

Kehon mikrobit

A l a n n a C o l l e n



Kehon mikrobit

**Avain terveyteen
ja hyvinvointiin**

Suomentanut Antti Immonen

A L L I G A A T T O R I | H E L S I N K I

Kordelinin säätiö on tukenut tämän kirjan käännöstyötä.



Englanninkielinen alkuteos *10 % Human – How Your Body's Microbes Hold the Key to Your Health and Happiness*

© Alanna Collen 2015

Published by arrangement with Conville & Walsh Literary Agency

Michael Pollan -sitaatti teoksesta Pollan, *Oikean ruoan puolesta*. Suomentanut Tiina Ohinmaa. Atena, Jyväskylä, 2009, s. 7.

Charles Darwin -sitaatti teoksesta Darwin, *Tunteiden ilmaisu ihmisissä ja eläimissä*. Suomentanut Anto Leikola. Terra Cognita, Helsinki, 2009, s. 66.

Ulkoasu: Jussi Hirvi

Kirjapaino: Tallinna Raamatutrukikoda

www.alligaattorikustannus.fi

ISBN 978-952-7011-09-6

Alligaattori Kustannus

Helsinki 2016

Benille ja hänen mikrobeilleen – lempisuperorganismilleni

Tiede on olennaisesti tasapainoilua kahden näennäisesti vastakkaisen asenteen välillä. On oltava avoin uusille ajatuksille, vaikka ne olisivat hyvinkin omituisia tai järjenvastaisia, ja samalla suhtauduttava epäillen kaikkiin ajatuksiin – niin uusiin kuin vanhoihinkin. Tällä tavoin syvälliset totuudet erottuvat hölynpölystä.

— CARL SAGAN

Sisällys

ALKUSANAT. Parantuminen	9
JOHDANTO. Loput 90 %	15
LUKU 1. 2000-luvun sairaudet	33
LUKU 2. Kaikki sairaudet alkavat suolistosta	64
LUKU 3. Mielenhallinta	94
LUKU 4. Itsekäs mikrobi	126
LUKU 5. Sota pöpöjä vastaan	160
LUKU 6. Olet mitä ne syövät	193
LUKU 7. Ensihenkäyksestä lähtien	220
LUKU 8. Mikrobiston toipuminen	250
LOPUKSI. 2000-luvun terveys	283
JÄLKISANAT. Sataprosenttisesti ihminen	300
Viitteet	305
Kiitokset	316

A l k u s a n a t



Parantuminen

Kun kävelin eräänä kesäiltana vuonna 2005 metsän halki kaulassani kaksikymmentä puuvillapussia täynnä lepakoita, kaikenlaisten hyönteisten syöksähdellessä otsalamppuni valoa kohti, tajusin nilkkojani kutiavan. Ylläni oli inhottavan märät housut, joiden lahkeet olin tunkenut verijuotikkailta suojaaviin sukkiini. Niiden alla minulla oli varmuuden vuoksi vielä toiset sukat. Kosteus ja hiki, mutaiset polut, tiikeripelkoni ja hyttyset olivat jo sinällään riittäviä riesoja, kun kiersin synkässä sademetsässä keräämässä lepakoita ansoista. Mutta lisäksi jotakin oli päässyt ihoani suojaavan kangas- ja kemikaalimuurin lävitse. Jotakin kutisevaa.

Kaksikymmentäkaksivuotiaana vietin kolme kuukautta Malesian niemimaalla Kraun luonnonsuojelualueella. Myöhemmin tuo aika osoittautui elämässäni käännteentekeväksi. Biologian opintojeni aikana kiinnostuin lepakoista, ja kun minulle avautui tilaisuus työskennellä erään brittiläisen lepakkotutkijan apulaisena, tartuin välittömästi tilaisuuteen.

Mahdollisuus kohdata eläviä apinoita, gibboneita ja monenlaisia lepakoita sai nukkumisen riippumatossa ja peseytymisen varaanien kansoittamassa joessa näyttämään kannattavalta. Mutta kuten sittemmin huomasin, trooppisen metsän koettelemuksilla oli seurauksia, jotka osoittautuivat itse kokemusta vaikuttavammiksi.

Pääleirissämme eräällä joenvarren aukiolla kuoriuduin vaatekeroksistani saadakseni selville syyn kiusallisiin tuntemuksiini: syypäitä eivät olleet verijuotikkaat vaan punkit. Niitä oli ehkä viitisenkymmentä. Jotkut olivat takertuneet ihooni, toiset kiipeilivät pitkin jalkojani. Huiskaisin irtonaiset ötökät pois ja käännyin takaisin lepakoiden puoleen mittailemaan ja kirjaamaan muistiin tutkimusaineistoa niin nopeasti kuin suinkin pystyin. Myöhemmin, kun olin päästänyt lepakot vapaiksi, metsä oli jo sysimusta ja kuului vain kaskaiden sirtystä. Sulkeuduin kotelomaiseen riippumattoon ja poistin joka ainoan punkin pinseteillä otsalamppuni valossa.

Muutamaa kuukautta myöhemmin, palattuani kotiin Lontoon, minuun iski punkeista saamani trooppinen infektio. Vartaloni kangistui ja varvasluuni turposi. Outoja oireita tuli ja meni, ja kävin monissa verikokeissa ja erikoislääkäreiden vastaanotolla. Elämäni pysähtyi välillä viikkokausiksi tai kuukausiksi, kun odottamattomat kivunpuuskat, väsymys ja sekavuustilat ravistelivat minua ja vapauttivat sitten taas otteestaan aivan kuin mitään ei olisi tapahtunut. Kun viimein monta vuotta myöhemmin sain oikean diagnoosin, infektio oli jo pysyvä. Minulle annettiin pitkä ja voimakas antibioottikuuri, joka olisi parantanut vaikka kokonaisen karjalauman. Toipuisin viimein ennalleni.

Mutta odottamatta tarina ei päättynytkään siihen. Minua hoidettiin, mutta hoito ei kohdistunut vain punkkien aiheuttamaan infektiin. Minua hoidettiin kuin lihakimpaletta. Antibiootit olivat tehneet tehtävänsä, mutta aloin kärsiä uusista oireista, yhtä moninaisista kuin aiemminkin. Sain iho-oireita, ruoansulatusjärjestelmäni temppuili, ja lisäksi altistuin joka ainoalle liikkeellä olevalle infektiolle. Epäilin, että saamani antibiootit olivat tuhonneet sairastumisen aiheuttaneen bakteerikannan ohella elimistöni omia bakteereita. Minusta tuntui, että olin muuttunut kelvottomaksi alustaksi mikrobeille, ja tajusin, kuinka paljon tarvitsinkaan niitä sataa biljoonaa ystävällistä pikku otusta, jotka olivat siihen saakka pitäneet kehoani kotinaan.

Olemme ihmisiä vain kymmenprosenttisesti.

Jokaista sellaista solua kohti, joka osaltaan muodostaa maallisen tommumajasi eli kehosi, mukanasasi kulkee yhdeksän muunlaista solua. Et ole ainoastaan lihaa ja verta, lihasta ja luuta, aivoja ja ihoa, vaan myös bakteereja ja sieniä. Olet enemmän ”niitä” kuin ”sinua”. Pelkästään suolistossasi niitä asustaa sata biljoonaa. Ne ovat kuin koralliriutta suolistosi karulla merenpohjalla. Noin 4 000 eri lajia muodostaa sinne omat ekolokeronsa ja elelee poimuissa, joiden ansiosta 1,5 metrin pituisella paksusuolella on parivuoteen kokoinen pinta-ala. Elämäsi aikana toimit isäntänä ötököille, joiden yhteenlaskettu paino vastaa viittä afrikkalaista elefanttia. Ihosi on niitä täynnä. Sormenpäässasi on niitä enemmän kuin Englannissa asukkaita.

Inhottavaa, eikö totta? Olemmehan toki aivan liian sivistyneitä, liian hygieenisitä, liian *kehittyneitä* ollaksemme näin täynnä niitä. Eikä meidän olisi pitänyt jo päästä mikrobeista, kuten pääsimme eroon turkista ja hännästä, kun lähdimme metsistä? Eikö nykyaikaisella lääketieteellä ole välineitä häätää niitä, niin että voisimme elää puhtaampaa, terveempää ja itsenäisempää elämää? Siitä lähtien kun kehon mikrobihabitaatti ensi kerran löydettiin, olemme sietäneet sitä, koska se ei ole vaikuttanut aiheuttavan meille mitään harmia. Mutta toisin kuin koralliriuttoja tai sademetsiä, sitä meillä ei ole mitään keinoa suojella, saati hoitaa.

Evoluutiobiologina olen saanut koulutuksen tutkia, mitä hyötyä on jonkin organismin käyttäytymisestä ja anatomiasta – eli etsiä sen *merkitystä*. Yleensä aidosti vahingollisia piirteitä ja vuorovaikutuksia vastaan taistellaan tai ne katoavat evoluution edetessä. Tämä sai minut ajattelemaan: sata biljoonaa mikrobiamme eivät majailisi meissä, jos ne olisivat yhdentekeviä. Jos kerran immuunijärjestelmämme taistelee pöpöjä vastaan ja parantaa meidät infektioista, miksi se sietää tällaista miehitystilaa? Jouduttuani omien valloittajieni kohteeksi, niin hyvien kuin pahojenkin, halusin tietää enemmän aiheuttamistani oheisvahingoista.

Osoittautui, että esitin tämän kysymyksen juuri oikeaan aikaan. Vuosikymmenien ajan oli tehty pieniä ja hitaita edistysaskelia, kun oli tutkittu kehon mikrobeja kasvattamalla niitä petrimaljoissa, ja nyt

lopulta pystyimme tyydyttämään tiedonjanomme teknologian avulla. Useimmat sisällämme viihtyvät mikrobit kuolevat altistuessaan hapelle, koska ne ovat sopeutuneet suolistossamme hapettomaan elämään. Niiden kasvattaminen kehon ulkopuolella on vaikeaa, ja kokeiden tekeminen niillä on vielä vaikeampaa.

Mutta sen ansiosta, että mullistavassa Human Genome Project -hankkeessa selvitettiin jokainen ihmisgeeni, tutkijat pystyvät nyt sekvensoimaan valtavia määriä DNA:ta äärimmäisen nopeasti ja halvalla. Jopa kehosta ulosteen mukana poistuvat kuolleet mikrobit voidaan nyt tunnistaa, koska niiden DNA pysyy vahingoittumattomana. Olimme luulleet, ettei mikrobeillamme olisi merkitystä, mutta tieteen avulla totuus alkaa näyttää toisenlaiselta. Elämämme kietoutuu näiden liftareidemme kanssa yhteen, mikrobit ohjailevat kehoamme, ja ilman niitä meidän on mahdotonta elää terveenä.

Omat terveysongelmani olivat vain jäävuoren huippu. Tiesin orastavan tieteellisen tutkimustiedon perusteella, että gastrointestinaalisten häiriöiden, allergioiden, autoimmuunisairauksien ja jopa lihavuuden taustalla oli kehon mikrobien häiriötiloja. Eikä vaarassa ole ainoastaan fyysinen terveys, vaan ne aiheuttavat myös mielenterveysongelmia – ahdistusta, masennusta, pakko-oireista häiriötä (OCD) ja autismia. Monet niistä sairauksista, jotka hyväksymme osaksi elämää, eivät ilmeisesti johdukaan geeniemme vioista tai kehomme rapistumisesta, vaan ne ovat uusia vaivoja, jotka johtuvat kyvyttömydestämme vaalia omien ihmissolujemme pitkäaikaisia kumppaneita: mikrobejamme.

Tutkimukseni aikana en toivonut saavani selville ainoastaan, mitä vahinkoa nauttimani antibiootit olivat tehneet mikrobistolleni, vaan lisäksi, kuinka tämä oli sairastuttanut minut ja mitä voisin tehdä palauttaakseni mikrobitasapainon, joka minussa oli vallinnut ennen punkinpuremien yötä kahdeksan vuotta aiemmin. Saadakseni selville lisää päätin perehtyä DNA-sekvensointiin. Mutta en kaivannut omien geenieni sekvensointia, vaan halusin selvittää henkilökoh-taisen mikrobiyhdykseni (mikrobiomini) geenit. Kunhan saisin tietää, mitä bakteerilajeja ja -kantoja minussa eli, saisin lähtökohdan

itseni parantamiselle. Hyödyntäessäni parasta tietämystä siitä, mitä minussa *pitäisi* elää, voisin ehkä arvioida, kuinka paljon tuhoa minussa oli tapahtunut ja osaisin kohentaa tilannetta. Käytin hyväkseni kansalaisille avointa tutkimusohjelmaa, American Gut Project -hanketta, joka oli parhaillaan meneillään Coloradon yliopiston Boulderin-kampuksen laboratoriossa professori Rob Knightin johdolla. American Gut Project -hankkeessa, johon kuka tahansa sen rahallinen tukija voi osallistua, sekvensoidaan mikrobinäytteitä ihmiskehosta, jotta saataisiin tietoa meissä asuvista lajeista ja niiden vaikutuksesta terveyteemme. Lähetin tutkittavaksi ulostenäytteen, jossa oli omia suolistomikrobejani, ja sain vastineeksi tilannekuvan kehossani elävästä ekosysteemistä.

Vuosien antibioottikuurien jälkeen olin huojentunut huomatesani, että minussa ylipäättään eli vielä *yhtään* bakteeria. Oli mukava nähdä, että sisälläni elävät bakteeriryhmät olivat ainakin laajasti ottaen samanlaisia kuin muillakin American Gut Projectiin osallistuneilla, eivätkä jonkinlaisia mutanttikummajaisia. Mutta, kuten oli ehkä odotettavissakin, bakteerieni moninaisuus näytti kärsineen. Taksonomisen hierarkian korkeimmalla tasolla monimuotoisuus oli verrattain alhainen, ja se näytti hieman kaksijakoiselta verrattuna muiden ihmisten suolistoon. Yli 97 prosenttia bakteereistani kuului kahteen suurimpaan bakteeriryhmään, kun tutkituilla henkilöillä määrä oli keskimäärin noin 90 prosenttia. Kenties saamani antibiootit olivat tappaneet osan harvalukuisemmista lajeista, jolloin minuun olivat jääneet vain sitkeimmät selviytyjät. Olin utelias tietämään, liittyikö tämä hävikki hiljattaisiin terveysongelmiini.

Jos trooppista sademetsää ja tammimetsää verrataan toisiinsa suhteuttamalla puiden lukumäärä pensaisiin tai lintujen lukumäärä nisäkkäisiin, niistä ei paljastu paljoakaan siitä, miten nuo ekosysteemit toimivat. Sama pätee tässä: bakteerieni keskinäinen vertailu niin laajassa mittakaavassa tuskin kertoo kovinkaan paljon sisuskalujeni pieneliöstön kunnosta. Taksonomisen hierarkian toisessa päässä olivat minussa elävät suvut ja lajit. Mitä ne tietyt bakteerit, jotka olivat joko sinnitelleet hoitoni aikana tai palautuneet sen päätyttyä, paljastivat ny-

kyisestä terveydentilastani? Tai kenties vielä osuvammin, mitä niiden lajien *poissaolo*, jotka olivat kenties joutuneet niitä vastaan aloittamani kemiallisen sodankäynnin uhreiksi, merkitsi minulle nyt?

Kun aloin tietää enemmän *meistä* – minusta ja mikrobeistani – päätin alkaa soveltaa oppimiani asioita käytäntöön. Halusin saada takaisin hyvät mikrobit, ja tiesin, että minun pitäisi muuttaa elämäni elvyttääkseni ihmissolujeni kanssa sopusoinnussa toimivan mikrobiyhdyksunnan. Jos viimeaikaiset oireeni juonsivat juurensa oheisvahingoista, joita olin vahingossa aiheuttanut mikrobeilleni, kenties voisin peruuttaa tapahtuneen ja päästä eroon allergioista, iho-ongelmista ja likimain jatkuvista infektioista. En ollut huolissani vain itsestäni, vaan myös lapsista, joita toivoin saavani tulevina vuosina. Koska siirtäisin heille geenieni lisäksi myös mikrobini, halusin olla varma, että minulla olisi jotain kunnollista annettavaa.

Päätin asettaa mikrobini etusijalle ja muuttaa ruokavaliotani paremmin niille soveltuvaksi. Suunnittelin lähettäväni toisen näytteen sekvensoitavaksi, kunhan elämäntapamuutokseni olisivat vaikuttaneet. Toivoin ponnistuksistani koituvan selviä muutoksia bakteerilajieni monimuotoisuudelle ja tasapainolle. Ennen kaikkea toivoin, että ponnistukseni niihin maksaisi vaivan ja johtaisi parempaan terveyteen ja hyvään elämään.

J o h d a n t o



Loput 90 %

Toukokuussa vuonna 2000, vain muutamaa viikkoa ennen ihmisen geeniperimän ensimmäisen karttavedoksen julkistamista, eräässä baarissa New Yorkin osavaltiossa istui Cold Spring Harborin laboratorion tutkijoita, joiden keskuudessa kiersi muistikirja. Human Genome Project -hankkeen seuraavasta vaiheesta alettiin olla yhä jännittyneempiä. Siinä DNA-sekvenssi jaettaisiin toiminnallisiin osiinsa – geeneihin. Muistikirja liittyi vedonlyöntiin: planeetan parhaiden asiantuntijoiden arvaukset koskettelivat yhtä kiehtovaa kysymystä: Kuinka monesta geenistä ihminen rakentuu?

Vanhempi tutkija Lee Rowen, joka tutki ryhmänsä kanssa kromosomeja 14 ja 15, siemäili olutta samalla kun puntaroi tätä kysymystä. Geenit valmistavat proteiineja, elämän rakennuspalikoita, ja ihmisen monimutkaisuuden vuoksi niiden määrä otaksuttiin suureksi. Se olisi taatusti suurempi kuin hiirellä, jolla tiedettiin olevan 23 000 geeniä. Luultavasti myös suurempi kuin vehnällä, jolla on 20 500 geeniä.

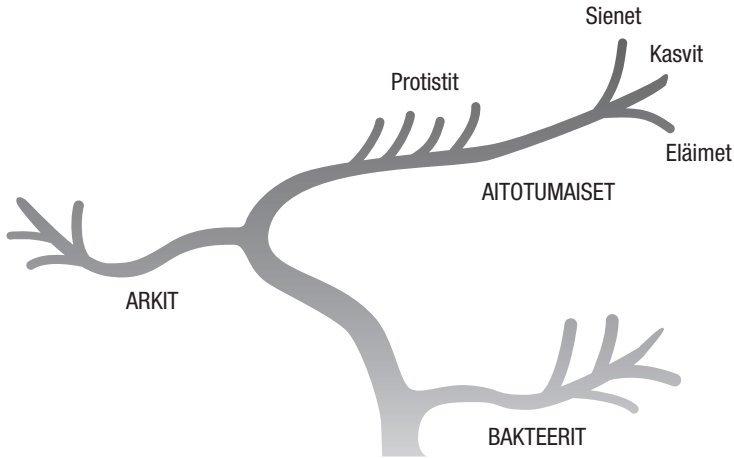
Huolimatta arvauksista, jotka liikkuivat 55 000 ja 150 000 geenin välillä, Rowen tunsu alansa ja teki siksi arvauksensa alakanttiin. Sinä vuonna hän veikkasi niiden määräksi 41 440, ja vuoden kuluttua hänen arvionsa oli enää 25 947 geeniä. Vuonna 2003, kun oikea lukumäärä alkoi paljastua lähes selvitetystä sekvenssistä, Rowen sai palkintonsa. Kaikista 165 arvauksesta hänen veikkauksensa oli alhaisin,

ja viimeisimmässä geenilaskennassa lukema oli juuri pudonnut jopa alhaisemmaksi kuin yksikään tutkija oli koskaan ennustanut.

Vaativuudella 21 000 geenillään ihmisen geeniperimä on hädän tuskin suurempi kuin sukkulamadolla (*C. elegans*). Se on puolet riisinyvän geenimäärästä, ja jopa mitätön vesikirppu päihittää sen 31 000 geenillään. Yksikään näistä lajeista ei osaa puhua tai ajatella älyllisiä ajatuksia. Voisi kuvitella, kuten geeniveikkaukseen osallistuneet tutkijatkin luulivat, että ihmisillä olisi paljon enemmän geenejä kuin kasveilla, madoilla ja kirpuilla. Loppujen lopuksi geenit kuitenkin muodostavat proteiineja, ja proteiineista rakentuu kehoja. Tokihan ihminen monimutkaisine ja hienorakenteisine kehoineen vaatii enemmän proteiineja ja siksi myös enemmän geenejä kuin sukkulamato?

Nämä 21 000 geeniä eivät kuitenkaan ole ainoat geenit, jotka pitävät kehomme käynnissä. Emme elä yksin. Kukin meistä on superorganismi, lajien yhteisö. Nuo lajit elävät ja pitävät yhteistyössä yllä kehoa, joka meillä jokaisella on. Vaikka omat solumme ovat määrältään ja painoltaan paljon suurempia verrattuna meissä ja pinnallamme eläviin mikrobisoluihin, niitä on vain kymmenesosa. Nämä sata biljoonaa mikrobioja, joita yhdessä nimitetään mikrobistoksi, ovat enimmäkseen bakteereja – mikroskooppisia olentoja, jotka koostuvat kukin vain yhdestä solusta. Bakteerien lisäksi kehossa on myös muita mikrobeja: viruksia, sieniä ja arkkeliöitä. Virukset ovat niin pieniä ja yksinkertaisia, että ne haastavat ajatuksemme siitä, mistä ”elämä” muodostuu. Niiden lisääntyminen on täysin riippuvaista muiden olentojen soluista. Meissä elävät sienet ovat usein hiivoja. Ne ovat monimutkaisempia kuin bakteerit, mutta silti pieniä, yksisoluisia eliöitä. Arkkeliöt muistuttavat bakteereja, mutta eroavat kehityshistorialtaan yhtä paljon toisistaan kuin bakteerit eroavat kasveista ja eläimistä. Yhdessä ihmiskehossa elävissä mikrobeissa on yhteensä 4,4 biljoonaa geeniä – tämä kokonaisuus on *mikrobiomi*, mikrobiston yhteenlaskettu geeniperimä. Yhdessä 21 000 ihmisgeeninimme kanssa nämä geenit pitävät kehomme käynnissä. Tällä laskutavalla olet siis ihminen vain puoliprosenttisesti.

Tiedämme nyt, että ihmisen geeniperimän monimutkaisuus johdetaan paitsi sen sisältämien geenien määrästä, myös niistä proteiiniyhdis-



Yksinkertaistettu evoluutiopuu, jossa näkyy aitotumaisten domeenin (Eucarya) kolme suurinta kuntaa (kasvit, sienet, eläimet) ja neljä muuta kuntaa (protistit).

telmistä, joita nämä geenit pystyvät muodostamaan. Muiden eläinten tavoin mekin pystymme saamaan geeniperimästämme irti enemmän toimintoja kuin siihen ensisilmäyksellä näyttäisi koodautuneen. Mutta mikrobiemme geenit vielä mutkistavat tätä vyyhtiä tarjoamalla ihmiskehölle palveluksia, joita nämä yksinkertaiset eliöt kehittävät nopeammin ja tarjoavat helpommin.

Aivan viime aikoihin asti näiden mikrobien tutkiminen riippui siitä, pystyttiinkö niitä viljelemään petrimaljoissa, joissa oli hyytelömäiseen kasvualustaan sekoittua veriliuosta, luuydintä tai sokereita. Se on vaikea tehtävä: useimmat ihmisessä elävistä lajeista kuolevat altistuessaan hapelle – ne eivät yksinkertaisesti ole kehittyneet sie-tämään sitä. Lisäksi kun mikrobeja kasvatetaan näissä maljoissa, joudutaan arvailemaan, millaista ravintoa, lämpötilaa ja kaasuseosta ne tarvitsevat pysyäksensä hengissä, ja ellei tässä onnistuta, jostakin lajista ei saada tietoa. Mikrobien viljely muistuttaa sitä, että luentoa kuulemaan tulleet tarkistetaan nimiluettelosta – ilman nimenhuutoa on

mahdotonta tietää, kuka on todella paikalla. Tämän päivän teknologia – DNA-sekvensointi, joka on nopeaa ja halpaa Human Genome Project -hankkeessa työskennelleiden henkilöiden ponnistusten ansiosta – on pikemminkin kuin henkilötodistuksen vaatimista ovelta: sen avulla havaitaan sellaisetkin, joiden ei muuten tiedettäisi lainkaan olevan paikalla.

Kun Human Genome Project alkoi lähestyä loppuaan, odotukset olivat korkealla. Geenien sekvensointia pidettiin ihmisen – Jumalan suurimman luomuksen – ongelman ratkaisuna, ja geenikarttaa jonkinlaisena pyhänä kirjastona, josta löytyisivät sairauksien salaisuudet. Kun ensimmäinen versio saatiin vuonna 2000 valmiiksi 2,7 miljardin dollarin budjetilla ja monta vuotta etuajassa, Yhdysvaltain presidentti Bill Clinton julisti:

Nyt alamme oppia kieltä, jolla Jumala loi elämän. Kunnioituksemme tuota Jumalan korkeimman ja pyhimmän lahjan ihmeellistä monimutkaisuutta ja kauneutta kohtaan vain kasvaa kasvamistaan. Uuden syvällisen tietämyksen ansiosta ihmislaji on saamaisillaan valtaiset parantamiskyvyt. Geenitutkimuksella tulee olemaan aidosti vaikutusta meidän kaikkien elämään – ja samoin lastemme elämään. Se tulee mullistamaan useimpien ihmisen sairauksien diagnosoinnin, ehkäisemisen ja hoidon – ellei peräti kaikkien.

Seuraavina vuosina tiedetoimittajat alkoivat kuitenkin kaikkialla maailmassa ilmaista pettymystään siihen, missä määrin DNA-sekvenssin täydellinen tietäminen oli lääketiedettä edistänyt. Vaikka oman rakenteemme selvittäminen onkin kiistämätön saavutus, joka on muuttanut useiden merkittävien sairauksien hoitoa, se ei ole paljastanut odotetussa määrin monien yleisten sairauksien syitä. Jotakin tiettyä tautia sairastavien yhteisten geneettisten piirteiden etsiminen ei luonutkaan suoranaisia yhteyksiä niin moniin vaivoihin kuin oli odotettu. Usein vaivat liittyivät heikosti kymmeneen tai satoihin geenivariantteihin, mutta vain harvoin jokin geenivariantti yhdistyi suoraan tiettyyn sairauteen.

Vielä vuosisadan vaihteessa emme ymmärtäneet, etteivät omat 21 000 geeniämme kertoisi kaikkea. DNA-sekvensoinnin tekniikka,

joka keksittiin Human Genome Projectin aikana, mahdollisti toisen suuren geeniperimän sekvensointiohjelman, joka ei kuitenkaan saanut osakseen yhtä paljon mediahuomiota – Human Microbiome Project -hankkeen. Tässä hankkeessa ei tutkittu omaa geeniperimäämme, vaan se perustettiin selvittämään kehossamme elävien mikrobien geeniperimää eli mikrobiomia – tunnistamaan, mitä mikrobilajeja elimistössämme elää.

Enää riippuvuus petrialjoista tai mikrobien altistuminen liialliselle hapelle ei rajoittaisi asukkiemme tutkimista. 170 miljoonan dollarin budjetiteinen ja viisivuotinen DNA-sekvensoinnin ohjelmiseen Human Microbiome Projectin oli määrä kartoittaa tuhansia kertoja Human Genome Projectia enemmän DNA:ta mikrobeista, jotka elävät ihmiskehossa kahdeksassatoista eri elinympäristössä. Sen oli tarkoitus olla aiempaa paljon kattavampi tutkimus ihmisen geneistä, sekä ihmisgeneistä että mikrobigeeneistä. Human Microbiome Projectin ensimmäisen tutkimusvaiheen päättyessä vuonna 2012 yksikään maailman johtaja ei lausunut ylistyssanoja, ja koko asiasta kertoi vain kourallinen sanomalehtiä. Mutta Human Microbiome Projectissa pyrittäisiin edelleen selvittämään mikrobien perimän avulla enemmän nykyihmisen olemuksesta kuin oman geeniperimämme avulla oli koskaan saatu selville.

Elämän synnystä lähtien lajit ovat käyttäneet toisiaan hyväkseen, ja juuri mikrobien ovat osoittaneet pärjäävänsä erityisen tehokkaasti mitä oudoimmissa paikoissa. Niiden mikroskooppisessa maailmassa toinen organismi, varsinkin ihmisen kaltainen selkärankainen makroluokan olento, ei edusta vain yksittäistä ekolokeroa, vaan kokonaista elinympäristöjen, ekosysteemien ja mahdollisuuksien universumia. Ihmiskeho on yhtä moniulotteinen ja vaihteleva kuin planeettamme: sillä on oma kemiallinen ilmastonsa, joka muuttuu hormonaalisten vaihtelujen mukaisesti, ja monimutkaiset maisemansa, jotka muuntuvat iän myötä. Mikrobeille se on oikea paratiisi.

Kehtyimme rinnatusten mikrobien kanssa jo kauan ennen kuin meistä tuli ihmisiä. Jo ennen kuin esivanhempamme olivat edes nisäk-

käitä. Jokainen eläinkeho aina pienimmästä hedelmäkärpäsestä suurimpaan valaaseen saakka on oma mikrobimaailmansa. Huolimatta kielteisestä maineesta, jonka monet mikrobeista saavat aiheuttamiensa sairauksien takia, näiden minikokoisten elämänmuotojen muodostaman populaation isäntänä toimiminen voi olla äärimmäisen palkitsevaa.

Euprymna scolopes -mustekala – joka on suurisilmäinen ja värikäs kuin Pixarin animaatiohahmot – on minimoinut erään suuren uhan vain houkuttelemalla yhden ainoan bioluminoivan bakteerilajin elämään sen vatsan alle erääseen tiettyyn onkaloon. Tässä elimessä *Aliivibrio fischeri* -bakteerit muuntavat ruokaa valoksi, niin että alhaalta päin katsottuna mustekala hohtaa. Saalistajat eivät näe otusta alhaalta taan, koska mustekalan siluetti katoaa kuun valaisemaan merenpintaan. Mustekala saa kiittää tästä suojelusta bakteeriasukkejaan, ja ne taas saavat kiittää mustekalaa kodin tarjoamisesta itselleen.

Vaikka mikrobivalolähteen majoittaminen saattaa näyttää erityisen kekseliäältä tavalta parantaa omia henkiinjäämismahdollisuuksia, mustekalat eivät suinkaan ole ainoita eläinlajeja, jotka saavat kiittää hengestään mikrobejaan. Eliökunnan selviytymisstrategiat ovat moninaisia ja vaihtelevia, ja yhteistyö mikrobien kanssa on ollut evoluutiopelin kantava voima siitä alkaen kun monisoluiset elolliset olennot kehittyivät 1,2 miljardia vuotta sitten.

Mitä useammista soluista jokin eliö koostuu, sitä enemmän siinä voi elää mikrobeja. Suuret eläimet, kuten naudat, ovat tunnettuja runsaista bakteereistaan. Naudat syövät ruohoa, mutta omien geeniensä avulla ne voivat irrottaa hyvin vähän ravintoaineita kuitupitoisesta ruokavaliostaan. Ne tarvitsevat erikoistuneita proteiineja, niin sanottuja entsyymejä, jotka voivat pilkkoa ruohon soluseinämien kovia molekyyliä. Tällaisia entsyymejä valmistavien geenien kehittyminen veisi ehkä tuhansia vuosia, koska siihen tarvitaan DNA-koodin satunnaisia mutaatioita, joita voi tapahtua vain kerran jokaisen nautasukupolven aikana.

Nopeampi tapa hankkia kyky hyödyntää ruohojen sisältämiä ravinteita on ulkoistaa tehtävä asiantuntijoille, mikrobeille. Lehmän neljässä mahassa elää kasvikuittuja hajottavia mikrobeja, joita on miljard-