

Sisällys

Kirjailijan alkusanat	8
-----------------------------	---

Puolikas oppi

Aivot eivät ole ajattelua varten	10
--	----

Ensimmäinen oppi

Ihmisellä on yhdet aivot (ei kolmet)	21
--	----

Toinen oppi

Aivot ovat verkosto.....	37
--------------------------	----

Kolmas oppi

Lapsen aivot kytkeytyvät ympäristöönsä.....	55
---	----

Neljäs oppi

Aivosi ennakoivat (lähes) kaiken tekemäsi.....	71
--	----

Viides oppi

Aivosi työskentelevät salaa muiden aivojen kanssa.....87

Kuudes oppi

Aivot synnyttävät monenlaisia mieliä..... 101

Seitsemäs oppi

Aivomme osaavat luoda todellisuuden 113

Loppusanat.....127

Kiitokset129

Liite133

Tiedettä tieteen taustalla 133

Lisähuomioita sivunumeroittain 135

Hakemisto169

Kirjailijan alkusanat

Kirjoitin tämän lyhyistä, vapaamuotoisista esseistä koostuvan kirjan kiinnostusta herättäväksi ja viihdyttäväksi lukukokemukseksi. Se ei ole täydellinen opetuskokonaisuus aivoista. Jokaisessa esseessä esitellään muutamia kiehtovia tieteellisiä tiedonjyväsiä aivoista ja pohditaan, mitä ne paljastavat ihmisluonnosta. Esheet on paras lukea järjestyksessä, mutta ne voi lukea myös irrallaan.

Professorina sisällytän kirjoituksiini yleensä runsaasti tieteellisiä yksityiskohtia, kuten tieteellisten tutkimusten kuvauksia ja viittauksia erikoislehtien artikkeleihin. Tämän kirjan vapaamuotoisten esseiden kohdalla olen kuitenkin siirtänyt perusteelliset tieteelliset lähdeviitaukset verkkosivuilleni sevenandahalflessons.com.

Kirjan lopussa on lisäksi liite, johon olen koonnut valitsemiani tieteellisiä yksityiskohtia. Niiden avulla syvennyttään joihinkin esseiden aiheisiin lähemmin ja osoitetaan, että tutkijat kiistelevät edelleen tietyistä seikoista. Annan liitteessä myös tunnustusta kollegoille ja muille henkilöille, joiden mielenkiintoisia ilmaisuja olen lainannut tai joilta olen saanut inspiraatiota.

Miksi oppeja on seitsemän ja puoli eikä kahdeksan? Aloitusesseessä on aivojen kehityskertomus, mutta se on vain pieni kurkistus evoluutiohistorian valtavaan kehityskaareen – siksi se on vain puolikas. Siinä esittelemäni käsitteet luovat kuitenkin olennaisen pohjan kirjan loppuosalle.

Toivon, että lukijat nauttivat oppiessaan, mikä erään neurotutkijan mielestä aivoissa on kiehtovaa ja millä tavoin tuo korviemme välissä oleva, vajaa puolitoistakiloinen harmaa hyytelömassa tekee meistä jokaisesta ihmisen. Esseissä ei kerrota, mitä lukijan pitäisi ajatella ihmisluonnosta, mutta kirjoitukset herättävät lukijan pohtimaan, millainen ihminen hän on tai haluaa olla.

Puolikas oppi

Aivot eivät ole ajattelua varten

Olipa kerran aika, jolloin maapalloa hallitsivat aivottomat oliot. Tämä ei ole poliittinen kannanotto, vaan pelkkä biologinen tosiasia.

Yksi näistä olioista oli suikulainen. Jos sellainen sattuisi kohdalle, sitä erehtyisi todennäköisesti pitämään pikkuisena matona, ennen kuin huomio kiinnittyisi sen kyljissä oleviin kidusten kaltaisiin halkioihin. Suikulaiset elivät valtamerissä noin 550 miljoonaa vuotta sitten, ja niiden elämä oli hyvin yksinkertaista. Ne pystyivät liikkumaan vedessä oman, varsin alkeellisen liikkumisjärjestelmänsä ansiosta. Niillä oli myös tavattoman yksinkertainen tapa syödä: ne kiinnittyivät merenpohjaan ruohonkorren lailla ja söivät kaikenlaisia pienen pieniä olioita, jotka sattuivat ajautumaan niiden suusta sisään. Maulla ja hajulla ei ollut merkitystä, koska suikulaisella ei ollut aisteja, kuten meillä ihmisillä on. Suikulaisilla ei myöskään ollut silmiä, vaan pelkästään joitakin valon muutoksia tunnistamaan kykeneviä soluja, eivätkä suikulaiset pystyneet kuulemaan. Niiden vaatimattoman hermoston muodosti

pieni solujen rykelmä, jota ei voi nimittää aivoiksi. Suikulaisen voisi-kin sanoa olleen varren varassa uiskennellut mahalaukku.

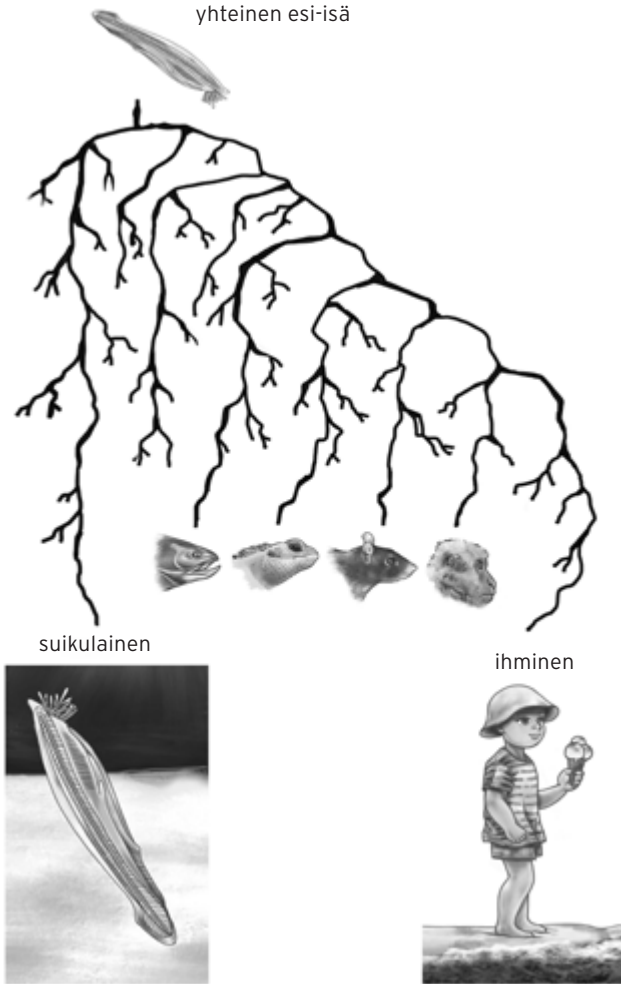
Suikulaiset ovat kaukaisia serkkujamme, ja niitä elelee yhä. Nykyaikaista suikulaista katsoessa näkee hyvin samankaltaisen olion, jollainen aikoinaan valtamerissä vaellellut ikiaikainen pikkuruinen esi-isämme oli.

Pystytkö kuvittelemaan pienen, muutaman sentin mittaisen matomaisen olion keinumassa esihistoriallisen valtameren aallokossa ja näkemään väläyksen ihmiskunnan evoluutiosta? Vaikeaa se onkin. Meissä ihmisissä on niin paljon enemmän kaikkea, mitä muinaisessa suikulaisessa ei ollut: pari sataa luuta, lukuisia sisäelimiä, muutama raaja, nenä, viehättävä hymy ja – mikä tärkeintä – aivot. Suikulainen ei tarvinnut aivoja. Sen tuntoaistisolut olivat kytköksissä sen liikeaistisoluihin, joten se reagoi vesiympäristöönsä ilman mainittavaa aistitiedon käsittelyä. Meissä ihmisissä on sitä vastoin rakenteeltaan mutkikkaat, tehokkaasti toimivat aivot, jotka tuottavat monenlaista mielensisältöä, kuten ajatuksia, tuntemuksia, muistoja ja unia. Ne ovat sisäistä elämäämme ja muovaavat valtavasti sitä, mikä on tunnusmerkkillistä ja merkityksellistä omalle olemassaolollemme.

Miksi ihmisaivot kehittyivät sellaisiksi kuin ne ovat? Mitä ilmeisin vastaus on *ajattelun* takia. Yleisesti oletetaan, että aivojen evoluutio on ollut jonkinlaista asteittaista kasvujohteista kehittymistä tasolta toiselle – alkeellisen eläimen tasolta kehittyneemmälle – ja että ylimmällä tasolla ovat kaikkein mutkikkaimmat, ajattelemaan kykenevät aivot eli ihmisen aivot. Onhan ajattelu ihmisen supervoima, eikö totta?

Ilmeisin vastaus on kuitenkin osoittautunut virheelliseksi. Itse asia-sa ajatus, että aivot kehittyivät ajattelua varten, on ollut monien ihmisenä olemista koskevien perusteellisten väärinkäsitysten pohjalla. Tämän pitkään vaalitun uskomuksen hylkääminen on ensimmäinen

askel kohti sen ymmärtämistä, miten aivot oikeasti työskentelevät, mikä niiden tärkein tehtävä on ja millainen olento ihminen todella on.



Suikulaiset eivät olleet ihmisen suoria esi-isiä, mutta meillä oli yhteinen esi-isä, joka oli hyvin paljon samanlainen kuin nykyajan suikulaiset.

Viisisataa miljoonaa vuotta sitten, kun pienet suikulaiset ja muut yksinkertaiset oliot illastivat tyynesti meren pohjassa, maapallolla siirtytiin ajanjaksoon, jota tutkijat nimittävät kambrikaudeksi. Tuolloin evoluution näkökulmasta tapahtui käänne uuteen ja merkittävään suuntaan, nimittäin saalistamiseen. Jollakin tavalla jokin eliö jossakin oppi *aistimaan* toisen eliön olevan *lähellä* ja tarkoituksellisesti söi sen. Eläimet olivat popsineet toisiaan suuhunsa aiemminkin, mutta nyt toisen eliön syömisestä tuli aiempaa tarkoituksellisempaa. Saalistamiseen ei tarvittu aivoja, mutta saalistamisen alkaminen oli iso askel kohti aivojen kehittymistä.

Saalistajien ilmaantuminen kambrikaudella mullisti siihenastisen ja teki planeetastamme aiempaa kilpailullisemman ja vaarallisemman paikan. Sekä saalistajat että saalistettavat kehittyivät aistimaan ympäröivää maailmaa entistä paremmin. Niiden aistijärjestelmät herksistyivät ja valpastuivat. Suikulaiset olivat pystyneet erottamaan valon pimeästä, mutta niitä kehittyneemmät oliot pystyivät näkemään. Suikulaisilla oli alkeellinen ihotunto, mutta kehittyneemmille olioille oli muodostunut eheämpi aistimus kehon liikkeistä vedessä sekä parempi tuntoaisti, minkä ansiosta ne pystyivät tunnistamaan kappaleita vedessä värähtelyn avulla. Nykypäivän hait käyttävät yhä samankaltaista tuntoaistia tunnistaakseen saaliin vedessä.

Entistä tarkempia havaintoja tekevien aistien takia olemassaolon kriittisimmäksi kysymykseksi muodostui: *"Onko tuo möhkäle tuolla kaukana syötäväksi kelpaava vai syökö se minut?"* Ympäristöään parhaiten aistimaan kykenevillä olioilla oli parhaimmat mahdollisuudet selviytyä ja menestyä. Vaikka suikulaiset olivat hallinneet oman elinympäristönsä, ne eivät kyenneet aistimaan, että niillä *oli* ympäristö. Kehittyneemmät oliot kykenivät.

Saalistajien ja saalistettavien toiminta tehostui myös toisen uuden kyvyn ansiosta. Molemmat nimittäin oppivat aiempaa taidokkaampia tapoja liikkua. Suikulaisten liikkuminen oli ollut hyvin alkeellista, sillä niiden tunto- ja liikehermot olivat olleet toisiinsa kietoutuneet. Aina, kun niiden ravintovirta oli ollut ehtymässä, ne olivat kiemurrelleet sinne tänne irrottaakseen itsensä merenpohjasta ja voidakseen kiinnittyä toiseen paikkaan. Kaikki uhkaavat varjot saivat suikulaisen singahtamaan pois paikalta. Saalistamisen yleistyessä saalistajista ja saalistettavista kehittyi entistä kyvykkäämpiä liikkujia: niiden motorinen järjestelmä teki niistä aiempaa nopeampia ja ketterämpiä. Nämä kehittyneemmät eläimet kykenivät säntäämään, kääntymään ja sukkeltamaan tarkoituksellisesti kohti ruokaa ja pois uhkaavasta vaarasta tavalla, joka soveltui niiden elinympäristöön.

Kun eliöt olivat oppineet aistimaan etäältä ja liikkumaan aiempaa kyvykkäämmin, evoluutio suosi yksilöitä, jotka suoriutuivat tehtävistä tehokkaimmin. Jos oli saalistamassa syötävää, mutta liikkui liian hitaasti, saaliin nappasi joku toinen, joka ehti syödä sen. Jos taas kulutti energiaa paetakseen potentiaalista uhkaa, joka ei toteutunutkaan, tuhlassi voimavaroja, joita voisi tarvita myöhemmin. Energian käytön tehokkuus oli siis olennaista selviytymiselle.

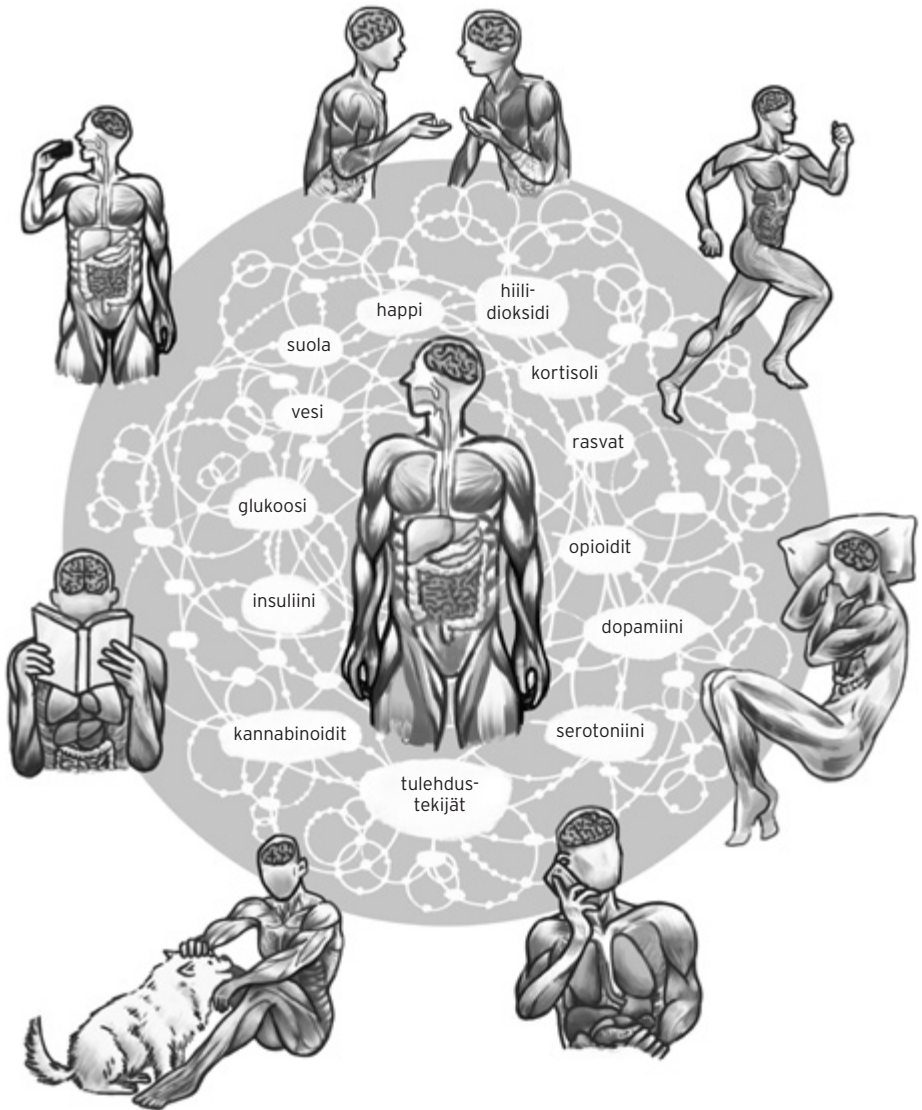
Energiatehokkuuden voi rinnastaa budjettiin. Taloudenpidossa budjetin avulla seurataan oman talouden tuloja ja menoja. Kehobudjetin avulla voidaan samaan tapaan seurata oman kehon resurssien, kuten veden, suolan ja glukoosin, saantia ja kulutusta. Jokaisen resurssin kuluttavan toiminnon, kuten uimisen tai juoksemisen, voi ajatella olevan tililtäotto. Resurssit täydentävät toiminnot, kuten syömisen ja nukkumisen, taas voi rinnastaa tilille talletukseen. Tämä on erittäin yksinkertaistettu selitysmalli, mutta siihen sisältyy se olennainen ajatus, että kehon käyttö vaatii biologisia resursseja. Kaikki teot (ja

tekemättä jättämiset) ovat taloudellisia valintoja: aivot arvioivat koko ajan, milloin resursseja käytetään ja milloin säästetään.

Paras tapa hallita omaa talouttaan, kuten jokainen omasta kokemuksestaan varmasti tietää, on välttää yllätyksiä eli osata ennakoida taloudelliset tarpeensa ja varmistaa, että on riittävästi resursseja niiden kattamiseen. Sama pätee kehon käyttöön. Pienet kambrikauden oliot tarvitsivat energiatehokkaan tavan selvitä hengissä, kun nälkäinen saalistaja vaani lähistöllä. Pitäisikö odottaa ahnaan pedon seuraavaa liikettä ja sitten reagoida jähmettymällä paikalleen tai menemällä piiloon? Vai pitäisikö ennakoida hyökkäys ja valmistaa keho ennalta pakenemaan?

Kehobudjetoinnissa ennakointi voitti reagoinnin. Se, joka valmistautui liikkumaan ennen kuin saalistaja iski, oli myös seuraavana päivänä todennäköisemmin hengissä kuin se, joka jäi odottelemaan saalistajan hyökkäystä. Hyvin pärjäsivät ne, jotka osasivat useimmiten ennakoida oikein tai joiden virhepäätelmät eivät johtaneet kuolemaan vaan jotka oppivat virheistään. Huonommin pärjäsivät ne, joiden ennakointi meni usein vikaan tai jotka eivät huomanneet uhkia tai reagoivat uhkiin, jotka osoittautuivat vääriksi hälytyksiksi. Huonommin pärjänneet yksilöt tutkivat ympäristöään muita vähemmän, etsivät ruokaa vähemmän ja todennäköisesti lisääntyivätkin heikommin kuin hyvin pärjänneet yksilöt.

Seitsemän ja puoli oppia aivoista



Aivot budjetoivat veden, suolan, glukoozin ja monien muiden biologisten resurssien käyttöä kehossa. Tieteessä tätä budjetointia kutsutaan **allostaasiksi**.

Kiitokset

Tämän kirjan olemassaolosta on kiittäminen monia ihmisiä, etenkin minua alalleen kouluttaneita ja tieteellistä lukemistani ohjanneita neurotutkijoita, jotka ovat kärsivällisesti vastanneet loputtomiin kysymyksiini järkkymätöntä jalomielisyyttä ja kannustusta osoittaen. Aivan ensimmäisenä heistä haluan mainita verrattoman Barbara Finlayn. Barb on lajinkehitykseen ja yksilönkehitykseen erikoistunut neurotutkija. Ällistyn tämän tästä hänen tietämyksensä tietosanakirjamaisesta laajuudesta, kun hän selostaa minulle alkionkehityksen hienouksia ja jatkuvasti esittelee mitä erilaisimpia neuroanatomian ja neurotieteen näkökulmia evoluutioon ja yksilönkehitykseen. Tämän kirjan puolikas oppi ja ensimmäinen essee eivät olisi syntyneet ilman Barbia, ja hänen vaikutuksensa näkyy muissakin esseissä. Olemme parhaillaan Barbin kanssa kirjoittamassa akateemista oppikirjaa selkärankaisten motivaatiosta ja emootioista. Kirjan julkaisee MIT Press.

Olen myös tavattoman kiitollinen pitkäaikaiselle yhteistyökumppanilleni ja ystävälleni, neurologi Brad Dickersonille. Olemme tehneet yhteistyötä aivokuvantamistutkimuksen alalla yli kymmenen vuotta Massachusetts General Hospital -sairaalassa Bostonissa, ja olemme julkaisseet yli 30 tutkimusartikkelia yhdessä. Arvostan etenkin sitä, että Brad niin auliisti heittäytyy pohtimaan kanssani toisinaan aika

uskaliaitakin tieteellisiä spekulatioitani. Erityiskiitokset myös Michael Numanille, joka oli ensimmäinen minua kannustanut ja tukenut neurotutkija, kun aloitin kouluttautumiseni alalle.

Olen ikuisesti kiitollinen iloiselle joukolle neurotutkijakollegoita – aiempia ja nykyisiä – joita en ole vielä nimeltä maininnut ja joilta olen oppinut paljon. He ovat (aakkosjärjestyksessä) Joe Andreano, Shir Atzil, Moshe Bar, Larry Barsalou, Marta Bianciardi, Kevin Bickart, Eliza Bliss-Moreau, Emery Brown, Jamie Bunce, Ciprian Catana, Lorena Chanes, Maximilien Chaumon, Sarah Dubrow, Wim van Duffel, Wei Gao, Talma Hendler, Martijn van den Heuvel, Jacob Hooker, Ben Hutchinson, Yuta Katsumi, Ian Kleckner, Phil Kragel, Aaron Kucyi, Kestas Kveraga, Kristen Lindquist, Dante Mantini, Helen Mayberg, Yoshiya Moriguchi, Suzanne Oosterwijk, Gal Raz, Carl Saab, Ajay Satpute, Lianne Scholtens, Kyle Simmons, Jordan Theriault, Alexandra Touroutoglou, Tor Wager, Larry Wald, Mariann Weierich, Christi Westlin, Susan Whitfield-Gabrieli, Christy Wilson-Mendenhall ja Jiahe Zhang. Olen niin ikään syvästi kiitollinen pelottomille insinööri- ja tietojenkäsittelytieteiden kollegoilleni, jotka jatkuvasti opettavat minulle dynaamisista järjestelmistä, kompleksisuudesta ja muista laskennan osa-alueista. Ilman heitä en olisi se neurotutkija, joka nyt olen. He ovat Dana Brooks, Sarah Brown, Jaume Coll-Font, Jennifer Dy, Deniz Erdogmus, Zulqarnain Khan, Madhur Mangalam, Jan-Willem van de Meent, Sarah Ostadabbas, Misha Pavel, Sumientra Rampersad, Sebastian Ruf, Gene Tunik, Mathew Yarossi sekä kaikki muut Northeastern University -yliopiston PEN-ryhmän jäsenet. Kiitokset myös tilastotieteilijöille Tim Johnsonille ja Tom Nicholsille.

Tätä kirjaa ei myöskään olisi ilman Houghton Mifflin Harcourt -kustantamossa työskentelevän kustannustoimittajani Alex Littlefieldin pursuavaa innokkuutta ja asiantuntevaa ohjausta. Olen erityisen kiitollinen

hänelle hänen perusteellisesta paneutumisestaan käsikirjoitukseeni sekä hänen kannustuksestaan yhdistää monimutkaiset päätelmät aivoista kattaviin pohdintoihin siitä, mitä tarkoittaa olla ihminen. Tässä suhteessa olen kiitollinen myös sanomalehti *New York Timesin* James Ryersonille häneltä saamastani ohjauksesta, kun olin aloittamassa kirjoittamista ja hain suuntaa neurotieteiden, psykologian ja filosofian tuulisilla vesillä.

Tämän kirjan hienosta kuvituksesta kiitän Van Yangin luovuutta ja uteliaisuutta. Hänen tiiminsä tekemät nerokkaat piirroksot herättävät tieteen henkiin. Kiitän erityisesti hänen syvää haluaan kertoa tieteestä suurelle yleisölle. Kiitokset myös Aaron Scottille kuvituskonsultaatiosta. Asiantuntemuksellaan, tarkkasilmäisyydellään ja luovuudellaan hän on auttanut minua muuttamaan monimutkaiset tieteelliset ideat ymmärrettäviksi kuviksi jo yli vuosikymmenen ajan.

Kiitokset HMH:n tuotanto- ja markkinointitiimien jäsenille mukaan lukien Olivia Bartz, Chloe Foster, Tracy Roe, Chris Granniss, Emily Snyder, Heather Tamarkin ja etenkin erityisen taitava PR-asiantuntija Michelle Triant. Kiitän myös agenttiani Max Brockmania hänen innostuksestaan ja tuestaan samoin kuin Brockman Inc.:in koko porukkaa eli Thomas Delaneyä, Evelyn Chavezia, Breana Swinehartia ja Russell Weinbergeriä.

Tätä kirjaa ovat kommentoineet, kritisoineet ja siihen ovat antaneet ideoitaan esilukijat, joista monet ovat rakkaita ystäviäni ja ansioituneita tutkijoita. He ovat (aakkosjärjestyksessä) Kevin Allison, Vanessa Kane Alves, Eliza Bliss-Moreau, Dana Brooks, Lindsey Drayton, Sarah Dubrow, Peter Farrar, Barb Finlay, Ludger Hartley, Katie Hoemann, Ben Hutchinson, Peggy Kalb, Tsiona Lida, Micah Kessel, Ann Kring, Batja Mesquita, Karen Quigley, Sebastian Ruf, Aaron Scott, Scott Sleek, Annie Temmink, Kelley Van Dilla ja Van Yang. Haluan myös erikseen kiittää tarkasta tieteellisestä tarkistuksesta toisen esseen osalta Olaf

Spornsia ja Sebastian Rufia, kolmannen esseen osalta Dima Amsoa sekä neljännen esseen osalta Ben Hutchinsonia ja Sarah Dubrowia.

Sydämelliset kiitokset kollegoilleni ja harjoittelijoilleni Northeastern University -yliopiston Interdisciplinary Affective Science Laboratory -laboratoriossa sekä Massachusetts General Hospital -sairaalassa. Suuri osa tämän kirjan esseiden sisällöstä on ollut lahjakkaista nuorista tutkijoista muodostuvan yhteisömme jatkuvan keskustelun ja tutkimuksen kohteena. Kaikki yhteisömme (entiset ja nykyiset) jäsenet on lueteltu sivustolla affective-science.org. Olen erityisen kiitollinen Sam Lyonsille loputtoman tutkimusjulkaisuiden virran äärimmäisen nopeasta jäljityksestä sekä Karen Quigleylle, joka on laboratoriomme toinen johtaja. Karenilla on syvälinen asiantuntemus ääreishermoston fysiologiasta, interoseptiosta ja allostasista. Vitsailemme, että hänen tietämyksellään kehosta ja minun tietämykselläni aivoista me yhdessä muodostamme eheän henkilön.

Olen erityisen kiitollinen Massachusetts General Hospital -sairaalan Martinos Center for Biomedical Imaging -yksikölle ja sen johtajalle Bruce Rosenille samoin kuin Northeastern University -yliopiston psykologian laitokselle sekä etenkin sen johtajalle Joanne Millerille. Heidän tukensa ja kärsivällisyytensä ansiosta minä voin olla sekä neurotutkija että psykologi ja lisäksi viestiä tieteestä suurelle yleisölle.

Tämän kirjan syntymisen mahdollistivat John Simon Guggenheim Foundation -säätiöltä saamani apuraha sekä Alfred P. Sloan Foundation -säätiön myöntämä kirja-avustus. Olen äärimmäisen kiitollinen molempien reilusta avusta.

Ennen kaikkea olen ikuisesti mittaamattoman kiitollinen kaksille eniten rakastamilleni aivoille – tyttärelleni Sophialle ja aviomiehelleni Danille – heidän inspiraatiostaan, sietokyvystään ja oman kehobudjetini yleisestä tasapainotuksesta.