

# A RAGADOZÓ TÁPLÁLKOZÁSI MÓD MEGJELENÉSE ÉS A FÉNY SZEREPE A KAMBRIUMI ÉLETRÖBBANÁS ELŐKÉSZÍTÉSÉBEN

## APPEARANCE OF THE CARNIVOROUS DIET AND THE ROLE OF LIGHT IN PREPARING THE CAMBRIAN LIFE EXPLOSION

Bujtor László

PhD, habilitált egyetemi docens, Pécsi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézet  
lbujtor@gamma.ttk.pte.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A hólabda Föld állapot végén az Acraman-aszteroida becsapódása 580 millió évvel ezelőtt globális ökológiai krízist okozott. Elképzelhető, hogy ezen ökológiai stressz következményeként jelent meg 580–570 millió évvel ezelőtt a ragadozó táplálkozás a Földön, melynek elterjedését 570 millió évtől kezdődően segítette az óceánok oxigénszintjének folyamatos emelkedése. Földtani értelemben nem sokkal ezután, 560–550 millió évvel ezelőtt kitaró tengerszint-emelkedés is kezdődött, melynek eredményeként új sekélytengeri, megvilágított tengeraljzatú élőhelyek jöttek létre. Az addig sötétben fejlődő élővilág számára új stimulus jelent meg, a fény. Mivel a Metaozók rendelkeztek olyan anatómiai képlettel (idegsejt és hálózatos idegrendszer), amely az új stimulus hatására létrejött új szerv, a szem által szerzett információkat feldolgozhatta, a ragadozók táplálkozási hatékonysága ugrásszerűen megnőtt. A kambriumi életrobbanás tehát azért 541 millió évvel ezelőtt következett be, mert az ezt megelőző ediacara időszak megteremtette annak feltételeit. Ezek az alábbiak: az idegsejt és a ragadozó életmód megjelenése, emelkedő tengerszint, növekvő oxigénkoncentráció, új, sekélytengeri élőhelyek kialakulása, és a sekélytengerek aljzatán a legfontosabb tényező, a fény megjelenése.

### ABSTRACT

By the end of the Snowball Earth period, the Acraman asteroid impact has caused a global ecological crisis at 580 million years ago. The predatory diet may have appeared on our planet 580–570 million years before as the plausible consequence of that ecological stress. It would have been helped by the continuous increase of the oxygen level of the oceans that have started also 570 million years ago. Shortly after these events (geologically speaking) a persistent sea level rise had started too, which created new shallow marine and illuminated ecotypes. A new stimulus has occurred to the animal life that had evolved in darkness before – light. Only Metazoans had such anatomical apparatus (neural cell and diffuse neural system) that was able to process the new stimuli collected by the new (light-sensitive) organ, the eye, and their predatory efficiency was multiplied. The reason, why Cambrian Life Explosion has occurred 541 million years ago is just that its preconditions were born during the previous period, the Ediacaran.

These preconditions are: appearance of the neural cell and the predatory diet; constantly rising sea levels and oxygen concentration of the oceans; opening of new, shallow marine ecotypes; appearance of light as a new stimulus on the ocean floor.

**Kulcsszavak:** neoproterozoikum, hólabda Föld, kambriumi életrobbanás, ragadozó táplálkozás, látás

**Keywords:** Neoproterozoic, Snowball Earth, Cambrian life explosion, carnivorous diet, eye-sight

## BEVEZETÉS

Az őslénytan, rétegtan és történeti földtan tudományának kialakulása óta, tehát immár kétszáz éve, a földtan egyik központi kérdése a kambriumi életrobbanás kutatása, megértése. Ez ugyanis a földi élet fejlődése során olyan határvonal, amelynek felismerése a földtan egyik első és meghatározó eredménye volt. Ami előtte volt – nem létezett. Csaknem százötven éven át nem volt olyan elméleti háttér vagy laboreszköz a földtani kutatás kezében, amellyel sikerrel vizsgálhatta volna a kambrium előtti (= prekambriumi) idők rétegsorait. Mára szemléletünk megváltozott, és kutatási lehetőségeink kiszélesedtek. A kambriumi életrobbanás ugyan mit sem veszített jelentőségéből (ma is ugyanott van a fanerozoikum határa, ahol az elődök meghúzták), ám ma úgy látjuk, hogy sokkal inkább szűkszerű következménye, semmint meghökkentő újdonsága volt az élet fejlődéstörténetének.

Írásomban a kambriumot megelőző földtörténeti korról és változásaival foglalkozom, amelyről egyre többen azt állítják, hogy ez volt a földi élet fejlődése szempontjából az igazi fordulópont, mely változásoknak „csupán” következménye a kambriumi életrobbanás. Gyarapodó tudásunk alapján fontosabb változások zajlottak akkoriban, mint azt korábban sejtettük.

### 1. A HÓLABDA FÖLD ÁLLAPOT JELENTŐSÉGE

Az 1990-es évek talán legjelentősebb geológiai felfedezése volt a neoproterozoikum hólabda Föld állapotának felismerése (Kirschvink, 1992). Azt már korábban is jól ismertük, hogy a késő proterozoikum során számos eljegesedési esemény történt, ám Joseph Kirschvink mutatta meg azt, hogy ez az egész Földre kiterjedt, és még az egyenlítői területeket is (szárazföldeket és óceánokat egyaránt) jégtakaró borította. Az állapot annyira egyedi volt, hogy az ezt követő hatszázmillió évben ez a jelenség nem fordult ismét elő. A hólabda Föld állapot elzárta az élet elől a sekélytengereket (hiszen a szárazföldeken felhalmozódó jég jelentős

mértékben csökkentette a tengerek vízszintjét), s ahol esetleg a sekélytengerek mégis megmaradtak, ott vastag jég borította azokat. Az élet ekkoriban a maitól szokatlanul eltérő körülmények közt élt és fejlődött hosszú időn keresztül. A fény mint stimulus ebben az időben nem játszott szerepet az állatok evolúciójában. Az élőlények a mélytengerekben, kontinentális lejtőkön vagy különleges élőhelyeken, az óceánközépi hátságokhoz kapcsolódó hidrotermális kürtők tápanyaggal bőven ellátott, forró–meleg–langyos életszigetein léteztek. Az evolúció ezen önálló „laboratóriumaiban” az élet számos eltérő irányban, változatban és sokféleségben fejlődhetett. A lemeztektonika folyamatainak törvényei miatt az óceáni kéregrészekben élt egykori faunák fosszilis maradványainak megtalálása szinte esélytelen, mert a kontinentális lemez alá bukó óceáni kéregrész magával viszi az asztenoszférába (a teljes megsemmisülésbe) a rajta felhalmozódott üledéket, benne az esetleg megmaradt ősmaradványokkal. Ebből a szempontból van különleges jelentősége a kanadai Mistaken Point<sup>1</sup> ősmaradványainak. Koruk 580–560 millió év, ami 40–60 millió évvel öregebb, mint a kambriumi Burgess Pala (kanadai Sziklás-hegység), Sirius Passet (Grönland) vagy Csengcsiang (Kína) középső kambriumi faunái. A Mistaken Point különleges élőlényeinek nincs szemük, nem látható rajtuk száj, sem olyan függelék, amely aktív mozgásra vagy ragadozó életmódra utal, és többségük rögzített életmódot folytatott. A fauna olyan különleges, hogy vannak tudósok, akik egyes elemeit önálló törzsbe sorolják. Egy biztos csak: ragadozó egy sem volt közöttük. Akkor ez a táplálkozási mód még nem jelent meg Földünkön.

Térjünk vissza a hólabda Földhöz. A kriogén időszak (a Föld teljes befagyásával együtt) hosszú, nagyjából 720-tól 635 millió évig terjedő időtartamban jellemezte bolygónkat (Shields-Zhou et al., 2016; Rooney et al., 2015). Ezután vette kezdetét az ediakara, mely a neoproterozoikum legfiatalabb időszaka, s a fanerozoikum kezdő időszakával, a kambriummal határos. Témánk szempontjából tehát ez a mintegy 92 millió év az érdekes, különösen az, hogy milyen tényezők előzték meg és vezettek el a kambriumi életrobbanáshoz. Azt is tudjuk, hogy 580 millió évvel ezelőtt volt egy újabb glaciális időszak (Maroni-eljegesedés, Rooney et al., 2015) Földünkön, tehát a jelentős változások időszaka tovább szűkíthető az 580-tól 541 millió évig terjedő 39 millió évre.

## 2. A TENGERSZINTGÖRBÉK JELENTŐSÉGE

Az 1970-es évek végén készültek el az első, félmilliárd évre visszatekintő tengersizintgörbék, melyek több ezernyi kutatófúrásból származó kőzetminta többcélú elemzésével keletkezett nagy mennyiségű adatból álltak össze, és viszony-

<sup>1</sup> Új-Fundland, 2016 óta az UNESCO világörökségi listájának része (URL1).

lag hamar közkinccsé váltak (Hallam, 1981). Számunkra rendkívül izgalmas jelentést hordoznak: valamikor 560–550 millió évvel ezelőtt folyamatos tengerszint-emelkedés kezdődött, amely a kontinentális selfeket elárasztotta tengervízzel, ezzel – legalábbis az Egyenlítő környékén elhelyezkedő kontinensek esetében – langyos vizű, átvilágított és korábban ismeretlen geotópokat hozva létre. Ennek jelentőségére a kiváló paleontológus James Valentine is felhívta a figyelmet: „Vegyük észre, hogy a Metazoák korai ősmaradványai általában emelkedő tengerszint mellett halmozódtak föl” (Valentine, 2004, 156.). Az emelkedő tengerszint lehetővé tette a sekélytengeri, átvilágított tengeraljzatú geotópok létrejöttét. Andrew Parker (2003) szellemes könyvben oldotta meg a mikor kérdését. A kambriumi életrobbanás tehát azért következett be, mert az ökológiai, geokémiai, klimatológiai és evolúciós feltételek ekkor álltak össze ahhoz, hogy földtani értelemben igen rövid idő alatt drámai változások következzenek be a földi ökoszisztémákban. A lélegzetelállító fejlődés eredményeit leginkább az új kor, a fanerozoikum hajnalán feltűnő csúcsragadozók reprezentálják: 39 millió év alatt akkorát változott Földünk élővilága, hogy az ediakara időszak faunáit akár másik bolygóról származó élőlényeknek is gondolhatnánk. A kambrium legnagyobb testű élőlényei (*Anomalocaris*, *Hurdia*, *Laggania*) már igazi csúcsragadozók:

- i.) összetett, nagy méretű, térlátással és – feltételezhetően – színlátással rendelkező szemekkel,
- ii.) nagy méretű, fogásra, aktív prédaejtésre alkalmas, horgokkal, karmokkal, „késekkel” erősített hatalmas függelékekkel,
- iii.) nagy méretű szájnylással, mely alkalmas a táplálék befogadására,
- iv.) bonyolult, finom mozgásra képes úszólebenyekkel a ragadozó oldalán és „kormánylapátokkal” az állat aborális végén,
- v.) s a mindezek működtetésére alkalmas fejlett idegrendszerrel.

Az idegsejt és a fejlett idegrendszer a Metazoák kétségkívül leginkább figyelemre méltó sajátja, ám nem jellemzi az egész törzscsoportot. A rezponzív, prediktív viselkedésre képes élőlények létezésének előfeltétele valamilyen idegsejt (melyből diffúz hálózat, idegdúc[ok], később központi agy és kapcsolódó bonyolult idegrendszer fejlődhet) megléte, kialakulása. A szivacsok nem rendelkeznek idegsejtekkel, azok tehát később, a szivacsok és a valódi szövetes állatok szétválása után jelenhettek meg (Bucher–Anderson, 2015). Ez a szétválás valamikor 800–900 millió évvel ezelőtt történt meg (Dawkins, 2006, 401.), ugyanakkor számos jel mutat arra, hogy az idegsejt megjelenése a Metazoák körében polifiletikus lehetett. Egy másik korai Metazoa-csoport a csalánzóké. Központi idegrendszerük nincs. Idegsejtjeik főleg a külső sejtrétegben találhatóak, melyek nyúlványaikkal kapcsolódnak egymáshoz, mintegy behá-

lózva az állat kültakaróját. Ezt hálózatos, más néven diffúz idegrendszernek nevezzük.<sup>2</sup>

A Metazoák evolúciós sikere nagymértékben köszönhető az idegrendszer kialakulásának (Bucher–Anderson, 2015). Nézzük meg, hogy a bordásmedúzák és a csalánozók diffúz idegi hálózata miként fejlődött tovább. A valódi szövetes állatoknál, a Protostomiák közé tartozó Ecdysozoa (Vedlőbőrűek, másként Vedlőállatok) törzscsoporton belül, a Priapulida férgelnél jelenik meg először idegyűrű (Valentine, 2004, 242. fig. 7.1). A Nematodáknál az idegyűrűhöz már idegszálak csatlakoznak (Valentine, 2004, 251. fig. 7.8), és így tovább, egészen a törzscsoport legfejlettebb taxonjáig, az ízeltlábúakig. Mindkét csoport (Priapulida és Nematoda) ragadozó életmódot folytat, mely táplálkozási mód igencsak jelentős tényező.

A fejlettebb idegi tevékenység alapjául szolgáló idegsejt tehát csak a Metazoák körében jelent meg. Igen komoly evolúciós okok húzódnak a háttérben, ugyanis egyes állatok genomjának akár 70%-a is az idegsejt kódolását tartalmazza (Bucher–Anderson, 2015). Maga a tény jelzi: az alkalmazkodásnak és a túlélés esélyének jelentős növekedését jelenthette az idegsejt megjelenése. Ám egy idegsejtből még nem lesz idegrendszer. Kell valamilyen stimulus, amely kiváltja evolúcióját, bonyolódását, és olyan előnyhöz juttatja az adott fajt, amely kifizetődővé teszi egy ilyen komplex sejt további fejlődését, bonyolódását.

### 3. A RAGADOZÓ TÁPLÁLKOZÁSI MÓD JELENTŐSÉGE

Azt már régóta tudjuk, hogy a kambriumi életrobbanás egyrészt igen gyors adaptív radiációval, másrészt a ragadozó és préda közti „fegyverkezési verseny” erősödésével és felgyorsulásával járt együtt. Ez megmagyarázza a megfigyelt elterjedési és evolúciós mintázatokat, ám azt nem, hogy miért akkor következtek be, amikor az őslénytani anyagban látjuk. Ez a kérdés és ennek háttere igen sokáig homályban maradt. Erik A. Sperling és munkatársai (2013) meggyőző cikkben vonultatják fel érveiket arra nézve, hogy a kambriumi életrobbanás kiváltó okait az ediakara időszak forradalmi változásaiban kell keresni. Ezek az alábbiak:

- i.) 580 millió évvel ezelőtt a mai Dél-Ausztráliában (ami akkoriban mindössze 12,5 fokra terült el az Egyenlítőtől) az Acraman aszteroida-bechapó-

<sup>2</sup> Fontos itt megemlíteni, hogy a bordás medúzák (Ctenophora) csak nevükben medúzák, rendszertanilag igen messze állnak a többi Metazoától. Olyannyira távol, hogy a csalánozók közelebbi rokonai a gerinceseknek, mint a bordás medúzák a csalánozóknak. Formálisan ragadozók (ám nem végeznek aktív prédakeresést), de nincsenek csalánsejtjeik, a függelékeikbe véletlenül bele- ragadó zsákmánnyal táplálkoznak.

- dás globális krízist okoz, átalakítva a korábbi ökoszisztémát (Williams–Wallace, 2003),
- ii.) valamikor 580–570 millió évvel ezelőtt megjelenik az aktív ragadozó életmód az előgyűrűsféreg (Priapulida) és a zsinórféreg (Nemertea) körében,<sup>3</sup>
  - iii.) 550 millió évtől kezdődően megjelennek, és egyre gyakoribbá válnak a ragadozó állatok támadásnyomai (*Cloudina* ősmaradványon található fúrásnyomok),
  - iv.) az 570 millió évtől 500 millió évig terjedő időben folyamatosan és szignifikánsan emelkedik az urániumkoncentráció a tengeri üledékekben. A redox-érzékeny nyomelemek (mint amilyen az urán is), egyértelmű indikátorai a tengervíz oxigénszintjének. Minél magasabb az uránium szintje (természetesen itt ppm nagyságrendről beszélünk), annál nagyobb a víz oxigénkoncentrációja. Recens adatok is alátámasztják azt a lineáris összefüggést, mely a növekvő oxigénkoncentráció és az adott biotópban található ragadozó életmódot folytató élőlények száma között áll fenn.

#### 4. AMIKOR „FELKAPCSOLTÁK A VILLANYT A FÖLDÖN” – A FÉNY ÉS A SZEM JELENTŐSÉGE

A fejlett idegrendszerrel rendelkező élőlények robbanásszerű megjelenéséhez szükséges feltételek közül azonosítottuk és időrendbe szedtük a legfontosabbakat:

- i.) az idegsejt (az idegrendszer alapja) megjelenése az Eumetazoák (Bilateriák) körében;
- ii.) a ragadozó életmód megjelenése az ediakara időszak vége felé; ennek megjelenését lehet, hogy egy globális ökológiai sokkhatás indukálta;
- iii.) a folyamatosan emelkedő oxigénszint az óceánokban;
- iv.) az előző következményeképpen megjelenő egyre több ragadozó.

<sup>3</sup> Rendkívül érdekes, hogy az egészen más tudományterületen alkotó Kardos Lajos (1976, 159.) is ráérezett a ragadozó életmód jelentőségére az állati evolúció és az idegrendszer fejlődésében, amikor így írt: „...az érzékenység kialakulásában a döntő mozzanat az egynemű környezetben való életformáról a bonyolultabb környezetben, a diszkrét tárgyak környezetében folyó életre való áttérés volt, áttérés az alaktalan táplálékfajtáktól a tárgyszerű táplálékfajtákra. Mindenesetre nem egészen világos, hogy a tárgyszerű táplálékfajtákra (ahogy mi nevezzük: a darabos táplálékfajtákra) való áttérés hogyan lép be mint tényező a fejlődésbe.” Az egész fejtegetés érdekes, és csupán egy egészen kicsi lépés hiányzott ahhoz, hogy Kardos eljusson a lényegi felismeréshez: nem a táplálék nagysága (= darabossága), hanem a táplálkozás módja a kulcs.

Immár egyetlen jelenséget kell még megmagyaráznunk ahhoz, hogy megérthessük: miért 541 millió évvel ezelőtt köszöntött be a fanerozoikum, a külső vázat építő élőlényekkel zsúfolt, diverz és változatos kambriumi ökoszisztéma.

Ez a jelenség pedig a fény mint stimulus megjelenése és a szem mint szerv kialakulása közötti kapcsolat.

A szem kialakulásának evolúciós magyarázata zavarba ejtő. Maga Charles Darwin is nehezen tudta elfogadni, hogy a környezeti nyomás és a variációkból építkező természetes szelekció, mely cél nélkül működik, miként tudott ennyire tökéletes „szerkezetet” létrehozni.<sup>4</sup> A szem (legyen az egyszerű fényérzékelő sejtcsoomó vagy bonyolult hólyagszem), a törzsfjlődés során, egymástól függetlenül, egymástól távol álló rendszertani csoportokhoz tartozó élőlényeknél legalább negyvenszer(!) alakult ki (Dawkins, 2001). A Metazoa törzscsoporton belül számos szemtípus létezik, ám ennek ellenére valószínű, hogy ezek mind-mind egy közös őstől származnak. A genetikai kutatás fejlődésével egy rendkívül szellemes kísérlettel igazolták ezt (Dawkins, 2006). Az emlősökben (és bennünk, emberekben ugyancsak) megtalálható a Pax6-gén. A kutatók egérből izolálták ezt a gént, és beültették egy *Drosophila* (ízeltlábú) lábába, ahol az emlősből izolált gén hibátlanul működésbe lépett, és arra utasította a *Drosophila* lábát, hogy szemet növegessen. A szem ki is fejlődött, ám *a várttal ellentétben* nem egérszem, hanem összetett ízeltlábú szem alakult ki. Briliáns bizonyítéka annak, hogy a szem (vagy valamilyenfajta fényérzékeny anatómiai képlet) már nagyon korán megjelent a Metazoaák fejlődésében és a kifejlődését irányító gén igencsak ősi, valamennyi kétoldali részarányos állatban homológ.

## KÖVETKEZTETÉS

Ezen a ponton kijelenthetjük, hogy a kambriumi életrobbanás természetes következménye, kikerülhetetlen eredménye volt a megelőző több tízmillió éves fejlődésnek. A ragadozó életmód, a tengerek oxigéntartalmának a ragadozó életmódot folytató élőlények számára kedvező változása, majd a sekélytengeri, fényelátított aljzati környezet megjelenése és ezen tényezők egymásutániságának összeműködése sütötte el az eszkalálódó evolúciós vetélkedés rajtpisztolját, és stimulálta az egyre bonyolultabb idegrendszerű élőlények törzsfjlődését, melyet mi az őslénytani anyagban kambriumi életrobbanásként érzékelünk. Ez a változás végső soron a mi megjelenésünkhöz is elvezetett.

És ez magyarázatot adhat arra a jól ismert jelenségre, hogy miért nem esik egybe a trilobiták megjelenése és a kambrium kezdete. Ugyanis a kambrium kezdetét

<sup>4</sup> Ez a problematika Kardosnál is fennáll, aki szerint a szem és a látás képessége közös szerzemény a növényekkel (Kardos, 1976, 34.). Éppen ellenkezőleg!

nem a trilobiták megjelenésével definiáljuk, hanem diverz, korábban ismeretlen nyomfosszília-közösségek megjelenésével. Elképzelhető – de még nem bizonyított – hogy az ezen nyomfossziliákat létrehozó élőlények azon ragadozó előgyűrűsférgek és zsinórférgek leszármazottai, amelyeknél először jelent meg a ragadozó táplálkozási mód a földi élet fejlődése során. Az idegsejt, a ragadozó életmód, és később a fény mint stimulus és a szem megjelenése voltak azok a lényegi, esszenciális változások Földünkön, amelyek beindították a kambriumi életrobbanást. És azért 541 millió évvel ezelőtt, mert a hólabda Föld periódust követően ekkor alakultak ki a fényvel átítatott, langyos, hatalmas méretű sekélytengeri környezetek, amelyekben a tengeraljazaton megjelent a korábban ismeretlen fény, és ezzel a színek, az árnyékok, a tágas látóterek. Ez váltotta ki az azok érzékelésére képes szervek fejlődését. Az érzékelt információ további feldolgozására kizárólag a Metazoák rendelkeztek olyan anatómiai apparátussal (idegsejt–kezdetleges [hálózat] idegrendszer), mely a látással szerzett információ feldolgozásával növelte a ragadozó életmód biológiai/evolúciós előnyeit. Következésképpen, az ezt az igényt kiszolgáló idegi apparátusok kifejlődése és evolúciója is ehhez, a látáshoz és a ragadozó életmód megjelenéséhez köthető. Ezek a forradalmi változások nem a kambriumi életrobbanással együtt zajlottak, az már ezen változások következményeként áll elénk, és végső soron ezek a változások vezettek el a fejlett idegrendszerrel rendelkező élőlények kifejlődéséhez, mely számos fejlődési vonal egyik végén ott állunk mi, emberek.

## IRODALOM

- Bechley, G. (2018): Why *Dickinsonia* Was Most Probably Not an Ediacaran Animal. *Evolution News and Science Today*, <https://evolutionnews.org/2018/09/why-dickinsonia-was-most-probably-not-an-ediacaran-animal/>
- Bucher, D. – Anderson, P. A. V. (2015): Evolution of the First Nervous Systems – What Can We Surmise? *The Journal of Experimental Biology*, 218, 501–503. DOI: 10.1242/jeb.111799, <https://jeb.biologists.org/content/jeb/218/4/501.full.pdf>
- Daley, A. C. (2010): *The Morphology and Evolutionary Significance of the Anomalocaridids*. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, [https://www.academia.edu/368048/The\\_Morphology\\_and\\_Evolutionary\\_Significance\\_of\\_the\\_Anomalocaridids](https://www.academia.edu/368048/The_Morphology_and_Evolutionary_Significance_of_the_Anomalocaridids)
- Dawkins, R. (2001): *A Valószínűség Hegyének meghódítása*. (ford. Ortmann-né Ajkai A.) Budapest: Műszaki Könyvkiadó
- Dawkins, R. (2006): *Zarándoklat az élet hajnalához. Az Ős meséje*. (ford. Kovács L.) Budapest: Partvonal Könyvkiadó
- Hallam, A. (1981): *Facies Interpretation and the Stratigraphic Record*. Oxford: Freeman
- Kardos L. (1976): *A neuropszichikus információ eredete*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Kirschvink, J. L. (1992): Late Proterozoic Low-latitude Global Glaciation: The Snowball Earth. In: Schopf, J. W. – Klein, C. (eds.): *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*. Cambridge: Cambridge University Press, <https://authors.library.caltech.edu/36446/>



- LaFlamme, M. – Narbonne, G. M. – Anderson, M. M. (2004): Morphometric Analysis of the Ediacaran Frond *Charniodiscus* from the Mistaken Point Formation, New Foundland. *Journal of Paleontology*, 78, 5, 827–837. DOI: 10.1666/0022-3360(2004)078<0827:MAOTEF>2.0.CO;2, <https://bit.ly/34IRuR7>
- Parker, A. (2003): *In the Blink of an Eye: How Vision Kick-started the Big Bang of Evolution*. The Free Press, UK
- Rooney, A. D. – Strauss, J. V. – Brandon, A. D. et al. (2015): A Cryogenian Chronology: Two Long-lasting Synchronous Neoproterozoic Glaciation. *Geology*, 43, 5, 459–462. DOI: 10.1130/G36511.1, <https://people.earth.yale.edu/sites/default/files/rooney-et-al-2015-cryochron.pdf>
- Shields-Zhou, G. A. – Porter, S. – Halverson, G. P. (2016): A New Rock-based Definition for the Cryogenian Period (Circa 720 – 635 Ma). *Episodes*, 39, 1, 3–8. DOI:10.18814/epiugs/2016/v39i1/XXXXX, [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1496826/1/Shields-Zhou%20et%20al%20\(2016\)%20Cryogenian%20Period.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1496826/1/Shields-Zhou%20et%20al%20(2016)%20Cryogenian%20Period.pdf)
- Sperling, E. A. – Frieder, C. A. – Raman, A. V. et al. (2013): Oxygen, Ecology, and the Cambrian Radiation of Animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 110, 33, 13446–13451. DOI: 10.1073/pnas.1312778110, <https://www.pnas.org/content/110/33/13446>
- Valentine, J. W. (2004): *On the Origin of Phyla*. Chicago: The University of Chicago Press
- Williams, G. E. – Wallace, M. W. (2003): The Acraman Asteroid Impact, South Australia: Magnitude and Implications for the Late Vendian Environment. *Journal of the Geological Society*, 160, 545–554. <https://www.adelaide.edu.au/directory/george.williams?dsn=directory.file;fileld=data;id=2102;m=view>

URL1: <https://whc.unesco.org/en/list/1497/>