

Elämän sattuma ja välttämättömyys

HANNU SARIOLA



oska en tiedä mitä elämä on, kysyin sitä kollegoilta. Vastaukset valaisivat kysymykseen liittyviä ongelmia (taulukko 1). Elämää on vaikeaa, ellei mahdotonta, määritellä muuten kuin siihen liittyvien ilmiöiden kautta tai täysin subjektiivisesti. Käsityksiin elämästä nähtiin keskeisesti liittyvän ajatus väliaikaisuudesta. Yksilön elämä alkaa syntymästä ja päättyy kuolemaan. Lisäsyntymisenkin tuli esiin voimakkaasti. Syntymän ja kuoleman välissä synnytetään seuraava sukupolvi. Kolmas toistuvasti esiin tullut teema oli energian kuluttaminen tavalla tai toisella. Täsmällisimmän vastauksen antoi kuitenkin Kansanterveyslaitoksen tutkija: »Nykyään suomalaisen miehen elämä on 74 vuotta ja naisen 82 vuotta.»

Elämää voi vain kuvailla

Elämää ei kyetä määrittelemään, ennen kuin löydämme sitä maapallon ulkopuolelta. Sen sijaan on mahdollista kuvailla elämälle omi-

naisia piirteitä (Hämäläinen 1998, Davies 1999). Niiden avulla voi yrittää tunnistaa elämää, missä muodoissa sitä mahdollisesti esiintyykään maailmankaikkeudessa (taulukko 2). Onko ihmisyyksilö näiden piirteiden perusteella elävä? Näyttää olevan. Onko kuivunut siemen elävä? Osa kriteereistä ei enää täyty. Onko vi-

rus elävä? Virus lisääntyy vain toisen organismin sisällä, eikä sillä ole omaa aineenvaihduntaa solujen ulkopuolella: rajatapaus. Onko tietokonevirus elävä? Ihmisen ohjelmoima, sähköpostin ja Internetin kautta lisääntyvä tietokonevirus täyttää vähintäänkin samat elämän kriteerit kuin biologinen virus. Ovatko biologiset ja tietokonevirukset sittenkään eläviä? Jos avaruuteen singottu siemen putoaisi miljardin vuoden päästä kaukaisessa aurinkokunnassa auringon lämmittämään suola-

Syntykö kuolleesta elämää?

Aina 1800-luvulle asti uskottiin, että mudasta ja kuolleista eläimistä syntyy elämää. Hygienian isää Louis Pasteuria pidetään tämän spontaanina kreationismina tunnetun opin kuoppaajana. Kuitenkin jo vuonna 1668 italialainen Francesco Redi oli osoittanut kokeellisesti, että kuolleesta ei synny elämää. Hän pani lihaa avonaiseen ja umpinaiseen astiaan. Ainoastaan avonaisesta astiasta pyryhti jonkin ajan kuluttua karpäsiä. Louis Pasteur teki toisen version samasta kokeesta. Hän täytti lihaliemellä kaksi lasipulloa, jotka steriloidtiin keittämällä. Toiseen pulloista johti suora lasiputki ja toiseen mutkittava putki, joka kääntyi joutsenkaulamaisesti alaspäin bakteereiden pääsyn estämiseksi. Kumpikin pullo oli yhteydessä ilmaan. Ainoastaan avoimeen ilmaantui bakteereita. Kokeensa jälkeen Pasteur julisti haudanneensa spontaanin kreationismin. Kerrotaan, että jokin Pasteurin lasiputkipulloista on edelleen olemassa – ja steriili.

Taulukko 1. Biomedicum in aulaan kokoontuneiden tutkijoiden vastauksia kysymykseen: Mitä elämä on? (Sariola 2002).	
Tutkija Kiinasta:	»I don't know.»
Tutkija Italiasta:	»Very difficult question – but sometimes life is nice!»
Tutkija Venäjältä:	»Searching and searching.»
Tutkija Suomesta:	»Yhtä helvettiä. Ei ehdi mitään saada valmiiksi.»
Väitöskirjatutkija Ranskasta:	»A series of unexpected events.»
Väitöskirjatutkija Suomesta:	»Elämä – äh – elämä. Elämä on – niin – se on solujen ja yksilöiden kopioitumista. Elämä on lisääntymistä!»
Biologian opiskelija Suomesta:	»Monimutkainen yhdistelmä fysikaaliskemiallisia reaktioita, jotka tietyissä olosuhteissa muodostavat enemmän kuin niiden osien summan.»
Molekyylibiologian opiskelija Suomesta:	»Elämä on solujen hengittämistä.»
Tutkimusteknikko Ranskasta:	»Elämä on kuoleman vastakohta, jos halutaan biologinen määritelmä. Minun elämäni on sitä, että yritän olla onnellinen.»
Tutkimuslaitoksen johtaja Suomesta:	»Elämä on aika ennen kuolemaa.»
Sisätautiopin professori Suomesta:	»Sydämen sykettä. Joskus sietämättömiä päiviä.»
Naisopiskelija Helsingistä:	»Mä olen jo jakaantunut.»
Gynekologian professori:	»Elämä on opettamista, työtä ja innovatiivista tutkimusta.»
Väitöskirjan tekijä Suomesta:	»Elämä on ihmisiä, ruokaa ja seksiä.»
Kansanterveyslaitoksen tutkija:	»Nykyään suomalaisen miehen elämä on 74 vuotta ja naisen 82 vuotta.»

Taulukko 2. Luettelo elämän piirteistä kirjassa Viides ihme: elämän syntyä etsimässä (Davies 1999).	
Itsenäisyys	
Lisääntyminen	
Aineenvaihdunta	
Ravinnon kuluttaminen	
Kompleksisuus	
Organisaatio	
Kasvu ja kehitys	
Informaationsiältö	
Laitteiston ja ohjelmiston sekoittuminen	
Pysyvyys ja muutos	

lampeen, se saattaisi herätä eloon. Kysymys on siitä, oliko kuivunut siemen avaruudessa leijuessaan kuollut, koska sillä ei ollut omaa aineenvaihduntaa eikä se lisääntynyt, ja muuttuiko se yhtäkkiä lammessa kuolleesta eläväksi? Onko virus solun ulkopuolella kuollut ja vasta solun sisällä elossa? Onko olemassa mitään rajaa elävän ja kuolleen materian välillä?

Jo vuonna 1953 Harold Urey ja Stanley Miller onnistuivat tuottamaan aminohappoja metaanista, vedystä, ammoniakista ja vedestä (Miller ym. 1953), joiden arveltiin muodostaneen muinaisen maailman hapettoman kaasukehän. Myöhemmin Sidney Fox osoitti, että voimakkaasti kuumentamalla aminohapoista syntyy proteiinien kaltaisia ketjuja proteinoideja. Elävien organismien aminohapot ovat vasenkätisiä. Sen sijaan proteinoidit sisältävät samassa suhteessa vasen- ja oikeakätisiä aminohappoja. Kuluvan vuoden aikana Nature-lehdessä julkaistiin yhdysvaltalainen ja eurooppalainen tutkimus, joissa aminohappoja tehtiin laboratorioissa avaruuden kaasupilviä muistuttavissa olosuhteissa (Bernstein ym. 2002, Munoz Caro ym. 2002). Onkin ilmeistä, että »epäorgaaninen» kemia tuottaa »orgaanisen» kemian yhdisteitä kaikkialla ja koko ajan. Orgaanisen ja epäorgaanisen kemian käsittäminen erillisiksi perustuu virheelliseen käsitykseen elämästä irrallisena kuolleesta aineesta.

Elämän rakennuspalikoiden syntyminen kemiallisten reaktioiden kautta ei kuitenkaan selitä sitä, miksi solut muodostuvat vain vasenkätisistä proteiineista ja miten niistä rakentui monimutkaisia, lisääntymiskykyisiä organismeja. Myöskään pelkkien elämän raaka-aineiden löytäminen meteoriitista ei osoita, että se olisi ollut kosketuksissa eläviin organismeihin. Kysymystä on pohtinut Everett L Schock (2002): »Niin, voit tutkia geologiaa koko elämäsi, mutta se, että tiedät, miten kal-



liot syntyvät, ei vielä kerro sinulle, mistä kivistä tullaan tekemään Taj Mahal tai Tonymen taverna». Kysymys elämästä ei olekaan enää kysymys sen rakennuspalikoiden synnystä vaan siitä, miten niistä on rakentunut monimutkaisia, lisääntymiskykyisiä ja itsenäisiä organismeja.

Lyhyt elämän historia

Maapallo tiivistyi 4,6 miljardia vuotta sitten kaasun- ja pölypilvestä. Emme tiedä, miten nopeasti elämää ilmaantui planeetallemme, mutta vanhimmat fossiiliset löydöt ovat noin 3,8 miljardia vuotta vanhoja. On mahdollista, että maapallo oli kuollut kuin kivi ensimmäiset miljardi vuottaan! Tumalliset solut ilmaantuivat 1,6 miljardia vuotta sitten ja ensimmäiset monisoluiset organismit 600 miljoonaa vuotta sitten. Dinosaurusten häviämisestä on kulunut 65 miljoonaa vuotta. Ihmisen esi-isät vaelsivat Afrikan savanneja joskus 6–7 miljoonaa vuotta sitten, mutta ensimmäiset merkit homo sapiens sapiens -lajista ovat tuiki tuoreita, vain noin 150 000 vuoden ikäisiä (ks. sivujen alareunassa kulkevaa maapallon aikajanaa).

Maa aikojen alussa

Elämän syntyhetkellä maapallo ei ollut mikään lomaparatiisi. Sitä pommittivat jatkuvat meteoriittikuurot. Ohutta veden peittämää kuorta repivät jatkuvat vulkaaniset räjähdykset. Radioaktiivinen ja ultraviolettisäteily olivat voimakkaita. Alkumerikään ei ollut mikään lomaparatiisin uima-allas vaan muistutti pikemmin jätellästä. Kaasukehässä oli runsaasti hiilidioksidia ja monoksidia, syaanivetyä ja ammoniakkia. Näissä olosuhteissa elämä kuitenkin syntyi, ja rupesi muuttamaan planeettaa. Myrkyllinen kaasukehä muuttui vähitellen happipitoiseksi ilmakehäksi.

Oleellista elämän synnylle oli energian syöttö eri muodoissaan järjestelmään. Lämpö ja säteily toimivat elämän katalysaattoreina. Elottomalle luonnolle on tyypillistä entropian kasvu eli epäjärjestyksen lisääntyminen, elävälle luonnolle taas entropian väheneminen ja järjestyminen. Se ei ole mahdollista ilman, että järjestelmään tulee energiaa. Maapallon tärkein energianlähde on aurinko. Jo muinaisissa inkakulttuureissa tämä ymmärrettiin ja aurinkoa palvottiin elämän äitinä.

Missä elämä syntyi?

On pohdittu, syntyikö elämä maapallolla vai putoisiko se tänne avaruudesta. Koska aminohappoja mitä ilmeisimmin syntyy jopa keskellä avaruutta, jossa lämpötila on lähellä absoluuttista nollaa-

pistettä, elämä on voinut syntyä muualla ja kulkeutua tänne meteoriittien mukana. Tätä teoriaa kutsutaan panspermiateoriaksi. Sitä voisi pitää jopa epä-älykkäänä. Se vain siirtää kysymyksen elämän synnystä kotipihaltamme kaukaiselle tuntemattomalle planeetalle. Toisaalta se sisältää viehättävän ajatuksen elävästä univer-

Elämän synty oli epätodennäköistä

Kaikki ovat yhtä mieltä siitä, että elämän syntyminen oli erittäin epätodennäköistä. Tämä on selvää jo sen takia, että elämää ei ole löytynyt mistään muualta kuin omalta planeetaltamme. Tavallinen proteiini muodostuu noin sadasta

aminohaposta. Koska erilaisia aminohappoja on parikymmentä, ne voivat järjestyä 10^{130} eri tavalla. Jo yhden proteiinin syntyminen sattumalta on erittäin epätodennäköistä, puhumattakaan solun kaikista proteiineista. Sen mahdollisuus on yksi 10^{40000} :sta. Luvussa on 40 000 nollaa eli kolme kertaa enemmän kuin kirjainmerkkejä tässä artikkelissa! Eri elämän muotojen syntyminen epäto-



sumista, joka valtavista etäisyyksistä huolimatta on yhtä elävää organismia. Toisen teorian mukaan elämä syntyi otollisissa oloissa muinaisen maapallon merissä, ns. alkuliemessä – ehkä meteoriittien aiheuttamien sokkiaaltojen vaikutuksesta. Sopivia olosuhteita on voinut olla trooppisissa laguuneissa, tulivuorten lämmittämässä kuumissa lähteissä tai meren pohjalla. Kolmannen teorian mukaan elämä syntyi syvässä kallion uumenissa kovissa paineolosuhteissa mutta suojatussa pesässä, jonne tihkui elämän synnyn tarvitsemia raaka-aineita. Neljännen teorian mukaan elämää on aina ollut, joten sen synty ei vaadi mitään selityksiä. Vähän samaan tapaan kuin panspermia tämäkin teoria siirtää kysymyksen elämän synnystä pois päiväjärjestyksestä.

dennäköisyys antaakin tilaa spekulatiolle siitä, että elämän on luonut korkeampi voima.

Epätodennäköinen muuttuu todennäköiseksi äärettömyydessä

Äärimmäisen epätodennäköinen muuttuu kuitenkin todennäköiseksi, jos aikaa on rajatta ja jos elämän rakenneosia tuottavien kemiallisten reaktioiden määrä on otollisissa olosuhteissa runsas. Ehkä muistona elämän synnyn epätodennäköisyydestä epätodennäköiset tapahtumat ovat luonnossa edelleen keskeisiä. Miehen ejakulaatiossa on tavallisesti kymmeniä miljoonia siittiöitä, jotka kilpailevat yhden munasolun hedelmöittämisestä. Vaikka yhden siittiön ja munasolun kohtaamisen todennäköisyys on pie-

nempi kuin lottovoiton saaminen Suomessa, ovulaation aikaan tapahtuvan yhdyntän todennäköisyys käynnistää raskaus on useita kymmeniä prosentteja. Toinen esimerkki harvinaisten tapahtumien merkityksestä elämälle on antibioottiresistenssin nopea leviäminen bakteerikannoissa. Yksittäisessä bakteerissa resistenssin ilmaantuminen on erittäin epätodennäköistä, mutta miljardien bakteeriden joukosta antibiootit valikoivat nämä harvinaiset mutaatiot, ja antibioottiresistenttien kantojen leviäminen on bakteriologien jatkuva päänsärky.

Elämä on prosessi ajassa

Elämää ei kannata yrittää määritellä yksilön kautta. On hedelmällisempää tarkastella elämää

biologisena prosessina ajassa, jossa informaatio siirtyy DNA- tai RNA-ketjuissa sukupolvelta toiselle. Kaikki elämä perustuu näiden ketjujen digitaaliseen koodiin, joka käynnistää ympärillään »makromolekyylien muutoksia». Geneettinen koodi on pysyvää, ja se säätelee sangen yksinkertaisten kemiallisten reaktioiden kautta proteiinisynteesiä. Lopputuloksena syntyy miljoonia ja taas miljoonia valkuaisaineita, joiden pääasiallinen rakenneosana on hiili. DNA säätelee hiilimolekyylien organisoitumista proteiineiksi. Onko siinä elämän ydin? Sukupolvelta toiselle siirtyvä informaatio muuttuu vähitellen yhä monimutkaisemmaksi ja tuottaa uusia lajeja (Bonner 1988), joilla kaikilla on yhteinen primitiivinen kantaäiti – ensimmäinen solu tai ehkä sitäkin alkeellisempi organismi.

Solu vai lima?

Edelleen kiistellään siitä, muodostuiko ensin solu vai sen sisältämä aineenvaihduntakoneisto. Kysymys on tyypillisestä »muna vai kana» -ongelmasta. Koska kaikki elämän muodot RNA-viruksia lukuun ottamatta siirtävät informaatio-



ta sukupolvelta toiselle DNA-ketjuissaan, DNA:ta pidetään keskeisenä elämän ylläpitäjänä. On kuitenkin mahdollista, että ennen DNA:n valtakautta informaation siirto sukupolvesta toiselle on voinut perustua RNA:han (Frilander, tässä numerossa).

Solu osaa tulkita geneettistä koodia, muokkaa sen proteiineiksi ja suorittaa niiden avulla erilaisia tehtäviä. Solu kykenee jakautumaan ja tuottamaan uusia soluja. Ne kykenevät käyttämään ympäriltä tulevaa energiaa hyväkseen ja muuttamaan sen solun kannalta hyödyllisiksi biokemiallisiksi toiminnoiksi. Yksinkertaisimmat nykyisin elävät organismit, kuten Mycoplasma genitalium, tulevat toimeen muutamalla tuhannella geenillä. Ihmisellä on noin 35 000 geeniä, mutta kasveilla niitä voi olla satoja-



tuhansia. Elämän monimuotoisuus osoittaa, että geneettisen informaation lisääntyminen on ollut keskeistä evoluution aikana. Tosin lajin kehityksen ja geenien määrän korrelaatio on nähtävissä vain alkeellisissa lajeissa.

Nyt kun yli sadan organismin genomi on sekvensoitu, on mahdollista verrata lajien geenejä toisiinsa ja löytää elämän kannalta välttämättömät. Craig Venterin tarkoituksena oli paketoida kaikki nämä yhteen soluun ja katsoa, mitä tapahtuisi. Hänen mukaansa ainoastaan 265–350 geeniä tarvittaisiin alkeellisen solun tekemiseen (Sariola ym. 2000). Hanke tuomittiin myrskyisesti Yhdysvalloissa. Olisiko ihminen tehnyt tällä kokeella tekoelämää? Olisiko ihminen ryhtynyt Jumalan rooliin? Ei varmastikaan, sillä maa kuhisee samantapaisia alkeellisiä otuksia. Yli 99 % maapallon elomassasta on alkeellisia yksisoluisia.

Monisoluisuus on evoluution aikana »keksitty» monta kertaa. Ilmeisesti monisolaisuudesta on etua eloon jäämisen taistelussa. Monisolaisuudelle on esitetty useita syitä; niistä ehkä tär-

kein on ravinnon tehokas hyväksikäyttö. Monisoluinen organismi osaa käyttää erilaistuneiden kudosten ansiosta ravintoa tehokkaasti hyväkseen. On myös esimerkkejä lajeista, jotka ovat välillä yksisoluisia ja välillä monisoluisia. Limasieni muodostaa monisoluisen lisääntymiselimen ja lisääntymisen jälkeen hajoaa takaisin yksisoluisiksi.

Me elämme huomaamattamme symbioosissa lukuisten yksisoluisien kanssa. Ruoansulatus vaatii bakteerien toimintaa suolistossa, ja jokainen ihminen elää symbioosissa miljardien bakteerien kanssa. Jos tarkastelee maailmaa bakteerien näkökulmasta, ihminen ei ole mitään muuta kuin bakteerien bussikuski. Sekö on elämän tarkoitus?

Loppujen lopuksi

Elävän solun rakennuspalikoita aminohappoja ja DNA:ta syntyy ilmeisesti kaikkialla, myös avaruudessa koko ajan, mutta se ei selitä elämän syntyä. Keskeinen avoin kysymys on, mi-

ten ja missä ne ovat rakentaneet ympärilleen monimutkaisen organisoituneen koneiston. Loppujen lopuksi ei ole niinkään tärkeää, luotiinko

elämä vai syntyikö se kemiallisina reaktioina alkumeressä. Tärkeämpää olisi tietää, miten se tapahtui.

Kirjallisuutta

Bernstein MP, ym. Racemic amino acids from the ultraviolet photolysis of interstellar ice analogues. *Nature* 2002;416:401–3.

Bonner JT. The evolution of complexity by means of natural selection. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

Davies P. Viides ihme: elämän syntyä etsimässä. Helsinki: Terra Cognita, 1999.

Hämäläinen W. Keinoelämä – filosofisia kysymyksiä. <http://www.tml.hut.fi/Opinnot/Muut/TKTL/Keinoelama98/Paperit/philo.html>

Miller SL, ym. A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science* 1953;256:1416–9.

Munoz Caro GM, ym. Amino acids from ultraviolet irradiation of interstellar ice analogues. *Nature* 2002;416:403–6.

Sariola H. Mitä elämä on? Suomen Teologisen Kirjallisuusseuran Julkaisu 2002;233:90–102.

Sariola H, Thesleff I, Makarow M. Hiiret, hiivat ja kärpäset – mitä malliorganismit kertovat elämästä ja sen evoluutiosta. *Duodecim* 2000;116:1734–41.

Shock EL. Seeds of life? *Nature* 2002;416:380–1.

*HANNU SARIOLA, professori
hannu.sariola@helsinki.fi
Biolääketieteen laitos, kehitysbiologia
PL 63, 00014 Helsingin yliopisto*