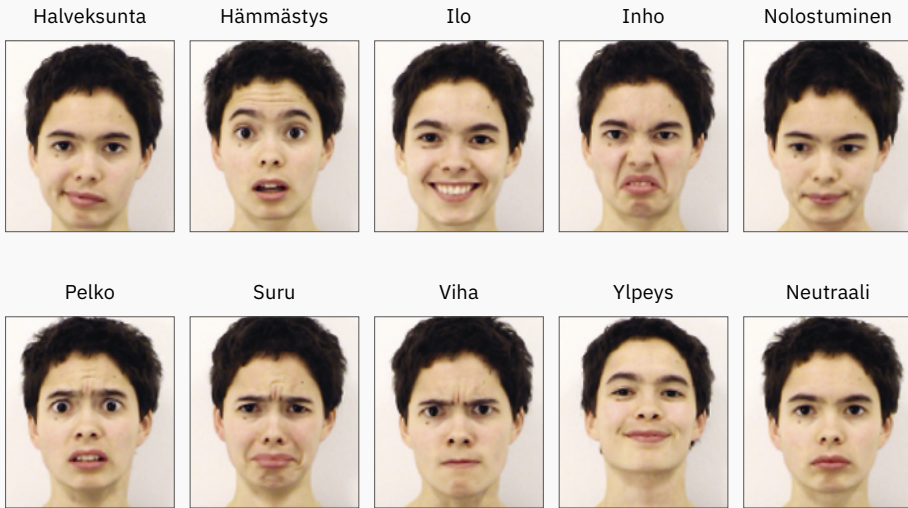
tomat ja heikot tunnesignaalit pois tietoisuudestamme, jonka kapasiteetti on rajallinen. Tunteet voivat ohjata päätöksentekoamme myös tällaisina heikkoina taustasignaaleina, ja ainoastaan tunteiden voimakkuuden tai tärkeyden ylitettyä tietyn kynnyksen tulemme niistä tietoisiksi. Tietoinen tunnekokemus on tärkeä toiminnanohjauksen apuneuvo, sillä se viestii meille, että kognitio, päättely ja toiminnanohjaus on otettava tunteiden avuksi eloonjäämishaasteita ratkottaessa.

TUNTEET TULEVAT NÄKYVIKSI

Ajattelu, mieleen painaminen ja monet muut kognitiiviset toiminnot ovat yksityisiä ja tiukasti mielen sisäisiä. Ne eivät näy ulospäin, ellei ihminen itse satu kertomaan, mitä hän ajattelee. Tunteet ovat sen sijaan monilta osin julkisia – ne aiheuttavat usein automaattisia ja ulospäin havaittavia muutoksia yksilön liikkeissä, asennoissa, eleissä, äänessä, kosketuksessa ja katseessa. Tunnetilan aiheuttamat fysiologiset muutokset näkyvät yksilön käyttäytymisessä. Esimerkiksi kaukaisuudessa vaanivaa saalistajaa pelästynyt rotta jähmettyy paikoilleen, jolloin saalistajan on vaikeampi nähdä sitä. Pieni lapsi empii ja lähestyy varoen uutta leikkitoiveria päiväkodin pihalla, kun taas lentoasemalla rakastavaiset juoksevat sydän pamppaillen syleilemään toisiaan pitkän eron jälkeen.

Tieteellinen kiinnostus tunneilmaisua kohtaan alkoi, kun Charles Darwin (1809–1882) raportoi vuonna 1872, että sekä ihmisillä että eläimillä kasvojen ja kehon lihaksisto muuttuu eri tavoin vaikkapa vihan tai pelon aikana. Darwinin havainnot loivat pohjan 1950-luvun loppupuoliskolla kehittyneille perustunneteorioille, joiden mukaan erilaisten tunneilmaisujen taustalla on keskenään erilaisten keskushermoston tunnejärjestelmien toiminta, joka tunneilmaisujen kautta tulee joskus näkyväksi. Psykologi Paul Ekmanin varhaiset tutkimukset osoittivat, että samat prototyyppiset kasvonilmeet liitetään samoihin tunnekategorioihin eri kulttuureissa. Myöhemmin vastaavia tuloksia on saatu esimerkiksi äänen tai kehon asentojen avulla tapahtuvasta tunteiden ilmaisusta. Kulttuurista riippumatta ihmiset siis tunnistavat ja ilmaisevat tiettyjä perustunteita – käytetyimmän listauksen mukaisesti vihaa, surua, iloa, hämmästystä, pelkoa ja inhoa. Myöhemmin perustunteiden joukkoa on laajennettu – muutkin kuin yllä mainitut kuusi tunnetta (kuten esimerkiksi halveksunta, noloistuminen, ja ylpeys) lasketaan usein perustunteiksi (kuva 5).

Myös ihmisen lähimmillä lajitovereilla on perustunteille tyypilliset ilmaisunsa, ja jo pienet lapset tunnistavat ja ilmaisevat perustunteita. Onkin päätelty, että perustunteet ovat ainakin osittain biologisesti määräytyneitä. Kulttuurin ja oppimisen myötä tunteiden ilmaisuun syntyy tietenkin paikallisia murteita –



Kuva 5. Yleisimpiä perustunteisiin liittyviä kasvonilmeitä. Ilo ja ylpeys liittyvät selkeästi myönteisiin tunteisiin, hämmästyks voi puolestaan olla myönteistä (kuulit, että voitit lotossa) tai kielteistä (saat sairaalasta puhelun, jossa kerrotaan puolisosi menehtyneen). Loput tunteista ovat selkeästi kielteisiä. MUOKATTU JULKAISUSTA VAN DER SCHALK YM. (2011).

esimerkiksi Itä-Aasiassa pelon ilmaisut ovat säilyttään erilaisia kuin mihin me olemme tottuneet, ja työpaikoilla tai joissakin perheissä käyttäytymiskoodi saat- taan vaimentaa vihan ilmaisut tai poistaa ne kokonaan tunnekartastosta. Lisäksi samankaltainen kasvonilme voi ilmaista erilaisia sisäisiä tunnetiloja ja kasvon- ilmeen tunnistaminen riippuu aina myös viitekehystä – esimerkiksi ihmisten on vaikeaa erottaa kipua ilmaisevia kasvoja voitonriemuisista tai seksuaalista nautintoa ilmaisevista kasvoista, jos koko muu viitekehys (kehon asennot, tilan- netekijät, ympäristö) on poistettu kuvista. Tunneilmaisut eivät siis koskaan kerro täysin luotettavasti yksilön tunnetilasta. Hyvä esimerkki tästä on asiakaspalve- lijoiden päivittäin satoja kertoja väläyttämä kohtelias hymy, jonka ei parhaalla tahdollakaan voi kuvitella kertovan nautinnosta, mutta joka on tarkoitettu vies- timään asiakkaalle sosiaalista hyväksyntää.

Tunteiden keholliset ilmaisut voivat olla yhtä tärkeitä kuin kasvonilmeetkin (Witkower ja Tracy 2019). Esimerkiksi raivoissaan hyppivän ihmisen huomaa jo kaukaa ja hänen karjahtelunsa kuuluu myös sinne, mistä ihmiseen ei ole suoraa näköyhteyttä. Mitä useammasta lähteestä saamme tietoa toisen ihmisen tunteis- ta, sitä luotettavammin pystymme niitä arvioimaan. Sekä kasvoista että kehon asennoista poimittuja tunteiden ilmaisuja käsitellään kokonaisvaltaisesti, ja ne integroidaan yhdeksi tunnetilaa kuvaavaksi havainnoksi.

Aivokuvantamistutkimuksissa on osoitettu, että tunneilmaisuihin liittyvä tieto käsitellään nopeasti havainnon jälkeen. Apinoilla tehtyjen yksittäissolurekisteröintien mukaan neutraalien ja tunteita ilmaisevien kasvojen käsittely alkaa eriytyä aivoissa jo noin 100 millisekunnin kuluttua ilmeen havaitsemisesta. Elektroenkefalografiatutkimuksissa (EEG; ks. LUKU 2) on havaittu, että ihmisillä ilmeiden käsittely kestää vain muutamia kymmeniä millisekunteja pidempään (Batty ja Taylor 2003). Ilmeitä tunnistettaessa kasvoihin ja kehoon liittyvää tietoa käsittelevät ohimo- ja takaraivolohkon alueet toimivat yhteistyössä tunteita käsittelevien limbisten alueiden (mantelitimake) ja myös tarkkaavaisuutta ohjaavien päälaikilohkon alueiden kanssa. Toisinaan takaraivolohkon vaurio aiheuttaa kasvosokeuden eli kyvyttömyyden tunnistaa toisen henkilöllisyys kasvojen perusteella, mutta jos tunteiden käsittelyyn erikoistuneet alueet ovat säilyneet vaurioitta, kasvosokea henkilö saattaa edelleen pystyä tunnistamaan toisen henkilön tämän kasvojen ilmeistä. Sama pätee myös toiseen suuntaan – mantelitimakkeen vaurioituminen saattaa vaikeuttaa kasvonilmeiden tunnistamista, vaikka henkilöllisyyden tunnistaminen kasvoista onnistuisi edelleen normaalisti.

MIKSI TUNTEET NÄKYVÄT ULOSPÄIN?

Toisten tunteiden tunnistaminen antaa meille mahdollisuuden ”ajatusten lukemiseen”, sillä kun toisten aikomukset ja tavoitteet heijastuvat heidän ilmeistään ja eleistään, voimme ennakoida kanssakäymistä heidän kanssaan. Tällöin osaamme kiertää kiukusta kihisevän työtoverin tai mennä lohduttamaan puolisoamme, joka on allapäin epäonnistuneen työhaastattelun jälkeen. Aikaa ja vaivaa säästyy, kun ei joudu lähtemään sosiaaliseen kanssakäymiseen joka kerta puhtaalta pöydältä.

Tunneilmaisuus sanana viittaa siihen, että tunteisiin liittyvät kasvojen ja kehon muutokset olisivat kehittyneet viestimään tunteitamme muille. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole. Esimerkiksi nenä nyrpistyy inhon tunteen yhteydessä estääkseen nenään saapuvien hajujen määrää eikä ensisijaisesti viestiäkseen muille ihmisille nyrpistäjän inhon tuntemuksesta (Susskind ym. 2008). Toisaalta jotkut käyttämämme kasvojen ilmeet ja eleet palvelevat puhtaasti viestintää. Hymyilemistä tai nauramista pidetään usein iloon tai nautintoon liittyvinä, mutta itse asiassa ihmiset hymyilevät ja nauravat hyvin harvoin kokiessaan voimakasta mielihyvää – naurunpurskahdukset ja leveät hymyt suurimpien nautintojen kuten vaikkapa seksin, herkullisen ruuan syömisen tai urheilemisen aikana ovat äärimmäisen harvinaisia. Nauraminen, hymyileminen ja monet muut kasvonilmeet viestivätkin ennen kaikkea sosiaalisia aikomuksia ja motiveja (Scott ym. 2015).

Tunteet tarttuvat herkästi ihmisten välillä. Kun näemme pienen lapsen kaatuvan polkupyörällään ja alkavan itkeä lohduttomasti, kivun ja mielipahan tunteet hiipivät myös omaan mieleemme. Tällainen toisten tunteiden automaattinen simuloiminen auttaa virittymään samalle aaltopituudelle kanssaihminen kanssa, ja teemmeikin tällaista tunnepeilausta tiedostamattamme lähes jatkuvasti. Aivokuvantamistutkimuksissa olemme huomanneet, että ihmisten aivotoiminnot tahdistuvat, kun he kokevat voimakkaita tunteita (Nummenmaa ym. 2012). Meidän ei silloin tarvitse ponnistella päätelläksemme miltä toisista tuntuu. Tällainen sensorimotorinen simulaatio auttaa toisten ihmisten tunteiden tunnistamisessa, mutta hankaloituu merkittävästi esimerkiksi tuntoaivokuoren vaurion seurauksena.

Peilautuminen (ks. LUKU 14) helpottaa sekä myönteisten että kielteisten tunteiden leviämistä joukossa – helposti tarttuva nauru toimii sosiaalisena liimana, joka liittää suuretkin ihmisjoukot yhteen, mutta toisaalta väkijoukossa vellova paniikki tai raivo voivat helposti kaapata suuren joukon ihmisiä valtaansa. Tunteiden tarttumisessa (ja tartuttamisessa) pitää siis olla tarkkana, ja monissa tilanteissa olisikin parempi, jos tunteet eivät tarttuisi lainkaan. Onnettomuuspaikalle rientävien pelastajien on pidettävä päänsä kylmänä ja varottava loukkaantuneiden paniikin ja kauhun tarttumista, eikä herkästi ahdistuva ja ahdistuksensa näyttävä psykoterapeutti pysty auttamaan potilaitaan parhaalla mahdollisella tavalla.

LOPUKSI

Ajatusten ja tunteiden virta ei pysähdy koskaan. Vaikka suuri osa mielemme sisällöistä on myönteisiä tai neutraaleja (Diener ja Diener 1996; Nummenmaa ym. 2018), ikävät ajatukset ja mielikuvat tunkeutuvat mieleemme toistuvasti ja usein yllättäen. Tunteiden säätelymekanismien avulla voimme onneksi vaikuttaa siihen minkälaisia tunteita koemme ja milloin. Vaikka tunteet auttavat meitä pakenemaan vaaraa ja välttämään tauteja, ne eivät auta kännykän suunnittelussa, avaruussukkulan rakentamisessa, sopivan suuruisen asuntolainan arvioimisessa, tai käyttäytymisen pidemmän aikavälin vaikutuksien punninnassa. Tunteet ovat parhaimmillaan, kun tarvitaan selviytymishaasteita koskevaa tässä-ja-nyt päätöksentekoa. Niinpä pelkkiin tunteisiin perustuva taloudellinen tai poliittinen päätöksenteko on tuomittu epäonnistumaan, sillä niissä tarvitaan kykyä suunnitella laajoja kokonaisuuksia kauaksi tulevaisuuteen. Omia tunteita kannattaa tarkkailla, jotta tärkeissä päätöksentekotilanteissa pystyy painamaan jarrupoljinta tunteiden hillitsemiseksi niin, että kognitiolle jää tilaa toimia.

- Adolphs R: How should neuroscience study emotions? By distinguishing emotion states, concepts, and experiences. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2017, 12: 24–31.
- Anderson DJ, Adolphs R: A framework for studying emotions across species. *Cell* 2014, 157: 187–200.
- Batty M, Taylor MJ: Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cogn Brain Res* 2003, 17: 613–620.
- Bechara A, Tranel D, Damasio H: Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain* 2000, 123: 2189–2202.
- Darwin C: *Expression of the Emotions in Man and Animals*. John Murray, London, 1872.
- Diener E, Diener C: Most people are happy. *Psychol Sci* 1996, 7: 181–185.
- Harrison NA, Brydon L, Walker C, Gray MA, Steptoe A, Dolan RJ, Critchley HD: Neural origins of human sickness in interoceptive responses to inflammation. *Biol Psychiatry* 2009, 66: 415–422.
- Horikawa T, Cowen AS, Keltner D, Kamitani Y: The neural representation of visually evoked emotion is high-dimensional, categorical, and distributed across transmodal brain regions. *iScience* 2020, 23: 43.
- Kober H, Barrett LF, Joseph J, Bliss-Moreau E, Lindquist K, Wager TD: Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Neuroimage* 2008, 42: 998–1031.
- LeDoux JE: Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci* 2000, 23: 155–184.
- Luppino FS, de Wit LM, Bouvy PF, Stijnen T, Cuijpers P, Penninx BWJH, Zitman FG: Overweight, obesity, and depression: A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Arch Gen Psychiatr* 2010, 67: 220–229.
- Lyubomirsky S, King L, Diener E: The benefits of frequent positive affect: Does happiness lead to success? *Psychol Bull* 2005, 131: 803–855.
- Nummenmaa L, Glerean E, Viinikainen M, Jääskeläinen IP, Hari R, Sams M: Emotions promote social interaction by synchronizing brain activity across individuals. *Proc Natl Acad Sci USA* 2012, 109: 9599–9604.
- Nummenmaa L, Glerean E, Hari R, Hietanen JK: Bodily maps of emotions. *Proc Natl Acad Sci USA* 2014, 111: 646–651.
- Nummenmaa L, Hari R, Hietanen JK, Glerean E: Maps of subjective feelings. *Proc Natl Acad Sci USA* 2018, 115: 9198–9203.
- Panksepp J: *Affective Neuroscience: The Foundations of Human and Animal Emotions*. Oxford University Press, New York, NY, 1998.
- Peluso MA, Guerra de Andrade LH: Physical activity and mental health: The association between exercise and mood. *Clinics (Sao Paulo)* 2005, 60: 61–70.

- Saarimäki H, Gotsopoulos A, Jääskeläinen IP, Lampinen J, Vuilleumier P, Hari R, Sams M, Nummenmaa L: Discrete neural signatures of basic emotions. *Cereb Cortex* 2016, 6: 2563–2573.
- Saarimäki H, Ejtehadian LF, Glerean E, Jääskeläinen IP, Vuilleumier P, Sams M, Nummenmaa L: Distributed affective space represents multiple emotion categories across the human brain. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2018, 13: 471–482.
- Scott SK, Lavan N, Chen S, McGettigan C: The social life of laughter. *Trends Cogn Sci* 2015, 18: 618–620.
- Suinn RM: The terrible twos – anger and anxiety: Hazardous to your health. *Am Psychologist* 2001, 56: 27–36.
- Susskind JM, Lee DH, Cusi A, Feima, R, Grabski W, Anderson AK: Expressing fear enhances sensory acquisition. *Nat Neurosci* 2008, 11: 843–850.
- Tawakol A, Ishai A, Takx RAP, Figueroa AL, Ali A, Kaiser Y, Truong QA, Solomon CJE, Calcagno C, Mani V, Tang CY, Mulder WJM, Murrough JW, Hoffmann U, Nahrendorf M, Shin LM, Fayad ZA, Pitman RK: Relation between resting amygdalar activity and cardiovascular events: A longitudinal and cohort study. *Lancet* 2017, 389: 834–845.
- van der Schalk, J, Hawk, ST, Fischer, AH, Doosje B: Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam Dynamic Facial Expression Set (AD-FES). *Emotion* 2011, 11: 907–920.
- Witkower Z, Tracy JL: Bodily communication of emotion: Evidence for extra-facial behavioral expressions and available coding systems. *Emot Rev* 2019, 11: 184–193.