

PALEONTOLOGISIA ALKUMUOTOJA ETSIMÄSSÄ



Paleontologi etsii fossiilaineistosta sukupuuttoon kuolleita muotoja ja tutkii, millaisia sukulaisuussuhteita niillä on nykyisiin muotoihin. Alkumuotona voidaan pitää fossiilia, joissa näkyy ensimmäistä kertaa rakenne, joka yleistyy myöhemmissä muodoissa. Nyt maapalloa hallitsee vain muutama nisäkäslaji, ja suurin osa alkumuotojen monimuotoisuudesta on hävinnyt tai häviämässä.

Nisäkkään kolme kuuloluuta ovat kehittyneet alaleuan luista. Kuuloluut parantavat kuuloaistia kiinnittymällä ketjussa tärykalvon ja kuuloelimen väliin. Ne välittävät ja tehostavat ilman väreilynä saapuvaa ääniaaltoa, joka saa kuuloelimen nesteen väreilemään ja kuulohermon välittämään aistimuksen aivoille. Kolmen kuuloluun muodostamaa ketjua voidaan pitää avainsopeumana.

Kuuloluiden kehitys tunnetaan fossiilaineistosta hyvin. Ensimmäisenä alkumuotona voidaan pitää jurakaudella elänyttä *Morganucodon*-sukua, jolla oli kummallakin puolella kalloa kaksi rinnakkaista niveltä. Ne koostuivat Meckelin rustosta, alaleuanluusta ja kahdesta luusta, *articulare* ja *quadrate*,

joista kehittyi myöhemmille nisäkäille kuuloluuta, vasara (*malleus*) ja alasin (*incus*).

Morganucodonin hampaiden kulumasta on voitu päätellä, että eläin pureskeli ruokaansa myös jauhamalla sivusuunnassa. Kaksoisleukanivel salli sivusuuntaiset liikkeet ja uudenlaiset hampaat auttoivat eläintä käyttämään ravintoaan tehokkaammin hyväkseen, ja se mahdollisti todennäköisesti aivan uusien ravintolähteiden käytön (Anthwal ym. 2012).

Morganucodonin kaksoisnivelesestä leuasta kehittyi seuraavassa vaiheessa muoto, jossa kaikki alaleuanluut kiinnittyivät vielä kalloon rustolla, mutta uloimmat alaleuanluut eivät enää osallistuneet nivelen liikkeisiin. Viimeisessä vaiheessa kalloon kehittyi nyky-

***Morgannucodon* eli satoja miljoonia vuotta sitten dinosaurusten keskellä. Nykytiedon mukaan kaikki nisäkäslajit polveutuvat siitä.**

Ruumiinkooltaan suuret nisäkkäät rikastuivat nopeasti, koska kilpailua muiden selkärankaisryhmien edustajien kanssa ei ollut.

nisäkkäille tyypillinen luulokero (*bullae auditivae*), jonka sisälle kuuloluut ja kuuloelin sulkeutuivat.

Tällaisen rakenteen ensimmäiset tunnetut edustajat kuuluivat *Hadrocodium*-sukuun. Ne olivat yhä mesotsooisella kaudella eläneitä alkunisäkkäitä (*Mammaliformes*), joilla oli myös varhaisiin sukulaisiinsa nähden suuret aivot.

Uudenlainen leukanivel, jossa niveltyi vain yhdestä luusta koostuva alaleuka ja kallon pohjassa sijaitseva nivelkuoppa, antoi tilaa suuremmalle aivokopalle. Suuret aivot ovat myös yksi nisäkkäiden avainsopeumia (Meng ym. 2018).

Yhden luun muodostama alaleuka oli vahva, ja siihen mahtui nisäkkäälle tyypilliset erikoistuneet hampaat. Rakenne mahdollisti myös vahvojen puremalihasten kehityksen. Kuuloluiden ketjun avulla nisäkkäiden kuulo on erityisen hyvä.

Kuuloluiden kehitykseen liittyvät säätelygeenit tunnetaan jo melko hyvin, joten muutoksiin vaadittava geneettinen muutos ja yksilön kehityksen muokkaus ymmärretään. Mutaatiot ja kehityshäiriöt näissä geeneissä aiheuttavat ongelmia kuulossa ja kehitys-

häiriöitä korvan alueen luurakenteissa (Ankamreddy ym. 2020).

AVAINSOPEUMA TAKASI MENESTYKSEN

Avainsopeumaa seuraa uusien lajien ja uudenlaisten muotojen synty, sopeutumisleivittäminen eli adaptiivinen radiaatio. Uudenlaisen purukaluston sekä tarkemman kuulon ja suurempien aivojen ansiosta nisäkkäille avautui uusia mahdollisuuksia sopeutua erilaisiin ympäristöihin ja ekologisiin rooleihin.

Kallon rakenteiden muutosten lisäksi esi-nisäkkäille kehittyi muitakin sopeumia, jotka takasivat menestyksen. Esimerkiksi erityislaatuinen rasvakudos oli selkeä valintaetu, joka turvasi hengissä säilymistä ja lisääntymistä vaihtelevissa olosuhteissa. Rasvakudos mahdollisti myös maitorauhasen kehityksen ja imettämisen jälkeläisten ruokintakeinona.

Rasvakudos oli yksi avainsopeuma. Rasva on eläimille tärkeä keino varastoida energiaa. Monilla eläimillä sitä on vain tietyissä elimissä, kuten maksassa tai hännässä. Nisäkkäiden lisäksi vain linnuilla rasvaa on jakautuneena ympäri kehon. Erityisesti nisäkkäiden ruskearasva auttaa lämmönsäätelyä kylmissä ja an-

karissa olosuhteissa yhdessä karvapeitteen kanssa (Pond 1992).

Dinosaurusten kuoltua sukupuuttoon liitukauden lopulla nisäkkäistä tuli nopeasti sekä lajirunas että monimuotoinen ryhmä (esimerkiksi Halliday ja Goswami 2016).

ISOT KASVINSYÖJÄT OLIVAT HARVINAISIA

Suurikokoisuus oli yksi nisäkkäiden monimuotoisuutta lisännyt seikka. Ruumiinkooltaan suuret nisäkkäät rikastuivat nopeasti, koska kilpailua muiden selkärankaisryhmien edustajien kanssa ei ollut. Varsinkin isot kasvinsyöjät olivat olleet harvinaisia. Dinosaurukset hallitsivat tässä ryhmässä ennen nisäkkäitä (Sanisidro ym. 2023).

Suuria kasvinsyöjänisäkkäitä kehittyi erilaisten avainsopeumien avulla. Kasviravintoa on vaikeaa sulattaa, sillä kasvisolut koostuvat suurelta osin selluloosasta, jota eläinten omat ruuansulatuskanavan entsyymit eivät pysty hajottamaan. Kasvinsyöjät kohdistavatkin syömisensä yleensä kasvin proteiinirikkaisiin siemeniin ja niihin liittyviin sokeripitoisiin elimiin, kuten hedelmiin ja marjoihin (Duchesne ja Larson 1989).

Suurikokoiset eläimet tarvitsevat paljon ravintoa, ja niiden on siksi syötävä myös selluloosapitoisia kasvinosia. Se onnistuu suoliston selluloosaa pilkkovan mikrobifaunan avulla. Isojen nisäkkäskasvinsyöjien myötä kehittyi myös isokokoisia nisäkäspetoja.

Märehtijöille kehittyi avainsopeumana mikrobirikas neljän mahan elin, jossa pilkkoutuu sekä selluloosa että typpiyhdisteet. Kavioeläimet ja norsueläimet sen sijaan hajottavat selluloosan paksusuolensa alkuosassa, umpisuolessa. Ratkaisut poikkeavat toisistaan: märehitjät pilkkovat ravinnon jo ennen sen joutumista ohutsuoleen, jossa tapahtuu jo paljon imeytymistä, kun taas kavioeläimillä ja norsuilla selluloosa kulkee läpi ohutsuolen sulamattomana (Janis 1976).

Lisäksi märehitjoiden selluloosan pilkkominen on tehokkaampaa kuin esimerkiksi hevoseläinten ruuansulatus. Toisaalta hevoseläin voi syödä suuremmat määrät karkeaa selluloosapitoista ravintoa, kuten ruohoa. Märehtijät tarvitsevat siis parempilaatuista ravintoa, kun umpisuolessa sulattavat voivat syödä enemmän ja huonompilaatuista ravintoa.

Geologisessa ajassa sekä kavioeläinten että sorkkaeläinten monimuotoisuus on vaihdellut, mutta erilainen ravinnonkäyttö mahdollistaa niiden yhteiselon. Nykyään märehitjät ovat selkeästi monimuotoisempi ja runsaslajisempi ryhmä kuin kavioeläimet (Janis 1993).

MERTEN ISOT OVAT MYÖS NISÄKKÄITÄ

Merienkin suurten eläinten yhteisö koostuu nisäkkäistä. Siihen on tarvittu omat alkumuotonsa ja avainsopeumansa. Yksi niistä on kaikuluotaus, jonka avulla hammasvalaat



KUVAN LÄHDE: ALAMY

Tunnetuin afrikkalaisen etelänapinan fossiili on Lucy, joka löydettiin Etiopiasta vuonna 1974. Sen luurangosta oli säilynyt noin 40 prosenttia.

(*Odontoceti*) suunnistavat ja etsivät ravintoa. Vaikka kaikuluotaus on käyttäytymispiirre, se näkyy fossiiliaineistossa.

Kaikuluotaukseen tuotettu ääni syntyy kallon sisällä, sillä valailta puuttuvat äänihuulet. Muille nisäkkäille tyypilliset äänijänteitä tukevat kurkunpään rustot ovat kaikuluotaavalla valaalla nenäontelossa, joka päättyy yhteen ilma-aukkoon, jota ym-

päröivät huulet tuottavat äänet. Nämä fonettiset huulet tuottavat kaikuluotauksen korkeataajuisia äänisignaaleja.

Valaiden erilainen äänen tuotto näkyy kallon epäsymmetriana, ja yläleuan rakenteissa. Varhaisin tyypillinen kaikuluotavaan valaan fossiilinen kallo tunnetaan Pohjois-Amerikasta noin 30 miljoonan vuoden takaa. Tämä *Cotylocara*-suku on lähellä ny-

Ihmisen kehityshaarassa avainsopeumana ja alkumuotona voidaan pitää kättä.

kyisten hammasvalaiden alkumuotoa. Näihin aikoihin alkoi nykyisin meriä hallitsevien hammasvalaiden sopeutumislevittäytyminen (Geisler ym. 2014).

IHMISYKSILÖITÄ ON PALJON MUTTA VAIN YKSI LAJI

Ihminen ja sen lähisukulaiset, suuret ihmisapinat, ovat nykyään harvalajinen joukko. Silti ihminen on yksilömääränä mitattuna maapallon menestyksekkäin nisäkäslaji.

Myös ihmisen alkumuotoa voidaan hakea avainsopeumien avulla. Avainsopeumia ihmisen menestykseen ovat ainakin kahdella jalalla liikkuminen neljän sijaan, aivojen koon kasvu ja näppärä käsi. Nämä ominaisuudet perustuvat osin luiden muotoihin ja ovat siis tulkittavissa fossiiliaineistosta.

Ihmisen avainsopeumina voidaan myös pitää sosiaalisuutta ja kommunikointikykyä oman lajin kesken. Lisäksi ihmisen menestykselle on ollut avainasemassa muiden lajien käyttäytymisen tulkinta ja niiden kanssa kommunikaatio. Tämä kyky on johtanut muun muassa kotieläinten pitämiseen.

IHMISTEN MONIMUOTOISUUDESTA YHTEEN HALLITSEVAAN LAJIIN

Kaksijalkaisuus kehittyi 5–7 miljoonaa vuotta sitten. Etelänapinat (*Australopithecinae*) olivat ensimmäisiä kahdella jalalla matkaa taittavia apinaihmissä, ja ne sopeutuivat moniin rooleihin.

Etelänapinat olivat sekä lajimäärältään että ekologisesti monimuotoisia. Jopa samoilla alueilla saattoi elää useita etelänapinalajeja, joka kertoo alkumuodon menestyksestä. Etelänapinoiden rinnalle syntyi kehityshaara, ihmisen *Homo*-suku, johon siihenkin syntyi useita lajeja.

Jääkauden loppupuolella nykyihmisen kannat vahvistuivat ja lajin leviämialue kasvoi. Samaan aikaan kaikki muut kaksijalkaiset ihmisapinat hävisivät sukupuuttoon.

Ihmisen kehityshaarassa avainsopeumana ja alkumuotona voidaan pitää kättä. Käden anatomiasta on ollut eri muunnelmia ihmisen evoluution aikana. Fossiiliaineistosta löytyy erilaisia mittasuhteita ja anatomisia rakenteita. Pinsettiote on nykyiselle ihmiselle ainutlaatuinen sopeuma (esimerkiksi Marzke ja Marzke 2000).

Pinsettiotteen avulla saamme tarkan mutta vahvan otteen esimerkiksi kynästä tai tikusta. Tähän vaaditaan muihin sormiin nähden pitkä peukalo, jossa on liikkuva mutta vahvasti tuettu tyvinivel kämmenluiden ja sormiluun välissä (esimerkiksi Feix ym 2015).

Kokonaisuutena ihmisen yläraaja on melko tyypillinen kädellisen yläraaja. Siinä on liikettä salliva ja vahvojen lihaksien tukema olkanivel ja liikkuva ranne, joka mahdollistaa kyynärnivelistä lähtevät kiertoliikkeet.

LAJEJA HÄVIÄÄ, KESYELÄIMET HALLITSEVAT YKSILÖMÄÄRÄLLÄÄN

Tänä päivänä nisäkkäiden monimuotoisuus on ainutlaatuinen ja erikoinen. Tämä kolmella kuuloluulla ja isoilla aivoilla varustettu ryhmä hallitsee sekä maa- että meriselkäränkaisina.

Lajien ja sopeumien monimuotoisuus on kuitenkin uhattuna. Yksittäinen nisäkäslaji, ihminen, on yksilömäärältään hirvittävän runsas. Toisaalta ihmisen lähisukulaiset ovat joko kuolleet sukupuuttoon tai erittäin uhanalaisia. Tämä evolutiivinen haara ei siksi ole menestys lajirunsauden tai ekologisen monimuotoisuuden näkökulmasta.

Ihmisen lisäksi ihmisen seuralajit, lemmikit ja kotieläimet, ovat yksilömääriltään hyvin runsaita. Kesyeläimet vastaavat suurimmasta osasta koko maapallon nisäkäslajiston yhteispainosta eli biomassasta. Ihminen itsekin on niin yleinen, että suhteellisen pie-

nestä ruumiinpainostaan huolimatta ihmiset vastaavat noin 40 prosenttia maapallon tämänhetkisestä biomassasta. Villieläinten biomassan osuus jää noin yhteen prosenttiin. (Greenspoon ym. 2023.)

Monet kotieläinten sukulaislajit ovat vaarassa hävitä, joten niidenkin haarojen monimuotoisuus on uhattuna. Esimerkiksi aikoinaan menestyi monimuotoinen hevoseläinten ryhmä, jonka umpisuoli oli kehittynyt sulattamaan karkeaa selluloosapitoista ravintoa. Ryhmän villeistä edustajista vain aasialainen kiangi ja arosepra ovat kannoiltaan elinvoimaisia, ja niidenkin esiintymisalueet ovat pienentyneet. Merien nisäkkäiden monimuotoisuus on sekin uhattuna, sillä suuri osa valaslajeista on uhanalaisia. (equids.org; iucn-csg.org.)

Evolutiivisessa ajassa kehityskulku on luonnollinen. Alkumuodosta kehittyi yhä erikois-
tuneempia lajeja, jotka ovat entistä alttiimpia sukupuutolle (Raia ym. 2016). Katastrofien jälkeen syntyy kuitenkin uusia alkumuotoja.

Artikkeli perustuu Tieteen päivien luento-
jonka Suvi Viranta piti 13.1.2023 Helsingin
yliopistolla.

*Suvi Viranta on anatomian vanhempi
yliopistonlehtori ja paleobiologian dosentti
Helsingin yliopistossa.*



Kiangit ovat elinvoimaisia Tiibetin ja lähialueiden vuoristoylängöillä.

KIRJALLISUUS

- Ankamreddy, H., Bok, J. ja Groves, A. K. 2020. Uncovering the secreted signals and transcription factors regulating the development of mammalian middle ear ossicles. *Developmental Dynamics* 249, 1410–1424.
- Anthwal, N., Joshi, L. ja Tucker, A. S. 2013. Evolution of the mammalian middle ear and jaw. *Journal of Anatomy* 222(1), 147–160.
- Duchesne, L. C. ja Larson, D. W. 1989. Cellulose and the evolution of plant life. *Bioscience* 39(4), 238–241.
- Feix, T., Kivell, T. L., Pouydebat, E. ja Dollar, A. M. 2015. Estimating thumb–index finger precision grip and manipulation potential in extant and fossil primates. *Journal of the Royal Society Interface* 12(106), 20150176.
- Geisler, J. H., Colbert, M. W. ja Carew J. L. 2014. A new fossil evidence supports an early origin for toothed whale echolocation. *Nature* 508 (7496), 383–386.
- Greenspoon, L., Krieger, E., Sender, R., Rosenberg, Y., Bar-On, Y. M., Moran, U. ja Milo, R. 2023. The global biomass of wild mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120(10), e2204892120.
- Halliday, T. J. D. ja Goswami, A. 2016. Eutherian morphological disparity across the end-Cretaceous mass extinction. *Biological Journal of the Linnean Society* 118(1), 152–168.
- Janis, C. 1976. The evolutionary strategy of the Equidae and the origins of rumen and cecal digestion. *Evolution*, 757–774.
- Janis, C. M. 1993. Tertiary mammal evolution in the context of changing climates, vegetation, and tectonic events. *Annual review of ecology and systematics* 24(1), 467–500.
- Marzke, M. W. ja Marzke, R. F. 2000. Evolution of the human hand. *The Journal of Anatomy* 197(1), 121–140.
- Meng, J., Bi, S., Zheng, X. ja Wang, X. 2018. Ear ossicle morphology of the Jurassic euharamiyidan *Arboroharamiya* and evolution of mammalian middle ear. *Journal of Morphology*, 279(4), 441–457.
- Pond, C. M. 1992. An evolutionary and functional view of mammalian adipose tissue. *Proceedings of the Nutrition Society*, 51(3), 367–377.
- Raia, P., Carotenuto, F., Mondanaro, A. ym. 2016. Progress to extinction. *Sci Rep* 6, 30965.
- Sanisidro, O., Muhlbachler, M.C. ja Cantalapiedra, J. L. 2023. A macroevolutionary pathway to megaherbivory. *Science* 380, 616–618.