

HAI

ei tarvitse hammaslääkärää

■ Hain hampaat ovat evoluution mestarinäyte, josta ovat kiinnostuneet niin genetiikan tutkijat kuin modernien materiaalien kehittäjät.

Jarmo Wallenius

Hampaistaan hai tunnetaan. Lahjavevosta ei pidä katsoa suuhun eikä koiraa karvoihin, mutta valtamerten saalistajan ampaistessa merenpintaan näkyviin tulee vain sen ammolaan oleva kita lukuisine hammasriiveineen.

Niitä kelpaa ihailla, sillä hailla on luomakunnan terveimmät hampaat. Hain hammaslääkärinä toimii luonto, minkä ansiosta peto säilyy koko pitkän elämänsä ajan ravintoketjun huipulla.

Rustokalojen luokkaan ja leveäsuisten alaluokkaan kuuluva hai on uiskennellut Maan merissä jo vaikuttavat 400 miljoonaa vuotta. Osittain nykyisen kaltaisia hailajeja alkoi kehittyä kivihiilikaudella noin 300–350 miljoonaa vuotta sitten.

Hai voi elinaikanaan kasvattaa suuhunsa jopa 35 000 hammasta.

Tätä nykyä merissä elää yli 400 erilaista hailajia. Niistä pienimmät mahuvat kämmenelle, kun taas isot valashait voivat kasvaa jopa 18-metriseksi. Valashai onkin maailman suurin kalalaji. Pelottavalla valkohaillakin on usein mittaa kahdeksisen metriä.

Hait jaetaan seitsemään alalahkoon ja noin 20 heimoon. Alalahkoja erottavat toisistaan peräeväisyys tai peräevättömyys, evien määrä ja piikkisyys tai muut anatomiset piirteet.

Suurin osa hailajeista syö lihaa ja käyttää ravintonaan muun muassa suuria merinisäkkäitä ja kaloja. Ihmisen lihasta hait eivät tutkimusten mukaan kuitenkaan pidä.

Jotkut siivilöivät – valaiden tavoin – vedessä olevaa planktonia. Saalistaes-

saan hait hyödyntävät kaikkia kuutta aistiaan tarkasta hajuaistista kylkivivaan ja magneettiaistiinsa.

Reikiä nolla

Hailla on muitakin ylpeyden aiheita kuin hampaansa. Myös sen leuat ovat eläinmaailman mahtavimmat. Hain puruvoima ei silti ole niin murskaava kuin yleensä luullaan vaan ainoastaan noin puolitoistakertainen koiraan verrattuna.

Hain suussa kiiltelee parhaimmillaan yli 300 terävää hammasta useaan riviin järjestäytyneinä. Ne eivät kuitenkaan ole kiinnittyneet leukaluuhun, kuten meillä muilla selkärangasilla. Niinpä leveäsuinen kala voi myös helposti menettää hampaansa, jotka lisäksi ovat alttiita kulumiselle.

Luonto on kuitenkin järjestänyt niin, että hain hampaat uusiutuvat jatkuvasti ja nopeaa vauhtia. Uusi hammas saattaa ilmaantua menetetyntilalle jo muutamassa päivässä. On laskettu, että yhdellä hailla voi olla elämänsä aikana kaikkiaan jopa 30 000–35 000 hammasta.

Hain hampaat kiinnostavat muitakin kuin eläintieteilijöitä. Ne ovat jatkuva tutkimuksen kohde monella alalla muun muassa erikoisten ominaisuuksiensa ja fossiilisten piirteidensä johdosta. Tutkijat metsästävät myös geenejä, jotka säätelevät hain hampaiden kehitystä ja uusiutumista.

Koska hait ovat rustokaloja, hampaat ovat niitä ainoita säilyneitä osia, joiden avulla paleontologit ovat voineet päätellä, kuinka hai on evoluution kautta saanut nykyisen kaltaisen hymynsä ja miten sen purentakyky on kehittynyt.

Saksalaisen mineralogin **Friedrich Mohsin** liki kaksi vuosisataa sitten kehittämän ja yhä käytössä olevan Mohsin kovuusasteikon mukaiset testit kertovat, että hain ja ihmisen hammasainekset ovat suurin piirtein yhtä kovia.

Sekä meidän että haiden hampaat sisältävät yleistä fosfaattimineraalia apatiittia, lähinnä fluoriapatiittia. Apatiitti asettuu kovuusasteikon puoliväliin eli 5. askelmalle. Asteikon huipulla eli askelmalla 10 komeilee timantti, joka on 30 kertaa apatiittia kovempaa.

Hain hampaan erinomaisuus ei siis johdu siitä, että se olisi erityisen kovaa tavaraa. Sen sijaan saalistajan menestyksen salaisuus on se, että rustokalan purukalustoon ei ilmaannu reikiä.

Tutkijoiden arvion mukaan hampaiden reikiintyminen olisi hain kannalta tuhoisaa. Jos kala alkaisi menettää hampaitaan reikien takia, myös niiden uusiutuminen tyrehtyisi.

Täydellinen fluoraus

Paitsi hampaiden uusiutumiskyvyllä, luonnonvalinta on varustanut hain hammaspeikkaa vastaan myös toisella tavalla.

Hain hampaan sisäosa on pehmeää hammasluuta eli dentiiniä. Dentiini on vuorattu hyvin kalsiumpitoisella hammaskiilteisellä kudoksella. Hampaan uloin kiillekerros koostuu yhdisteestä, joka sisältää runsaasti fluoria, alkuainetta, jota suosivat myös hammastahnojen ja suuvesien valmistajat.

Kun me ihmiset harjaamme purukalustomme fluoripitoisella hammas-tahnalla ja annamme sille kylvetyksen fluoria sisältävällä suuedellä, noin





Vaikka hait ovat uhanalaisia eläimiä, niitä ui valtamerissämme yhä miljoonittain. Jokaisen lajin hammaskalusto on kehittynyt tarkoitukseensa täydelliseksi.



Tiikerihain sahalaitaiset hampaat kykenevät leikkaamaan auki merikilpikonnän kuoret ja murskaamaan nisäkkäiden luut.

Stefan Kühn



yksi prosentti hampaidemme pinnan hydroksyyliiryhmistä korvautuu fluorilla.

Hain hampaan fluoripeitto on sen sijaan sataprosenttinen.

Aivan täyttä varmuutta ei ole siitä, kuinka kiilteen täydellinen fluoripeite estää hain hampaiden reikiintymistä. Tutkijoilla on kuitenkin useita hypoteeseja.

Fluori mahdollisesti estää mineraalien hajoamista, hillitsee hampaisiin kohdistuvaa bakteerien happohyökkäystä tai avittaa mineraalien muodostumista kiilleainekseen. Kyse saattaa myös olla näiden kaikkien tekijöiden yhteisvaikutuksesta.

Asiaa ovat selvittäneet japanilaisen Tohokun yliopiston ja Tokion lääketieteellisen ja hammaslääketieteellisen yliopiston materiaalitieteilijät sekä saksalaisen Duisburg-Essenin yliopiston kemistit.

He ovat tutkineet hain hampaiden rakennetta läpivalaisuelektronimikroskoopin, röntgendiffraktion ja pyyhkäisyelektronimikroskoopin avulla.

Tutkittavana oli kahden erilaisen hailajin, makohain ja tiikerihain, purukalusto. Lyhyteväinen makohai repii lihan irti saaliistaan, kun taas tiikerihain hampaat leikkaavat uhrista paloja.

Elävät organismit, kuten hain hammaskiille, ihmisen hampaat, luut ja vaikkapa nilviäisten kuoret, tuotta-

vat biomineraaleja. Biomineraalien rakennetta analysoimalla voidaan tarkastella monenlaisia biologisia tapahtumia, esimerkiksi luuston ja hampaiden kasvua ja jopa sappikivien muodostumista.

Ideaalit sidokset

Hain hampaan kiilteen mikroskooppisen rakenteen tutkimus paljasti, että fluoriapatiittikiteet ovat jakautuneet hampaan pinnalle nippuina, joiden halkaisija on muutama millimetri.

Muinaisten haiden purukalusto oli samaa materiaalia kuin dinosaurusten hampaat.

Vielä tarkempi analyysi osoitti, että niput koostuivat fluoriapatiitin yhtenäiskiteistä. Näiden nanokoon sauvojen läpimitta oli keskimäärin 50 nanometriä.

Vaikka biomateriaalit koostuvat hyvin kevyistä atomeista, huippumikroskoopeilla otetuista valokuvista kyettiin analysoimaan, että fluoriapatiitissa oli mukana kahdella eri tavalla sijoittuneita ja erilaisin kemiallisin sidoksin sitoutuneita kalsiumatomeja.

Osa fluoriatomeista oli heksagonaalisen kalsiumatomeista koostuvan kiteen keskellä. Toisaalla taas kalsiumatomit sijoittuivat happiatomien muodostaman kolmion keskelle.

Tutkijoiden laskelmien mukaan kyseisessä kiilteen kiderakenteessa fluoriatomien ja niitä lähimpänä olevien

kalsiumatomien välillä on kovalenttinen sidos, joka on ionisidosta voimakkaampi. Kalsium- ja fluoriatomien välinen kovalenttinen sidos myös lisää hampaan lujuutta.

Kummankin hailajin hampaiden kiilteen kemiallinen koostumus ja kiderakenne vastasivat toisiaan, vaikka makohain ja tiikerihain hampaat muuten eroavat toisistaan. Makon hampaat ovat neulamaiset, kun taas tiikerihain hammas on kuin monen pienemmän sahalaitaisen hampaan yhteenliittymä.

On kuitenkin yllättävää, että hain ja ihmisen hampaat ovat yhtä vahvoja, vaikka hain hammaskiille rakentuu mineraalipitoisesta fluoriapatiitista, joka on ihmisen hampaan hydroksyyliapatiittia kovempaa ainetta.

Saksalaistutkija **Matthias Epplen** mukaan tämä johtuu ihmisen hammaskiilteen kiteiden ja proteiiniinimatriisin erikoisesta yhteisrakenteesta.

Jos minkä tahansa eläimen tai ihmisen hampaat koostuisivat pelkästään mineraaleista ja olisivat hyvin kovaa ainetta, hammaskalustot olisivat myös paljon nykyistä hauraampia ja alttiimpia pirstoutumiselle.

Luonto on kuitenkin kiertänyt ongelman hienosti, Epple sanoo.

Kun hampaat ovat muotoutuneet niin, että niissä on pieniä, sopivan

arkkitehtuurin kiderakenteita, niistä on tullut mekaanisesti vahvempia. Pieni määrä proteiineja niin hampaisa kuin muissakin lujuuksia vaativissa rakenteissa, kuten luissa ja simpukan kuorissa, tekee niistä samalla myös joustavampia.

Muinoin oli toisin

Muinaisten hailajien hampaat muistuttivat enemmän dinosaurusten kuin tämän päivän haiden hampaita.

Se selvisi, kun saksalaistutkijat analysoivat myös esihistoriallisten haiden hammasfossiileja. Ryhmä vertasi niitä sekä modernien haiden että jura- ja liitukaudella eläneiden dinosaurusten hampaisiin.

Esihistoriallisten haiden, esimerkiksi jättiläismäisen megalodonin, hampaat ovat ulkoiselta muodoltaan pitkälti samankaltaiset kuin nykyajan valkohain hampaat. Tutkimus kuitenkin paljasti, että ne koostuvat eri materiaaleista.

Megalodonin hampaan kiille, dentiini eli hammasluu sekä hampaan ydin sisälsivät kaikki fluoriapatiittia.

Samantyyppinen koostumus oli myös dinosaurusten hampaisa. Nykyisillä hailajeilla fluoriapatiittia on vain hammaskiilteessä.

Tutkijoiden mukaan syynä asiaan voi olla se, että liitukaudella (66–145 miljoonaa vuotta sitten) on tapahtunut ilmastonmuutoksia, jotka ovat vähentäneet fluorin määrää valtamerissä.

Sen jälkeen haille ei enää ollut käytettävissään riittävästi fluoria koko purukalustonsa fluoraamiseen. Niinpä ne alkoivat hyödyntää dentiinissä ja hampaan ytimessä hydroksyyliapatiittia ja käyttivät niukemmin saatavilla ollutta fluoriapatiittia vain kiilteensä kuoruttamiseen.

Maaeläinten kohdalla asia on toisin. Hapokkaat hedelmät ja saaliseläimet saattoivat vapauttaa syöjien fluoriapatiitista myrkyllistä vetyfluoridia.

Vaihto tarpeen mukaan

Cornellin, Harvardin ja Washingtonin yliopiston tutkijat ovat puolestaan selvittäneet, kuinka nykyiset hailajit käyttävät hampaitaan.

Katherine A. Cornin johtama tutkimusryhmä kiinnitti hampaat konesahan terään ja simuloi sitten sahan avulla hyökkäystä, jonka hai tekee rynnätessään saaliin kimppuun.

Simulaatiossa otettiin huomioon, kuinka hait uhriaan purressaan viskelevät päätään puolelta toiselle nopeassa tahdissa. Syödessään ne myös uivat ja tekevät muita liikkeitä.

Tutkimus kertoo, että haiden hampaiden terävyys, kuluminen ja vaihtuminen ovat tulosta kompromissista, jonka avulla tasapaino säilyy ihanteellisena.

Esimerkiksi isoja saaliseläimiä purreskelevan tiikerihain hammaskalusto tylsyy nopeasti. Kala vaihdattaa hampaansa joka kerran, kun se on saanut tapettua ja syötyä yhden aterian.

Toisaalta harvemmin saalistavat tylsähampaisemmat hait pyrkivät nielaisemaan saaliinsa kokonaisina ja varjelevat näin hampaitaan kulumiselta. □

Kirjoittaja on vapaa tiedetoimittaja.
jarmowallenius@hotmail.com



Bernard Dupont

Jopa paritonniseksi kasvava valkohai on maailman kookkain ja ehkä myös pelätyn petokala.