

Ediakara

Stratotyyppi ja elämän varhaiskehityksen problematiikka

Ediacara

Stratotype and the problematics of the Metazoan origins

ANNA HAAPANIEMI

Abstract

The new geological period Ediacara has been discussed vividly ever since its formal ratification in 2004. Although Ediacara is a considerable leap in the construction of an international geological timetable, it is also connected to several theories and concepts central to the geological community, but sometimes little understood. The Vendobionta theory created by Seilacher is now rivalled by the "Ediacaran survivors" –hypothesis of Conway Morris. Supporting evidence of Ediacarans in Cambrian strata seems to be piling up, but at the same time Cambrian animals appear to have their origin deep in ediacaran times. Thus, the focus of current research has partly shifted from the causes of Cambrian radiation to the beginning of Ediacaran. However, the first appearance of the biota in the glacial conditions of the post-Rodinian world is problematic; the glacial extent has been estimated unusually large. If this situation truly has allowed development of complex life, it could have been a result of intense natural selection pressure and isolation. The speed of evolutionary changes could have grown to levels corresponding "punctuated equilibrium" –situation; the time between the last glaciation period and first ediacaran fossil is only 5 Ma according to current knowledge.

Abstrakti

Uusi geologinen aikakausi Ediakara on herättänyt paljon keskustelua. Vaikka se onkin suuri askel geologisen aikataulun kokoamisessa, on Ediakaran hyväksyminen myös yhteydessä moniin keskeisiin teorioihin ja käsityksiin, jotka usein jäävät vähemmälle huomiolle. Seilacherin Vendobionta-teoria on saanut varteenotettavan kilpailijan Conway Morrisin "ediakaran selviytyjät" -hypoteesista, jota tukevien fossiililöytöjen määrä on kasvanut huomattavasti viimeaikoina. Tämä on saattanut olla yksi niistä syistä, miksi aikakaudesta usein käytetty nimi "Vendi" korvattiin nyt Ediakaralla. Mutta samalla kun kambrikautisten fossiilien joukosta on löytynyt merkkejä ediakaraeliöstöstä, niin nyt myös ediakarakautisista kerrostumista on raportoitu löydetyn entuudestaan tunnettuja kambrikautisia eläimiä. Nämä löydöt siirtäisivät kiistattomasti monisoluisen kehityksen prekambriin. Näin ollen kompleksisen elämän synnyn tutkimuksen painopiste on siirtynyt kambrikauden radiaation syistä ediakarakauden alkuun. Eliöstön mahdollinen kehittyminen Rodinian hajoamisen jälkeisten jäätiköiden keskelle on problemaattinen; jäätiköitymiskauden on arvioitu olleen tuona aikana epätavallisen laaja. Mikäli elämän kehittyminen on ollut mahdollista, on voimakas valintapaine ja isoalaatio saattanut olla radiaation taustalla. Vaihtoehtoisesti kyseessä on saattanut olla "punctuated equilibrium" -teorian mukainen evoluutionopeuden kiihtyminen; viimeisimmän jäätiköitymisvaiheen ja ensimmäisen ediakarafossiilin välillä on vain 5 miljoonaa vuotta.

Johdanto

– Ediakara korvaa Vendin

IUGS:n (International Union of Geological Sciences) stratigrafisen komission ICS:n (International Commission on Stratigraphy) tavoitteena on luoda maailmanlaajuinen stratigrafinen aikataulu eri aikakausiin erikoistuneiden työryhmien avulla. Komission julkaisema geologinen aikataulu luo pohjan geologien käyttämälle terminologialle ja sitoo nimitysten tarkasti ajoitettuihin iikiin. Viimeisin versio julkaistiin vuonna 2005, ja mielenkiintoista kyllä, se toi mukaan uuden aikakauden: ediakaran (IUGS, 2005) (kuva 1). Virallistamista on kuitenkin edeltänyt yli vuosikymmenen tutkimusrupema, joka huipentui vuoden 2003 äänestyksiin ja viimein IUGS:n ratifointiin maaliskuussa 2004

(Knoll *et al.* 2004a, 2004b). Uusi kausi sijoittuu kambriakauden alapuolelle, ollen ensimmäinen geokronologisesti määritelty prekambriin kuuluva ajanjakso. Ediakara on siten vanhin kultaisen piikin määrittämä geologinen kausi! Piikki iskettiin lopulta eteläaustralialaisen Nuccaleena-muodostuman ”lakkikarbonaattiin”, mutta päätös ei ollut täysin yksimielinen (ks. alla). Ediakaran ylärajan sen sijaan määrittää toinen vastaava kultainen piikki: kambriakauden stratotyyppi löytyy Newfoundlandista *Treptichnus pedum* -jälkifossiilien ilmestyessä stratigrafiaan. Uusi kausi on saanut nimensä

Eon	Period	Epoch	Age (Ma)	GSSP/GSSA	
				Symbol	Location
Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	⊕	Ediacara
		Cryogenian	~630	⊕	Sturt
	Meso-proterozoic	Tonian	850	⊕	Sturt
		Stenian	1000	⊕	Sturt
		Ectasian	1200	⊕	Sturt

Kuva 1. Ediakarakausi virallistettiin maaliskuussa 2004 ollen ensimmäinen geokronologisesti määritetty prekambriin kuuluva kausi. IUGS (2005) mukaan.

Ediacara Period was ratified in March 2004 thus being the first geochronologically defined Precambrian period. After IUGS (2005).

tyyppikohteen alueen mukaan: Nuccaleena-muodostuma sijaitsee Ediacara-vuoristossa Flinders Ranges-alueella (kuva 2). Muita nimiehdotuksia olivat venäläisten kannattama Vendi ja kiinalaisten ehdottama Sinia, vanhakantaisempi Ediakaria ei sen sijaan saanut kannatusta (Knoll *et al.* 2004b). Mielenkiintoista kyllä, äänestystulokset tuntuvat heijastavan pitkälti kansallisia näkemyksiä, kylmän sodan ilmapiiri on käsinkosketeltava. Erityisesti vendin kannattajat Fedonkinin johdolla kieltäytyvät hyväksymästä päätöstä, sillä heidän mielestään päätös on vastoin tieteen traditiota: Vendi-nimeä on käytetty kirjallisuudessa jo 50 vuoden ajan. He näkevät myös uuden Ediakara-nimen ongelmallisena, sillä se assosioituu voimakkaasti sen edustamaan eliöstöön – päätettiinhän samanaikaisesti asettaa kauden alaraja, ei eliöstön ilmestymisajankohtaan, vaan Marinoa-jäätiköitymisen loppuun. Kuitenkaan itse vendin stratotyyppiä ei koskaan ehdotettu komissiolle. Itä-Euroopan kratonialueella on vaikea löytää maailmanlaajuisesti korreloitavaa kerrostumaa, korreloitavuus on kuitenkin yksi tärkeimmistä ja oleellisimmista GSSP kriteereistä (Knoll *et al.* 2004b). Toisaalta myös Vendi-nimi, niin kuin Edia-



Kuva 2. Ediakarakauden määrittelevä uusi GSSP sijaitsee Ediacara-vuoriston maisemissa Flinders Ranges -alueella (vasemalla). ”Kultaisen piikin” paikka on merkitty tyyppikohteen ”lakkikarbonaattiin”-kerrostumaan (oikealla). Kuva: David Wood ja Antti Kallio.

The new GSSP is located in the Flinders Ranges area of Ediacara mountains (left). The “Golden Spike” is marked on the cap carbonatite layer (right). Photo by David Wood and Antti Kallio.

karakin, voidaan yhdistää kyseenalaiseen asiayhteyteen; Vendobionta-teoria (ks. alla) on ajautunut vastatuuleen. Tämä saattaa hyvinkin olla yksi tekijä äänestystulosten taustalla. Näin ollen käy selväksi, että mielipidettä uudesta aikakaudesta on vaikea muodostaa ymmärtämättä sen taustalla olevaa pitkäpaleontologista tutkimusta.

Vendobionta-teoria syntyy – Ediakara ainutlaatuinen

Meistä ne, jotka ovat lukeneet ediakara-faunasta, ovat mitä oletettavimmin siinä käsityksessä, että kyseessä oli ns. evolutiivinen kokeilu, joka päättyi jättämällä jälkeensä ainoastaan mielenkiintoisen fossiiliaineiston. Sukupuuttoon kuollut ”Vendozoa” (1989) ja myöhemmin Vendobionta (1992) oli alun perin Adolf Seilacherin esittämä teoria. Vendobionta koostui pehmytkudoksista ja sessiileistä organismeista; sen sukupuuton aiheuttanut ’kambrin räjähdys’ saattoi Seilacherin (1992) mukaan olla seurausta biomineralisaation ja liikkumiskyvyn kehittymisestä. Kumpikin ominaisuushan mahdollistaisi tehokkaan bioturbaation – ja predaation. Ediakara olikin niin sanotusti paratiisi McMenaminin (1998) ’Garden of Ediacara’

-kirjan mukaan. Niinpä Seilacherin mukaan kyseessä oli erillinen radiaatio, joka hävisi kilpailussa kookkaille monisoluisille (Metazoa). Vaikka ediakarafossiilien huomattava koko, desimetreistä yli metrin halkaisijaan, tuntuisikin perustellulta argumentilta monisoluisuuden puolesta, oli Seilacherin mukaan kuitenkin kyse yksisoluisista organismeista. Poimuttunut, patjamainen rakenne (ks. esim. kansikuvan *Dickinsonia sp.*) poikkesi aiemmin vallinneesta yksinkertaisen solun pyöreästä muodosta ja samalla mahdollisti suuremman pinta-alan ja koon kasvun ilman, että eliö oli monisoluisen. Huomattava on myös, että Seilacherin Vendobionta-luokittelu antoi ymmärtää, että kaikki ediakaraeliöt kuuluivat samaan ryhmään, jota yhdistävä piirre oli juuri poimuttunut ruumiinrakenne.

Elämä ”Lumipallo-Maassa”?

Elämä on aina riippuvainen sitä ympäröivistä abioottisista tekijöistä. Ediakaran ainutlaatuinen kompleksisuus herättääkin erityisen mielenkiinnon maailmaan, johon eliöstö syntyi. Rodinia-super-GEOLOGI 58 (2006)

mantereen noin 750 Ma sitten tapahtuneen hajoamisen synnyttämät tektoniset muutokset ovat ainakin välillisesti luoneet ne haasteet ja mahdollisuudet, joihin elämänkehityksen oli vastattava. Samanaikaisesti jäätiköitymiskaudet yleistyivät, ja maailmanlaajuisesti tavatut tiliittikerrostumat (kuvat 3 ja 4) antavat ymmärtää, että kyseessä oli erityisen kylmä ajanjakso. On jopa tulkittu, että jääpeite ulottui aina päiväntasaajalle saakka. Teoria, joka kantaa nimeä ”Snowball Earth” (Lumipallo-Maa) on kuitenkin vielä kyseenalainen (Hoffman ja Schrag 2002). Donnadieu *et al.* (2004) esittävät, että nämä kaksi ilmiötä, supermantereen hajoaminen ja jäätiköitymisjakso, olisivat olleet yhteydessä toisiinsa. Heidän mukaansa tektonisten muutosten aiheuttama voimakas rapautuminen olisi johtanut huomattavaan CO₂-pitoisuuden laskuun. Tämä olisi ollut riittävä muuttamaan ilmastoon jäätiköitymiselle suotuisaksi aikana, jolloin auringon säteily ei vielä ollut yhtä voimakas kuin nykyään. Aiheutti jäätiköitymisjakson sitten mikä tahansa, ei sen olemassa olosta kuitenkaan kiistellä.

Hiilen isotooppikoostumuksen positiiviset anomaliat kertovat etenevistä jäätiköistä. Jäätiköitymisvaiheet voidaan jakaa Sturtia-, Marinoa- (Varangeri-) ja Gaskiers-vaiheisiin (kuva 5), joista erityisesti Marinoa oli poikkeuksellisen laaja. Mutta samalla isotooppikoostumuksen vaihtelu kertoo orgaanisen aineksen poistumisesta hiilen kiertokulusta. Mielenkiintoiseksi ilmiön tekee sen yhteys happipitoisuuden kasvuun, muutokseen, joka on olennainen kookkaampien ja monimutkaisempien elämänmuotojen kehitykselle. Ediakaraeliöstön synnyn reunaehto on ollut ilmakan hapen kasvu, ja jäätiköitymiskausilla on saattanut olla tässä merkittävä rooli (Kirschvink *et al.* 2000, Hoffman ja Schrag 2002, Narbonne 2005). Emme kuitenkaan ole vielä pystyneet osoittamaan mikä aiheutti hiilen poistumisen (Kerr 2005). ”Malnourished Earth”-teoria (Anbar ja Knoll 2002) yhdessä ”Canfield Ocean”-idean (Canfield 1998) kanssa luo mielenkiintoisen hypoteesin, jonka mukaan happipitoisuus todellakin nousi proterotsooisien eonin lopussa.

Viimeisin merkki jäätiköitymisestä on Gaskiers-muodostuman glasimariiniset diamiktiitit, joiden iäksi on saatu 595 Ma. Tätä ennen ei ole raportoitu yhtäkään ediakaraesiintymää. Ensimmäinen ediakarafossiili on Newfoundlandin Drook-muodostuman *Charnia wardi*, miltein kaksimetrisen leh-



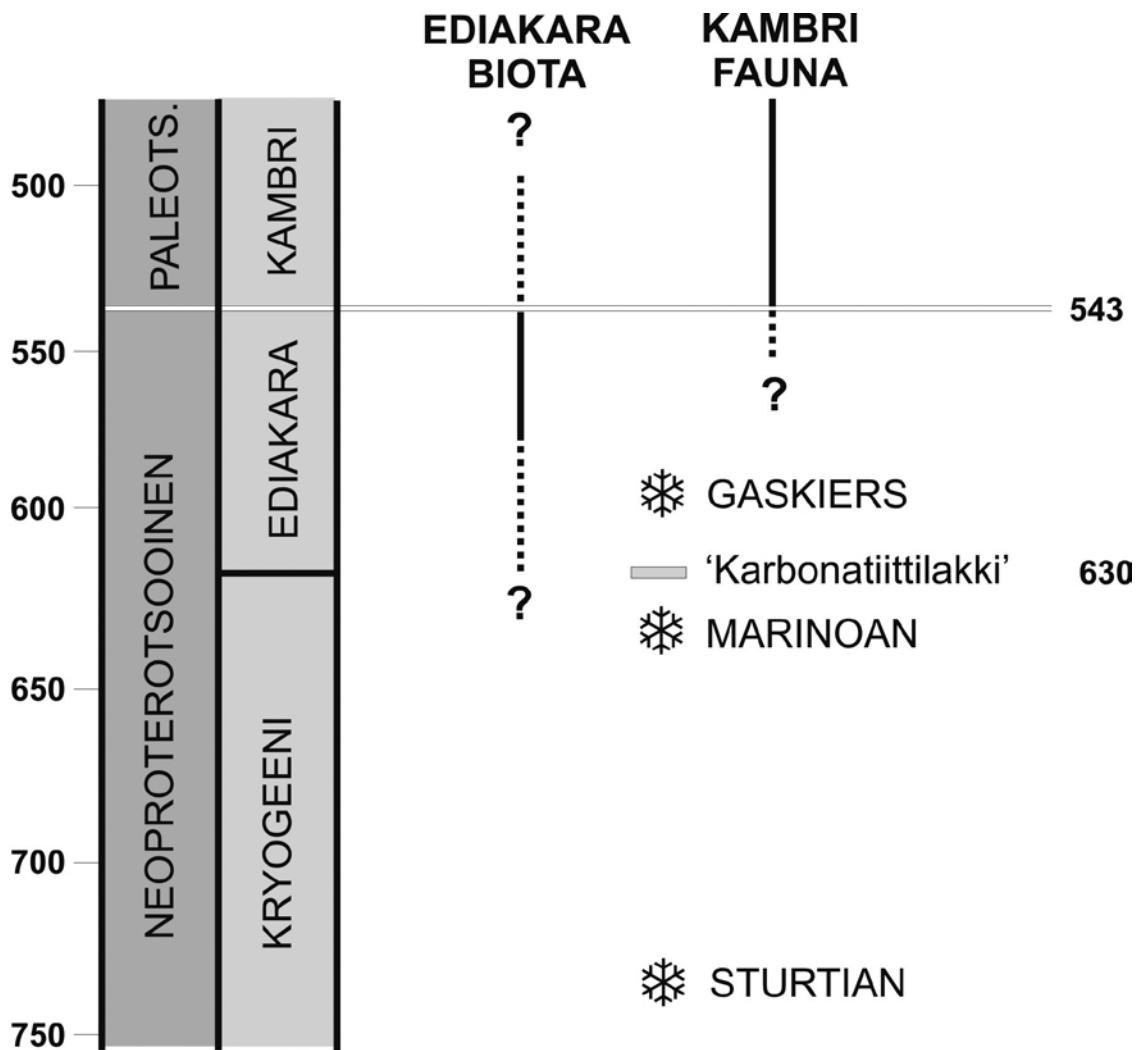
Kuva 3. Pohjois-Norjan Varangerivuonon tilliitikerrokset kertovat jäätiköitymisvaiheista. Samankaltaisia kerrostumia löytyy ympäri maailmaa, seikka, joka on osaltaan johtanut "Snowball Earth" -teorian syntyyn. Jäätikön virtaus on kerrostanut niin tilliitiksi kivettyynyttä moreenia kuin hangannut tilliitin alla olevaan silokalliohiekkakiveen tuttuja uurrejälkiä. Kuva: Veli-Pekka Salonen.

The tillite layers of the Varanger fjord in northern Norway show signs of glaciation stages. Similar deposits can be encountered all over the world, a fact that has led to the proposition of a "Snowball Earth" theory. The flowing ice sheet has deposited moraine that has lithified into a compact tillite and abraded the underlying smooth sandstone. Photo by Veli-Pekka Salonen



Kuva 4. Ediacara GSSP -kohteella tavataan myös tilliitikerrostumia (vasen), jotka sijaitsevat stratigrafisesti aivan tyypikerrostuman alapuolella (vasen). Kuva: David Wood.

Tillite layers can also be found from the Ediacara GSSP locality (left). The section is stratigraphically situated right under the GSSP type layer (left). Photo by David Wood.



Kuva 5. Myöhäis-neoproterotsooinen maailmankausi oli massiivisten jäätiköitymisvaiheiden aikaa. Kuitenkin ediakaraeliöstön fossiileja on löydetty vain Gaskiers-jäätiköitymiskauden jälkeisistä kerroksista, joskin todellinen radiatio saattoi olla huomattavasti varhaisempi. Hyvin mahdollista on myös, että osa ediakaraeliöistä selvisi kambriikaudelle. Narbonne (2005) mukaan.

The Late-Proterozoic eon was a time of massive glaciations. However, fossils of Ediacara biota have been encountered only from the layers dated after the final Gaskiers glaciation period. Nevertheless the true radiation of the biota may have started substantially earlier than that. Also, it is highly likely that part of the ediacarans survived to the Cambrian period. After Narbonne (2005).

vämäinen organismi. Mutta kuten sen kuvanneet Narbonne ja Gehling (2003) huomauttavat, ediakaraeliöstön alkuperän on oltava huomattavasti tätä varhaisempi, onhan kyseessä kuitenkin kooltaan huomattava ja kompleksinen organismi. Mielenkiintoinen on myös Waggoner (2003) vastaava päätelmä ediakaraeliöstön paleomaantieteellisestä GEOLOGI 58 (2006)

ulottuvuudesta: ristiriitaiset tulokset saattaisivat hänen mielestään olla merkki siitä, että eliöstö olisi kehittynyt huomattavasti aikaisemmin kuin ensimmäiset fossiililöydöt antaisivat ymmärtää. Tämä jättää meille kaksi mahdollisuutta: eliöstö joko kykeni elämään jäätiköiden vallitsemassa maailmassa tai vaihtoehtoisesti sen evoluutionopeuden

on täytynyt olla huomattava. Sama tilanne pätee myös monisoluisten varhaiskehitykseen; myös niiden on oletettu molekyylikello-tutkimusten perusteella syntyneen huomattavasti ennen kambrikautta (n. 1200–600 Ma).

Mutta saattaisivatko vanhimman ediakarafossii-
lin kuvanneet Narbonne ja Gehling (2003) olla
väärässä olettaessaan, että evoluutio olisi vaatinut
pidemmän ajanjakson saavuttaakseen ediakara-
eliöstön kaltaisen kompleksisuuden? Onhan ajatus
evoluutionopeuden vaihtelusta kuitenkin yksi mie-
lenkiintoisimmista paleontologisista kysymyksistä
(ks. esim. Mayr 1954, Gould ja Eldridge 1993,
Dawkins 1983). Gradualistinen lähestymistapa oli
alun perin James Huttonin ratkaisu geologisten pro-
sessien ymmärtämiseksi. Tämän kuitenkin oleteti-
tiin, enemmän tai vähemmän tietoisesti, soveltuvan
myös evolutiivisten prosessien tulkintaan, ja näin
ollen lajiutuminen on nähty asteittain tapahtuvana
muutosarjana (mm. molekyylikellon periaate on
hyvin lähellä gradualistista ajattelutapaa). Fossi-
liaineisto ei kuitenkaan tue tätä näkemystä, olihan
tämä jo yksi Darwinin huolenaiheista hänen kuva-
tessaan lajien kehitystä. ”Punctuated equilibrium”
on Gouldin ja Eldridgen (1972) esittämä teoria,
joka on laajan hyväksynnän lisäksi myös aiheut-
anut kiivaan keskustelun. Teorian mukaan evoluu-
tio etenee nykyäksittään lajien pysyessä valtaosan
ajasta muuttumattomina. Onkin mielenkiintoista
spekuloida mikäli *Charnian* ja viimeisimpien Gas-
kiers-tilliittien erottava 5 miljoonaa vuotta olisi
riittänyt luomaan uuden elämänmuodon. Ehkä jää-
tiköitymisen jälkeinen aika muodosti eräänlaisen
fylogeneettisen optimin, tai hetken, jolloin viimei-
sinkin vaatimus kompleksisuudelle täyttyi. Näin
ollen ediakaraeliöstön synty voisi olla esimerkki
”punctuated equilibrium”-ilmiöstä.

Ratkaisevin tekijä ”lumipallo-maa”-teorian tul-
kinnassa elämän kannalta on kuitenkin se, oliko
jääpeite todella aukoton ja ulottuiko se aina päivän-
tasaajalle saakka. Hoffman ja Schrag (2000) kan-
nattavat edelleen ns. ”jäälumipallo-maa” -teoriaa,
jonka mukaan maapallo oli jään peitossa valtame-
riä myöten. Toisaalta Kirschvink (1992), ja myö-
hemmin myös Runnegar (2000), esittivät kilpaile-
van ajatuksen ns. ”nuoskalumipallosta” (”Slushball
Earth”), jonka aukottaiseen jääpeitteeseen elämän
varhaisvaiheet olisivat saattaneet muodostaa refu-
gioita. Refugioajatusta on vaikea ohittaa huomaut-
122

tamatta toisen paleontologisen teorian herättämistä
ajatuksista. Mayrin (1954) ensimmäisen kerran
esittämän peripatria-teorian mukaan lajiutuminen
usein edellyttää maantieteellisesti pääpopulaatiosta
eristettyjä perifeerisiä populaatioita: pienikokoinen
populaatio reagoi muutokseen nopeammin, ollen
samalla kuitenkin herkkä ympäristömuutoksille,
toisin sanoen todennäköisyys kuolla sukupuuttoon
aiemmin on suurempi. Mayrin teoria ennakoii jo
mainittua ”punctuated equilibrium”-teoriaa, ja itse
asiassa on se prosessi, joka pitkälti selittää hyppi-
vältä vaikuttavan biostratigrafian. Menestyksekkäs
perifeerinen sivupopulaatio kykenee syrjäyttämään
pääpopulaation nopeasti, kun niitä erottava este
poistetaan. Mielenkiintoista teoriassa on kuinka
se suhtautuu ”Lumipallo-Maa”-hypoteesiin. Erityi-
sesti ”nuoskalumipallon” luomat refugiot saattaisi-
vat olla merkittävässä roolissa: olisiko populaatioi-
den pirstaloituminen synnyttänyt elämän kehitystä
kiihdyttävän voiman? Hoffman ja Schrag (2002)
myöntävät, että myös jäälumipallo olisi tarjonnut
isolaatiota ja valintapainetta synnyttäviä refugioita,
ja heidän mukaansa varhainen kompleksinen elämä
olisi saattanut elää jäätikköjen maailmassa.

Tämän tiedon valossa on helppo ymmärtää,
miksei GSSP-työryhmä pitänyt hyvänä ajatuksena
asettaa uuden kauden alarajaksi ediakaraeliöstön
ilmestymistä fossiiliaineistoon. Vaikka pystymme-
kin rekonstruoimaan ne evoluutioprosessit, jot-
ka olisivat saattaneet synnyttää ediakarakauden
äkilliseltä vaikuttavan radiaation, on tilanteesta
kuitenkin vielä pitkä matka asian todentamiseen.
Ja edelleen, on enemmän kuin mahdollista, että
eliöstöllä oli pitkä evoluutiohistoria takanaan. Yh-
distettynä siihen tosiasiaan, että ediakarafossii-
lit ovat harvinaisia, voimme päätellä, että biostra-
tigrafinen korrelaatio olisi yksinkertaisesti ollut
liian haasteellinen. Mutta jäätiköitymisen pääty-
mistä edustavan ’lakkikarbonaatiitin’ asettaminen
ediakarakauden rajaksi ei sekään ole ongelma-
tonta. Kuten vendikautta kannattavat venäläiset
ovat huomattaneet, ei kerrostuman synkroniasta
ole todisteita (Knoll *et al.* 2004b). Totta on, että
ediakarakauden ajoitus on ollut vaikeaa; siitä on
osoituksena uudessa geologisessa aikataulussa il-
moitettu keskiarvo ~630 Ma (kuva 1). Ikä on haa-
rukoitu Omanin ja Kiinan Yunnanin esiintymistä,
mutta yrityksistä huolimatta tarkempaan arvoon
ei ole päästy.

Problematica

Nykyään ediakaraeliöstöä tavataan ympäri maailmaa, lähimmät tyyppiesiintymät meille suomalaisille löytyvät Venäjältä Vienanmeren rannalla sijaitsevan Arkangelin lähistöltä ja Pohjois-Norjasta Finnmarkista (Farmer *et al.* 1992) (kuva 6). Vienanmeren esiintymä kuuluu monimuotoisimpiin ja rikkaimpiin maailmassa (Martin *et al.* 2000) ja on tunnettu erityisen hyvin säilyneistä *Kimberella sp.*-fossiileistaan. *Kimberella* on yksi niistä organismeista, jonka sukulaisuussuhteet ovat kyseenalaisia: Seilacherin (1992) Vendobionta-teorian. Fedonkin ja Waggoner (1997) mukaan kyseessä on kaksikylyksymmetrinen monisoluinen (Metazoa) eläin, jolla on yhteyksiä nilviäisten (Mollusca) kanssa. Mikäli näin todellakin on, ei ediakaraeliöstöä voitaisi pitää sukupuuttoon kuolleen säteittäissymmetristen kokeiluna. Näin ollen vahvistuisi käsitys, että monisoluinen elämä alkoi valloittaa meriä jo huomattavasti ennen kambrikautta.

Vienanmeren esiintymä löydettiin 1980-luvulla, mutta ensimmäinen raportoitu pehmytkudoksinen fossiiliesiintymä, joka jälkikäteen on voitu luo-

kitella kuuluvaksi ediakarafaunaan, löydettiin jo vuonna 1872 Newfoundlandin Fermeuse-muodostumasta (Gehling *et al.* 2000). Billings (1872) nimisi löytämänsä kiekkomaiset painaumat *Aspidella terranovicaksi* ymmärtäen samalla, että kyseessä oli ennalta tuntematon pehmytkudoksinen fossiili stratigrafisesti selkeästi vanhemmissa kerroksissa kuin tuolloin vanhimpana tunnettu kambrikautinen elämänmuoto. Löytö ei kuitenkaan saanut ansaitsemaansa huomiota tuon aikakauden tietouden valossa vaan luokiteltiin anomaliseksi epäorgaaniseksi sedimenttirakenteeksi; prekambrian kerrostumissa ei sen ajan luokituksen mukaan odotettu olevan kookkaampia elämänmerkkejä. Vasta nytemmin on *Aspidella* hyväksytty kuuluvaksi ediakaraeliöstöön. Gehling *et al.* (2000) mukaan kyseessä oli todennäköisimmin lehvämäisen organismin, kuten *Charniodiscus*, pohjakiinnike. Muitakin tulkintoja on nilviäisestä meduusaan. Peterson *et al.* (2003) nostivat esiin mahdollisuuden, että niin *Aspidella* kuin *Charniodiscuskin* kuuluisivat, jos ei sienieläimiin (Porifera), niin ainakin esisienieläimiin, mutta tulkinta ei ole saavuttanut laajempaa hyväksyntää.



Kuva 6. Ediakaraeliöstöä löydetään nykyään ympäri maailmaa, joskin huomioon on otettava mannerlaattojen ediakarakautinen sijainti. Pohjois-Norjan Finnmark on suomalaisille lähin kohde. Narbonne (1998) ja Waggoner (1999) mukaan.

Nowadays Ediacara biota has been encountered worldwide although one has to take into consideration the changes in the plate tectonics. Finnmark in northern Norway is the closest locality to Finland. After Narbonne (1998) and Waggoner (1999).

Selviytyjät? – Vendobionta-teoria ongelmassa

Charniodiscus on herättänyt yhtälailla erilaisia sukulaisuusteorioita kuin *Kimberellakin*. Se kuvattiin ensimmäisen kerran vuonna 1958 Englannista, Charnwood Forestista (LaFlamme *et al.* 2004). *Charniodiscusta* verrataan yleisesti nykymeristäkin löydettävään merisulkaan, joka kuuluu polttiaiseläimiin (Cnidaria), mutta sienieläinteorian lisäksi sukulaisuusyhteyksiä on etsitty niin kampamaneeteista kuin yksisoluisista (LaFlamme *et al.* 2004). Kuitenkin suurimman vaikutuksen teki Conway Morrisin (1993) huomio *Charniodiscusen* ja keski-kambrikautisen Burgess Shalen *Thaumaptilonin* samankaltaisuuksista: Vendobionta-teorian rinnalle syntyi tutkimussuunta, joka pyrki löytämään ”Ediakaran selviytyjiä” – niitä eliöitä, jotka onnistuivat livahtamaan monisoluisilta saalistajilta. Conway Morris ei ollut ensimmäinen, joka esitti ilmiön mahdollisuuden. Varhaisin löytämäni artikkeli on Copen (1977) havainto *Astropolithon* jälkifossiileista varhais-kambrikautisissa kerroksissa. Mutta ilmeisesti artikkelin kovin vihjaileva luonne ei synnyttänyt suurempaa mielenkiintoa. Kovin usein vain kiistanalaisimmat julkaisut saavat aikaan keskustelua ja näin ollen julkisuutta; ilmiö, jonka myös Knoll (2003) huomasi kirjoittaessaan ediakarasta ja Seilacherista tutkimusalan innoittajana. Conway Morrisin (1998) näkemyksen mukaan *Charniodiscus* ei ollut ainoa menestyksekkäs laji, vaan mitä todennäköisimmin useampi kehityslinja selvisi fanerotsoiselle maailmankaudelle. Tähän mennessä julkaistuihin selviytyjiin kuuluu mahdollinen merivuokko, piikkinahkaisia, polyyppeleläimiä, sienieläin ja kanta-niveljalkaisia. Viimeaikaisin julkaistu löytö on Kiinan Yunnanin Chengjiang Lagerstättenistä: *Stromatoveris* on tulkittu kuuluvaksi polttiaiseläimiin, ja Shu *et al.* (2006) pitää todennäköisenä, että se edustaa ediakaraeliöstöä. *Stromatoveris* muistuttaa rakenteeltaan läheisesti muita lehvämäisiä organismeja, kuten *Charniodiscusta*, mutta sukulaisuutta toisen kambrikautisen selviytyjän, *Thaumaptilonin*, kanssa ei pidetä kovin läheisenä. Ivantsovin (2006) Vienenmeren löydöt edelleen vahvistavat käsitystä, että monet ediakaran aikaiset eliöt ovat meille ennestään tuttuja: kambriikauden ”lagerstätten”-esiintymissä yleinen *Naraoia*-ryhmään kuuluva fossiili löydettiin kerrostumasta, joka muutoin edustaa ediakarakokoonpanoa! *Naraoiat* kuuluvat varhaisnive-

jalkaisiin ja ovat mitä todennäköisimmin läheistä sukua trilobiiteille. Näin ollen, mikäli löytö todella on oikea, siirtäisi se todistetusti niveljalkaisten kehityshistorian pitkälle ediakaran puolelle.

Selviytyjiin saattaisikin näin ollen kuulua myös monia muita kambriikauden monisoluisia. Ediakarafaunan joukossa on epäilty olevan kanta-niveljalkaisia jo *Sprigginan* nimeämisestä saakka. Glaessnerin vuonna 1958 kuvaamalla eliöllä on selkeä pääkilpi ja segmentoitunut vartalo. Vaikka *Sprigginaa* on pidetty niin nivelmatona (Annelida) kuin vendobionttinakin, muistuttaa se kuitenkin niveljalkaisen ulkomuotoa niin paljon, että McMenamin (2003) luokittelee sen trilobiittien kanta-muodoksi! Ajankohtaisemmin Lin (2003) raportoi ediakaraeliöstöön kuuluvan sydämenmuotoisen *Parvancorina*-löydöstä keski-kambrikautisesta Kaili-muodostumasta; fossiili luokiteltiin myöhemmin niveljalkaisiin kuuluvaan *Skania*-sukuun, jota tavataan ajoittain kambrikautisista ”lagerstätten”-esiintymistä (Lin *et al.* 2006). Pienestä koostaan huolimatta *Parvancorinan* ulkomuoto on herättänyt epäilyksiä yhteydestä jo ennen itse löytöä.

Häviäjät – Kambriikauden koitto

Liioin innostumatta uusista löydöistä on samalla kuitenkin vaikea pitää ediakaraeliöstöä enää sukupuuttoon kuolleenä evolutiivisena kokeena; Seilacherin teoriaa sellaisenaan on mahdoton hyväksyä. Kuitenkin ediacara–kambri-rajaa muodostaa selkeän siirtymän, eivätkä kaikki ediakaraeliöistä selvinneet uudelle maailmankaudelle – ainakaan todistettavasti. Vendobionta-nimi elää näiden eliöiden luokituksessa. Mikä sitten aiheutti tämän muutoksen, joka lopulta johti ns. ”kambriin räjähdykseen”? Kyseessä saattoi olla erilaiset tafonomiset olosuhteet; ediakaraeliöiden poikkeuksellinen säilyminen hiekkakivissä on mikrobien muodostamien peitteiden ansiota. Kambriin laiduntavien ja kaivautuvien organismien nopea evoluutio ajoi tämän elämänmuodon marginaalisiin olosuhteisiin. Kuten mainittua, kambriikauden alun bioindikaattorihan on kaivautumisjälkifossiili. Mahdollista on myös, että ediakaraeliöstöä kohtasi massasukupuutto, joka tyhjensi ekosysteemin luoden tilaa kambriikauden radiaatiolle. Predaation ja kilpailun mahdollisuutta ei myöskään voida sulkea pois (Narbonne 2005). Ediakarakausi loppui 542 miljoonaa vuotta sitten.

Kiitokset:

FM Mikko Haaramo teki asiantuntevan oikoluvun suomenkieliseen tekstiin, kun taas BSc Heather Rockford tarkisti englannin kielisten osien kirjoitusasun.

Lämmin kiitos lehden toimittajakunnalle, FT Anu Hakalalle ja FT Seija Kultille, heidän korjauksistaan ja erityisesti kärsivällisyydestä. Kuvista kiitos kuuluu Prof. Veli-Pekka Saloselle sekä FM Antti Kalliolle ja MSc David Woodille.

Kirjallisuus – References:

- Anbar, A.D. ja Knoll, A.H. 2002. Proterozoic Ocean Chemistry and Evolution: A Bioinorganic Bridge? *Science* 297:1137–1142.
- Billings, E. 1872. On some fossils from the Primordial rocks of Newfoundland. *Canadian Naturalist and Geologist* 6:465–479.
- Canfield, D.E. 1998. A new model for Proterozoic ocean chemistry. *Nature* 396:450–453.
- Conway Morris, S. 1993. Ediacaran-like fossils in Cambrian Burgess Shale-type faunas of North America. *Palaeontology* 36:593–635.
- Conway Morris, S. 1998. *The Crucible of Creation*. Oxford University Press, 242 s.
- Cope, J.C.W. 1977. An Ediacara-type fauna from South Wales. *Nature* 268:624.
- Dawkins, R. 1983. *The Blind Watchmaker*. Penguin, 340 s.
- Donnadieu, Y., Godderis, Y., Ramstein, G., Nedelec, A. ja Meert, J. 2004. A 'snowball Earth' climate triggered by continental break-up through changes in runoff. *Nature* 428:303–306.
- Farmer, J., Vidal, G., Moczydlowska, M., Strauss, H., Ahlberg, P. ja Siedlecka, A. 1992. Ediacaran fossils from the Innerelv Member (late Proterozoic) of the Tanafjorden area, northeastern Finnmark. *Geological Magazine* 129(2):181–195.
- Fedonkin, M.A. ja Waggoner, B.M. 1997. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature* 388:868–871.
- Gehling, J.G., Narbonne, G.M. ja Anderson, M.M. 2000. The first named Ediacaran body fossil, *Aspidella terranova*. *Palaeontology* 43(3):427–456.
- Gould, S.J. ja Eldridge, N. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. Teoksessa: Schopf, J.T.M. (toim.). *Models of Paleobiology*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco, s. 82–115.
- Gould, S.J. ja Eldridge, N. 1993. Punctuated equilibrium comes of age. *Nature* 366:223–227.
- Hoffman, P.F. ja Schrag, D.P. 2002. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova* 14:129–155.
- IUGS 2005. International Stratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences. <<http://www.stratigraphy.org/chou.pdf>>
- Ivantsov, A.Y. 2006. New find of Cambrian type Arthropoda from the Vendian of the White Sea, Russia. 2nd International Palaeontological Congress Abstract 280-281. Palaeontological Institute Academy of Sciences, 123 Profsoyuznaya Moscow.
- Kerr, R.A. 2005. The story of O₂. *Science* 308:1730–1732.
- Kirschvink, J.L. 1992. Late Proterozoic Low-Latitude Global Glaciation: the Snowball Earth. Teoksessa: Schopf, J.W. ja Klein, C. (toim.). *The Proterozoic Biosphere – A Multidisciplinary Study*. Cambridge, s. 51–52.
- Kirschvink, J.L., Gaidos, E.J., Bertani, L.E., Beukes, N.J., Gutzmer, J., Maepa, L.N. ja Steinberger, R.E. 2000. Paleoproterozoic snowball Earth: Extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97:1400–1405.
- Knoll, A.H. 2003. *Life on a Young Planet: the first three billion years of evolution on earth*. Princeton University Press, 277 s.
- Knoll, A.H., Walter, M.R., Narbonne, G.M. ja Christie-Blick, N. 2004a. A New Period for the Geologic Time Scale. *Science* 305:621–622.
- Knoll, A.H., Walter, M., Narbonne, G. ja Christie-Blick, N. 2004b. The Ediacaran Period: A New Addition to the Geologic Time Scale. *Lethaia* 39:13–30.
- LaFlamme M., Narbonne, G.M. ja Anderson, M.M. 2004. Morphometric analysis of the Ediacaran frond *Charniodiscus* from the Mistaken Point Formation, Newfoundland. *Journal of Paleontology* 78(5):827–837.
- Lin, J.-P. 2003. An Ediacaran-like arthropod from the Kaili Biota (Middle Cambrian, Guizhou Province, China) – A missing link for assessing the early evolution of arthropods. Seattle Annual Meeting 2003. Geological Society of America, Abstracts with Programs 35(6):106.

- Lin, J.-P., Gon, S.M., Gehling, J.G., Babcock, L.E., Zhao, Y.-L., Zhang, X.-L., Hu, S.-X., Yuan, J.-L., Yu, M.-Y. ja Peng, J. 2006. A Parvancorina-like arthropod from the Cambrian of South China. *Journal of Paleobiology* 18(1):33–45.
- Martin, M.W., Grazhdankin, D.V., Bowring, S.A., Evans, D.A.D., Fedonkin, M.A. ja Kirschvink, J.L. 2000. Age of the Neoproterozoic Bilaterian Body and Trace Fossils, White Sea, Russia: Implications for Metazoan Evolution. *Science* 288:841–845.
- Mayr, E. 1954. Change of Genetic Environment and Evolution. Teoksessa: Huxley, J., et al. (toim.). *Evolution as a Process*. Allen and Unwin, London, 157–180.
- McMenamin, M.A.S. 1998. *The Garden of Ediacara*. Columbia University Press, New York, 295 s.
- McMenamin, M.A.S. 2003. Spriggina is a trilobitoid ecdysozoan. Seattle Annual Meeting 2003. Geological Society of America, Abstracts with Programs 35(6):105.
- Narbonne, G.M. 1998. The Ediacara biota: A terminal Neoproterozoic experiment in the evolution of life. *GSA Today* 8(2):1–6.
- Narbonne, G.M. 2005. The Ediacara Biota: Neoproterozoic Origin of Animals and Their Ecosystems. *Annual Reviews of Earth and Planet Science* 33:421–442.
- Narbonne, G.M. ja Gehling, J.G. 2003. Life after snowball: The oldest complex Ediacaran fossils. *Geology* 31(1):27–30.
- Peterson, K.J., Waggoner, B. ja Hagadorn, J.W. 2003. A Fungal Analog for Newfoundland Ediacaran Fossils? *Integrative and Comparative Biology* 43:127–136.
- Runnegar, B. 2000. Loophole for snowball Earth. *Nature* 405:403–404.
- Seilacher A. 1989. Vendozoa: organismic construction in the Proterozoic biosphere. *Lethaia* 22:229–239.
- Seilacher A. 1992. Vendobionta and Psammocorallia: lost constructions of Precambrian evolution. *Journal of the Geological Society, London* 149:607–613.
- Shu, D.-G., Conway Morris, S., Han, J., Li, Y., Zhang, X.-L., Hua, H., Zhang, Z.-F., Liu, J.-N., Guo, J.-F., Yao, Y. ja Yasui, K. 2006. Lower Cambrian Vendobionts from China and Early Diploblast Evolution. *Science* 312:731–734.
- Waggoner, B. 1999. Biogeographic analyses of the Ediacara biota: a conflict with paleotectonic reconstructions. *Paleobiology* 25(4):440–458.
- Waggoner, B. 2003. The Ediacaran Biotas in Space and Time. *Integrative and Comparative Biology* 43:104–113.

Anna Haapaniemi
 University of Wales, Bangor
 School of Ocean Sciences
 Menai Bridge
 Isle of Anglesey
 UK
 anna.haapaniemi@helsinki.fi

GEOLOGI 2006:

Lehden numero	Aineisto toimituksessa	Lehti ilmestyy
5	11.9.	16.10.
6	18.10.	20.11.

Geologi julkaisee geologisia ja geologiaa sivuvia artikkeleita, katsauksia, keskustelupuheenvuoroja, uutisia ja tiedonantoja sekä kirjojen ja muiden julkaisujen arvosteluja ja esittelyjä. Lähetä aineistosi toimitukseen postitse sähköisessä muodossa. Tarkemmat ohjeet kirjoittajille löytyvät Seuran kotisivuilta <http://www.pro.tsv.fi/sgs>. Mikäli sinulla on toiveita, ehdotuksia tai ideoita lehden kehittämiseksi, ota yhteyttä päätoimittajaan: seija.kultti@helsinki.fi.