

Syy ja seurauksen käsitteet biologiassa

■ Petter Portin

”Ihmisten, yhtä vähän kuin muidenkaan eläinten tekemissä valinnoissa ei näytä olevan mitään, mikä olisi tieteen syy ja seurauksen suhteita kartoittavan menetelmän tavoittamattomissa. Miksi näin olisikaan? Ovathan ihmiset luonnon tuotteita ja osia.” *Kari Lagerspetz (2008)*

”In biology nothing makes sense except in the light of evolution.” *Theodosius Dobzhansky (1964)*

Biologia poikkeaa eksakteista luonnontieteistä, fysiikasta ja kemiasta käyttämiensä lauseiden loogisen muodon suhteen. Fyysikko ja kemisti puhuvat harvoin tutkimiansa ilmiöiden syistä, vaan he esittävät löytämänsä lainalaisuudet yhtälöinä, joiden suhteen kysymys syystä ja seurauksesta on usein toisarvoinen. Esitystapa edellyttää, että tutkittavien ilmiöiden riittävät ja samalla välttämättömät ehdot tunnetaan, jolloin voidaan muodostaa yhtälö ja esittää lainalaisuus matematiikan kieltä käyttäen. Biologi sen sijaan ei vielä haaveile pystyvänsä laskemaan vaan toivoo pystyvänsä ennustamaan.

Ilmiöiden ennustaminen edellyttää, että tunemme niiden esiintymisen riittävät ehdot, niiden syyt. Riittävien ehtojen löytäminen on biologiassa usein vaikeaa niiden mutkikkouden takia. Tällöin voidaan pyrkiä löytämään ilmiöiden välttämättömiä ehtoja, joita ilman ilmiö ei voi esiintyä. Mitä enemmän välttämättömiä ehtoja tunnemme, sen lähempänä olemme ilmiöiden riittäviä ehtoja, sillä välttämättömien ehtojen konjunktio muodostaa ilmiön riittävän ehdon (Lagerspetz 1966). Toinen biologiselle luonnolle ominainen piirre on se, että ilmiöillä on aina historia. Tästä seuraa kausaliteetin kannalta se tärkeä seikka, että ilmiöiden taustalla voidaan erottaa sekä proksimaattisia että ultimaattisia tekijöitä. Edelliset ovat ilmiöiden välittömiä, esimerkiksi geneettisiä tai fysiologisia syitä. Jälkimmäiset taas ovat niiden evolutiivisia syitä. Tällaista syiden jaottelua ei eksakteissa luonnontieteissä esiinny, mikä tosiseikka puolustaa biologian autonomisuutta tieteenä.

Kausaliteetin mukaan syy johtaa seuraukseen. Kausaliteetti on syy-seuraussuhde eli kahden tapahtuman suhde, jossa toinen aiheuttaa toisen. Toinen tapahtuma on tällöin syy ja toinen seuraus. Syy esiintyy ennen seurausta.

Analysoidessaan syyä käsitettä Aristoteles erotti ja piti tarkkaan erillään ilmiön finalistisen syy (*causa finalis*) ja sen vaikuttavan syy (*causa efficiens*). Hän piti ilmiötä tieteellisesti selitettynä silloin, kun sen olennaisimmat piirteet oli kuvattu. Näihin kuului usein ilmiön ”tarkoituksen” esittäminen, tapahtuman *causa finalis*. Aristoteles ei vaatinut, että selittävän ilmiön tuli olla selitettävästä erillinen ja tähän kausaalisuhteessa (*causa efficiens* -suhteessa) oleva ilmiö (Lagerspetz 1956). Niinpä kiven putoaminen selitettiin finalistisesti seuraavasti: Kivi putoaa alaspäin maata kohti, koska raskaiden alkuaineiden luonnollinen paikka on maailman keskellä. Kivi siis pyrkii olemuksensa mukaisesti tuohon päämäärään. Sen sijaan kiven putoamisen vaikuttavaa syytä, kapaleiden välistä vetovoimaa, gravitaatiota ei silloin vielä tunnettu eikä osattu ajatella.

Renessanssin suurten luonnontieteilijöiden ansiosta fysiikassa ja kemiassa ilmiöt nykyisin selitetään yksinomaan kausaalisesti. Sen sijaan biologiassa edelleen usein ilmiötä selitettäessä kysytään, mikä on sen finalistinen syy, vaikkakin lopulta pyritään kausaaliseen selittämiseen. Voidaan esimerkiksi kysyä, mikä on jonkin elimen tehtävä eli funktio tai mikä on eliön jonkin toiminnan biologinen tarkoitus. Kuten jäljempänä osoitetaan, tämä johtuu siitä, että eliöt ovat ensinnäkin biologisen evoluution, lajinkehityksen eli fylogeneesin, ja toiseksi yksilönkehityksen eli ontogeneesin tuloksia. Finalistiset eli teleologiset selitykset auttavat hahmottamaan lajinkehitystä ja yksilönkehitystä, vaikkakaan ne eivät ole lopullisena tavoitteena olevia kausaalisia selityksiä. Eliöillä on aina tietty historia, ja itse asiassa biologisia ilmiöitä voi tieteellises-

ti ymmärtää vain evoluutioteorian valossa. Sen sijaan pelkkään ilmiöiden kuvaamiseen ei evoluutioteoriaa välttämättä tarvita.

Biologisten ilmiöiden selittäminen

Biologian metodisena erikoispiirteinä ovat olleet ja ovat osaksi edelleen teleologiset eli finalistiset selityspusteet ja ajatustavat. Pyrkiesään ymmärtämään jotain tutkimaansa ilmiötä, vaikkapa verenkiertoa, biologi usein kysyy mikä on ilmiön biologinen tarkoitus, miten se palvelee tutkimuksen kohteena olevan eliön elossa säilymistä ja lisääntymiskykyä.

Niinpä jos sanomme, että nisäkkäiden verenkierron tarkoitus on, että kudokset saisivat happea, huomaamme, että verenkierto on kudosten hapensaannin välttämätön ehto. Lisäksi kudosten hapensaanti on kyseessä olevan eliön elossa säilymisen ja niin ollen myös sen lisääntymiskyvyn välttämätön ehto.

Kari Lagerspetz (1931–2012) on väitöskirjassaan (Lagerspetz 1959) ensimmäisenä osoittanut, että teleologiset selitykset biologiassa ovat väittämässä finaalisena syynä; ”tarkoituksena” olevan ilmiön välttämättömiä ehtoja esittäviä väittämiä. Edelleen hän on osoittanut, että ilmiöiden välttämättömien ehtojen esittäminen näyttää olevan pohjana elävän luonnon väitetylle tarkoituksenmukaisuudelle (Lagerspetz 1966).

Nisäkkäiden verenkierron riittävä ehto taas on tunnetusti sydämen toiminta. Jos havaitsemme, että nisäkkään sydän toimii, voimme olla varmoja siitä, että sen veri kiertää. Sydämen toiminta on verenkierron kausaalinen, kudosten hapensaanti taas sen finalistinen selitys. Ilmiön kausaalinen selittäminen tekee sen ennustamisen ainakin periaatteessa mahdolliseksi. Finalististen eli teleologisten selitysten perusteella ei ilmiöiden ennustaminen ole mahdollista (Lagerspetz 1959). Jos havaitsemme kudosten saavan happea, mutta emme ennakolta tiedä mitään verenkierrosta, emme voi verenkierrosta mitään päätellä. Välttämättömän ja riittävän ehdon käsitteitä käsitellään seuraavassa muodolliselta kannalta.

Välttämättömät ja riittävät ehdot

Biologiassa syyn käsitettä käytetään ainakin kah-

nessa, toisistaan muodollisesti poikkeavalla tavalla: joko tarkoittamaan jonkin ilmiön välttämättömyyttä tai riittävää ehtoa. Monelta epäselvyydeltä välttyttäisiin, jos tehtäisiin selväksi, kumpaa syyn käsitettä tarkoitetaan. Biologiassa sekä ilmiön välttämättömät että riittävät ehdot ovat usein moninaisia ja kompleksisia, ja ilmiöiden taustalla on useimmiten monimutkainen syysuhteiden ketju tai verkosto, jossa yhtä ainoaa tekijää harvoin voidaan osoittaa ilmiön ainoaksi vaikuttavaksi syyksi. Kun puhutaan ilmiön vaikuttavasta syystä, tarkoitetaan sen riittävää ehtoa.

Ilmiö A on ilmiön B välttämätön ehto (VE), jos aina B:n esiintyessä myös A esiintyy. Ilmiö A on ilmiön B riittävä ehto (RE), jos aina A:n esiintyessä myös B esiintyy. Näistä määritelmistä huomaamme, että jos A on B:n välttämätön ehto, B on A:n riittävä ehto ja päinvastoin. Täten siis välttämättömän ja riittävän ehdon käsitteillä on tietynlainen jaotteleva luonne. Jos A on B:n välttämätön ehto, B ei voi esiintyä ilman A:ta, mutta A voi esiintyä ilman, että B esiintyy. Jos A on B:n riittävä ehto, B voi esiintyä ilman, että A esiintyy, mutta A ei voi esiintyä ilman B:tä. Mikäli aina ja vain, jos A esiintyy, myös B esiintyy, A on B:n ja B A:n välttämätön ja samalla riittävä ehto. Välttämättömän ja riittävän ehdon käsitteet ovat keskeisiä modaalilogiikassa, välttämättömyyden ja mahdollisuuden loogisia piirteitä tutkivassa logiikan osassa, jonka kehittämisessä maineikas filosofimme Georg Henrik von Wright (1916–2003) on erityisesti ansioitunut (ks. esim. Wright 1942)

Ottakaamme esimerkiksi somaattinen mutaatioilmiö, koska se näyttää olevan useiden syöpien synnyn välttämätön mutta ei riittävä ehto. Somaattisen mutaation synnyn välttämättömiä ehtoja ovat seuraavat neljä tapahtumaa: 1) Solun tuman DNA:han syntyy virhe. 2) Kyseinen virhe jää solun korjausmekanismien toimissa korjautumatta. 3) Solu, jonka DNA on vaurioitunut, ei kuole. 4) Solu jakautuu.

Vasta tällöin on syntynyt periytyvä solun geenien muutos, (tässä tapauksessa) somaattinen mutaatio. Huomaamme, että ilmiön kaikkien välttämättömien ehtojen konjunktio (VE_1, VE_2, \dots ja VE_n) on sen riittävä ja samalla välttämätön ehto. DNA-vaurion riittäviä ehtoja puo-

lestaan on useita. Esimerkiksi kromosomien kahdentuessa sattuva DNA:n nukleotidivaihdos on sellainen. Samoin liikkuvan DNA-fragmentin liittymä tai poistuma geenissä riittää aiheuttamaan DNA-vaurion. Huomaamme nyt, että ilmiön riittävien ehtojen disjunktio (RE_1, RE_2, \dots tai RE_n) on sen välttämätön ja samalla riittävä ehto. Tämänkin välttämättömien ja riittävien ehtojen loogisen ominaisuuden on osoittanut von Wright (1951), ja biologisen tutkimuksen kannalta sitä on meillä aikaisemmin käsitellyt Lagerspetz (1980).

Riskitekijän käsitteestä biologiassa

Riskitekijät ovat biologiaa soveltavissa tieteissä, kuten lääketieteessä, usein esiin tuleva käsite, joka jossain suhteessa muistuttaa synn käsitettä.

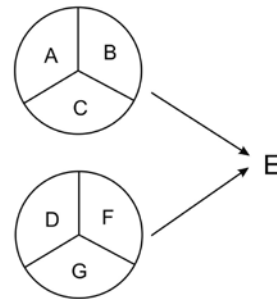
Kuten esimerkiksi tiedetään, on tupakanpolto keuhkosityövän riskitekijä, mutta se ei ole keuhkosityövän sen paremmin välttämätön kuin riittäväkään ehto, koska tupakoimatonkin henkilö voi sairastua keuhkosityöpään ja toisaalta kaikki tupakoitsijat eivät siihen sairastu. Tietyn riskitekijän lisäksi tarvitaan muita tekijöitä, jotta ilmiö esiintyisi.

Australialaisen David Charles Stoven luoman niin kutsuttujen INUS-ehtojen käsitteistön soveltaminen auttaa riskitekijöiden muodollisessa analysoinnissa. INUS on lyhenne sanoista *insufficient but non-redundant part of an unnecessary but sufficient condition* ("riittämätön, mutta olennainen osa ei-välttämätöntä, mutta riittävää ehtoa; Mackie 1974).

INUS-ehtojen käsitteistön mukaan eri riskitekijät muodostavat yhdessä syiden yhdistelmiä, joista jokainen erikseen on ilmiön riittävä ehto. Asiaa selventää oheinen kuva.

Olkoon A tupakanpolto ja E keuhkosityöpä. B ja C ovat muita keuhkosityövän riskitekijöitä. Yhdessä A, B ja C muodostavat keuhkosityövän riittävän ehdon, sen aiheuttavan synn. Olkoon edelleen D vaikkapa asbestialtistus, jonka myös tiedetään olevan keuhkosityövän riskitekijä. Yhdessä F:n ja G:n kanssa, jotka ovat muita keuhkosityövän riskitekijöitä, se muodostaa tekijäryhmän, joka on keuhkosityövän riittävä ehto. Täten siis eri syiden yhdistelmissä riskitekijät

toteuttavat sen välttämättömille ehdoille tyypillisen piirteen, että niiden konjunktio muodostaa ilmiön riittävän ehdon. Samoin eri syiden yhdistelmät toteuttavat sen riittäville ehdoille tyypillisen piirteen, että niiden disjunktio on ilmiön välttämätön ehto; jonkin niistä täytyy toteutua, jotta ilmiö esiintyisi.



On luonnollisesti selvää, että tietty riskitekijä voi esiintyä jäsenenä useassa eri syiden yhdistelmässä. Tällainen voisi lääketieteessä olla esimerkiksi geneettinen alttius tiettyyn sairauteen, joka esiintyisi INUS-ehtona useissa, mutta ei välttämättä kaikissa syiden yhdistelmissä.

INUS-ehtojen käsitteistö selkeyttää siis riskitekijän käsitettä. Tietty riskitekijä on ilmiön välttämätön ehto yhdessä syiden yhdistelmässä, kun taas toinen riskitekijä on ilmiön välttämätön ehto toisessa syiden yhdistelmässä. Kukin syiden yhdistelmä muodostaa ilmiön riittävän ehdon. Yksin esiintyessään kukin riskitekijä on riittämätön, mutta olennainen osa ilmiön ei-välttämätöntä, riittävää ehtoa eli siis INUS-ehto.

Proksimaattiset ja ultimaattiset tekijät biologiassa

Yksi viime vuosisadan merkittävimmistä evoluutiobiologeista, saksalaissyntyinen, Yhdysvalloissa vaikuttanut Ernst Mayr (1904–2005) on esittänyt biologisten ilmiöiden kausaalialueen kannalta tärkeän syiden jaottelun proksimaattisiin ja ultimaattisiin tekijöihin (Mayr 1961). Edelliset ovat ilmiön välittömiä, esimerkiksi geneettisiä tai fysiologisia syitä. Jälkimmäiset taas ovat ilmiön kehittymisen evolutiivisia syitä, kuten esimerkiksi luonnonvalinta. Mayr esitti, että proksimaattiset ja ultimaattiset syyt ovat vastauksia eri kysymyksiin eivätkä ole vaih-

toehtoisia vaan toisiaan täydentäviä selityksiä.

Monelta turhalta tieteelliseltä kiistalta vältyttäisiin jos osapuolet huomaisivat puhuvansa tässä suhteessa eri asioista. Esimerkiksi kun evoluutiopsykologit kiistävät psykoanalyysin merkityksen insestitabun synnyssä, he eivät oivalla, että evoluutiopsykologia etsii vastausta insestitabun ultimaattisiin syihin, miksi se on lajinkehityksen kuluessa kehittynyt, kun taas psykoanalyysi pyrkii löytämään ilmiön proksimaattiset syyt, miten insestitabu yksilönkehityksen aikana kehittyi.

Varsin hyvä esimerkki syiden jaottelusta proksimaattisiin ja ultimaattisiin tekijöihin on se biologinen ilmiö, että jänis muuttuu syystalvella ruskeasta valkoiseksi ja keväällä taas takaisin ruskeaksi. Ilmiön proksimaattisia syitä ovat valorytmiset, hormonaaliset ja karvojen pigmentaatioon vaikuttavat fysiologiset muutokset. Ilmiön ultimaattinen syy taas on suojaväri, siis elossa säilyminen vaihtelevassa ilmastossa. Proksimaattiset tekijät näyttävät siis olevan ilmiön kausaalisia, vaikuttavia syitä, sen riittäviä ehtoja. Ultimaattiset tekijät puolestaan näyttävät olevan ilmiön esiintymisen finalistisia syitä, sen välttämättömiä ehtoja. Samalla ne kuitenkin näyttävät olevan ilmiön evolutiivisen kehityksen riittäviä ehtoja.

Totesimme aiemmin, että nisäkkäiden verenkierron esiintyminen on kudosten hapensaannin välttämätön ehto. Toisaalta kudosten hapensaannin välttämättömyys on yksi riittävä ehto sille, että verenkierto on evoluution kuluessa kehittynyt. Toinen verenkierron kehityksen riittävä ehto on ravinnon kulku kudoksiin. Näemme siis, että ilmiön esiintymisen ultimaattiset tekijät jakautuvat useiksi ilmiön evolutiivisen kehityksen riittäviksi ehdoiksi.

Mayrin esittämä syiden jaottelu on palvellut hyvin vallitsevaa evoluutioteorian muotoa. Kuitenkin sitä on aivan viime aikoina alettu kritiikoida liian yksipuolisena (Laland ym. 2011). Kriitikoiden mukaan hänen dikotomiansa ei enää vastaa uusien havaintojen esiin tuomaa biologisten syy-seuraussuhteiden mutkikkautta. Mayrin esittämä jaottelu liittyy proksimaattiset tekijät ontogeneiaan ja ultimaattiset tekijät fylogeneiaan. Kuitenkin modernein biologinen tutkimus pyrkii yhdistämään yksilönkehityksen

ja lajinkehityksen tutkimuksen traditioita. Tätä tutkimussuuntaa kutsutaan evo-devo-tutkimukseksi (evo = *evolution*, lajinkehitys; devo = *development*, yksilönkehitys). Tällä tutkimussaralla erilaiset itesesäätelyilmiöt ja vastavuoroiset syy-seuraussuhteet ovat tärkeitä. Niitä on meillä teoreettisen biologian kannalta käsitellyt Lagerpetz alan oppikirjassaan (1982). Hän kirjoittaa muun muassa seuraavasti (s. 94): ”Syyn ja vaikutuksen suhteeseen ja kausaaliperiaatteeseen perustuvien selitysten ylimalkainen arvostelu on hyödytöntä. Tiede edistyy yksityiskohtaisia kausaaliselityksiä parantamalla. Ilmiöiden välttämättömien ja riittävien ehtojen erottaminen selvittää biologiassa ja lääketieteessä käytettyjä selityksiä.”

Kirjallisuus

- Dobzhansky, Theodosius 1964: Biology, molecular and organismic. *American Zoologist* 4, 443–452.
- Lagerspetz, Kari 1956: Biologisten ilmiöiden finalistisesta ja kausaalista selittämisestä. *Ajatus* 19, 113–120.
- Lagerspetz, Kari 1959: Teleological explanations and terms in biology. A study in theoretical biology. *Annales Zoologici Societatis Zoologicae Botanicae Fenniae ‘Vanamo’* 19, (6), 1–73.
- Lagerspetz, Kari 1966: *Eläin ja kone. Luonnontutkijan esseitä*. WSOY, Porvoo, Helsinki.
- Lagerspetz, Kari 1980: The problem of causality in biomedical research. *Publications of The Academy of Finland* 1980 (11), 140–147.
- Lagerspetz, Kari 1982: *Sattumasta sääteleyyn. Eliöt sopeutuviina sääteleyjärjestelminä*. WSOY, Porvoo, Helsinki, Juva.
- Lagerspetz, Kari 2008: *Minun karttani*. Terra Cognita, Helsinki.
- Laland, Kevin N., Sterelny, Kim, Odling-Smee, John, Hoppitt, William & Uller, Tobias 2011: Cause and effect in biology revisited: Is Mayr’s proximate-ultimate dichotomy still useful? *Science* 334, 1512–1516.
- Mackie, John Leslie 1974: *The cement of universe. A study of causation*. Clarendon Press, Oxford.
- Mayr, Ernst 1961: Cause and effect in biology. *Science* 134, 1501–1506.
- Wright, Georg Henrik von 1942: Några anmärkningar om nödvändiga och tillräckliga betingelser. *Ajatus* 11, 220–239.
- Wright, Georg Henrik von 1951: *A treatise on induction and probability*. Routledge & Kegan, London.

Kirjoittaja on Turun yliopiston perinnöllisyystieteen emeritusprofessori. Kirjoitus on omistettu Turun yliopiston eläinfyysiologian professorin Kari Lagerspetzin muistolle. Kiitokset kommentaista Juhani Pietariselle.