

Tanulmány

GONDOLATOK A NAGY HATÓTÁVOLSÁGÚ KOMMUNIKÁCIÓS CSATORNÁK ÉS AZ EMLŐSÖK EVOLÚCIÓJÁNAK KAPCSOLATÁRÓL

Bujtor László

PhD, Pécsi Tudományegyetem Földtani Tanszék
zittelina@t-online.hu

Bevezetés

A XIX. században Edward Drinker Cope, a híres természetbúvár és őselektudató elemezte az észak-amerikai paleocén kori fosszilis emlősfaunákat, és megfigyelte, hogy az emlősök törzsfajlódése során az egymás után következő nemzetségek és fajok fokozatos méretnövekedést mutatnak (Cope, 1887). Úgy vélte, hogy ez általános szabály, és a földtörténeti újkorra az emlősök általános testtömeg és a testméret növekedése jellemző. A hatás jelentékenyebb a nagytestű, és elhanyagolható a kistestű emlősök körében. A szabályt el is nevezték Cope törvényének. Cope törvénye azonban nem törvény, hanem egy többé-kevésbé érvényesülő szabályszerűség, mely szerint bizonyos organizmusok törzsfajlódása a méretnövekedés irányába mutat. Joel Kingsolver és David Pfennig (2004) kortárs természetes populációkat vizsgálva próbálta megmagyarázni a jelenséget. Azt

találták, hogy a populációkon belül valóban megvan a méretnövekedés pozitív irányú szelekciós túlsúlya, ami értelmezhető makroevolúciós trendként, és ekként magyarázható ad Cope törvényére. Ugyanakkor sokan hevesen kritizálják az ilyen „szabályok” létezését. A nagyszerű Stephen Jay Gould pedig egyszerűen kijelentette, hogy Cope törvénye nem más, mint pszichológiai műtermék, ami az ember azon hajlamát fejezi ki, mely szerint pszichénk sokkal inkább összpontosít a szélsőségekre, semmint aprólékosan feldolgozza a variációk teljes skáláját. A vita máig nem jutott nyugvópontra, ugyanis meglehetősen kevés a bizonyíték arra nézve, hogy a testméret határozná meg az evolúciós sikert, habár arra is akad bizonyíték, hogy Cope törvénye valóban érvényes néhány, igen távoli ősmadarványcsoportnál. A természetbúvárok az emlősök körében Cope törvénye mellett egyéb, a testtömeggel vagy testmérettel összefüggő szabályt is „felfedeztek” az egyes csoportok

tok térbeli és időbeli elterjedését vizsgálva. Az elmúlt száz évben sokan igyekeztek e „szabályokat” vagy „törvényeket” egységes keretbe foglalni, és megérteni ezeket az összetett és nem mindig teljesen átlátható folyamatokat. A legfrissebb összefoglaló tanulmány Brian McNab (2010) tollából jelent meg, aki megkísérelte ezen „szabályokat” (Bergmann törvénye, sziget-szabály, Dehnel megfigyelése és Cope törvénye) egységes szemlélettel vizsgálni. Arra a következtetésre jutott, hogy a méretnövekedési trendek mögött gyakran az erőforrásokhoz történő hozzáférés egyedi mintázatai húzódnak meg. Habár McNab elemzése meggyőzően foglalja össze és sorolja be a fenti szabályszerűségeket az általa felállított erőforrás-hozzáférési szabály alá, sajnos adós marad a sziláscetek és egyes fogascetek megdöbbentő evolúciós méretnövekedésének magyarázatával. De nem csak ezzel. McNab elemzése adós marad a közeli kapcsolatban lévő, de egymástól függetlenül fejlődő szilás- és fogascetek párhuzamos evolúciós méretnövekedésének magyarázatával is. Írásomban kísérletet teszek ezen kettősség új szempontú megközelítésére, és a felismert törvényszerűség kiterjesztésére más állatcsoportokra.

A cetfélék eredete és evolúciója

A szárazföldi biodiverzitás egészen más léptékű, mint a tengeri. Egyes becslések szerint a szárazföldi növény- és állatfajok száma huzonötszöröse tengeri társaiknak. Ennek ellenére a legnagyobb testű állatok, a sziláscetek tengeri élőlények. Ez a jelenség, valamint a sziláscetek robbanásszerű evolúciós méretnövekedése jól dokumentált az őslénytani anyagban, a folyamatot mégsem értjük teljesen. A cetfélék (és a kihalt *Raoellidae* taxon) a párosujjú patások legközelebbi rokonai, és monofiletikus csoportot alkotnak. A fogazat

és az arckoponya jelentős megváltozása mellett a különleges érzékszervek különböztetik meg a cetféléket őseiktől, és emelik az emlősök között különleges rangra őket. Természetesen látszik tehát, hogy a hang igen fontos szerepet játszott a cetfélék korai törzsejlesztésében. Őseik igencsak hasonlíthattak a mai vízilófélekhez, melyekre jellemző az alacsony frekvenciájú hangok kibocsátása. A vízilófélek és a cetfélék őseinek szétválása a késő eocén idején, valamikor 38 millió évvel ezelőtt következett be. Alig néhány millió évnyi törzsejlesztést követően szétvált a mai szilás- és fogascetek őseinek fejlődési ága. Ulfur Arnason és munkatársai (2004) a kora oligocénre (30 és 35 millió év közé) teszik a szétválást, míg Mette Steeman és munkatársai (2009) tovább pontosítva azt a 31 és 34 millió év közötti időszakban jelölik meg. A fogasceteknél a nagy agyméret az oligocén és miocén idején fejlődött ki, párhuzamosan a cochlea specializációjával, mely lehetővé tette a szélessávú hallást. Számos fogascetecsoporthoz az agy méretének növekedése és a cochlea specializálódása együtt vezetett el a magasán fejlett víz alatti hanglokáció kialakulásához. A víz alatti hanglokáció jóval bonyolultabb halló és jelfeldolgozó rendszert igényel, mint a szárazföldi (például a denevérekénél). A préda sűrűsége nagyon hasonló a tengervíz sűrűségéhez. Sokkal fejlettebb és kifinomultabb megkülönböztető képességet igényel a vízben úszó/lebegő prédaállat helyének meghatározása, mint a levegőben repülő zsákmánynál, melynek sűrűsége nagymértékben különbözik a levegő sűrűségétől. A másik jelzékeny

¹ Ebben az összefüggésben a széles sáv alatt legalább két nagyságrendet átfogó (például 10–100 kHz) hangfrekvencia érzékelését értjük, míg keskeny sáv alatt az egy nagyságrenden belüli (például 1–8 kHz) hangterjedelemben érzékelését.

si és jelfeldolgozási nehézség a hang eltérő terjedési sebességéből adódik. Vízben a hang négyszer akkora sebességgel terjed, mint a levegőben. Ebből következően a jelkibocsátástól a visszaverődött jel beérkezéséig eltelt idő igen rövid. A tengervíz ezen tulajdonságai elősegítették az agy és adatfeldolgozó neuronhálózatának gyors evolúcióját. Megjegyzendő azonban, hogy a cetféléknél a hanglokációs frekvenciák mindig nagyfrekvenciájú „klikkelések”, semmint alacsony frekvenciájú dallamhangok. A dallamhangok kialakulásának lehetséges fejlődéséről Laura May-Collado és munkatársai (2007) azt állítják, hogy a cetfélék növekvő testmérete váltotta ki a dallamhangok frekvenciájának csökkenését. A cetfélék evolúciójában tehát fellépett az alacsony hangfrekvenciák kifejlődésére ható szelekciós tényező, melynek szelekciós nyomása tette lehetővé a nagy hatótávolságú kommunikáció kialakulását. Jelen szerző ugyan elfogadja May-Collado et al. (2007) azon állítását, hogy a cetfélék evolúciójában szelekciós nyomás jelent meg az alacsony frekvenciájú hangkibocsátás kialakulására, de vitatja, hogy ennek kiváltója a növekvő testméret lett volna. Ezzel ellentétben jelen szerző azt állítja, hogy a dallamhangok alacsony frekvenciája egy páratlan természeti jelenséggel, a mélységi hangcsatornával *együtt* tette lehetővé a cetfélék bámulatos evolúciós méretnövekedését. Az ultrahanggalapú hanglokáció a fogascetek szinapomorf bélyege, és sohasem alakult ki a szilásceteknél. Figyelemre méltó ugyanakkor, hogy egyes fogascetfélék képesek mind dallamhangokat, mind klikkelést kibocsátani, ugyanakkor a szilásceteknél hanglokációt (és klikkelést) sohasem figyeltek meg. A jelenleg élő cetfélék hangképzésében megfigyelhető frekvenciák tehát igencsak eltérő evolúciós utak eredményét tükrözik.

A cetfélék által kibocsátott hangok frekvenciaterjedelme

Az érzékszervek morfológiai változásainak nagy jelentősége volt a cetfélék törzsfjlődésében. Ez szorosan összefügg annak az új környezetnek a jellemzőivel, amit meghódítottak. Habár mind a sziláscetek, mind a fogascetek bocsátanak ki hangokat, azok jellege és terjedelme igencsak különbözik. A sziláscetekre keskenysávú dallamhangok kibocsátása jellemző alacsony hangfrekvencián (<5 kHz). Habár a bálnák „énekét” még ma sem értjük, azt tudjuk, hogy a fajtársak között mind a hívóhangoknak, mind az énekeknek fontos kommunikációs jelentőségük van. A sziláscetek között méretét és testtömegét tekintve a legnagyobb élőlény a kékbálna (*Balaenoptera musculus*). Nemcsak méretei lenyűgözőek. Az állatvilágban a kékbálna bocsátja ki a valaha rögzített legalacsonyabb frekvenciájú hangot (9 Hz) és a valaha mért legnagyobb akusztikus nyomást. Hasonlóan nagy energiájú hangot bocsát ki egy másik *Balaenoptera* faj is. Mintegy negyven éve vetette fel Roger Payne és David Webb (1971), hogy a barázdás bálna (*B. physalus*) hangja talán nagy hatótávolságú jelzésre szolgál. Korát megelőző bölcs gondolat volt, hiszen a *Balaenoptera* fajok egyedei által kibocsátott hang a legerősebb és legelterjedtebb biológiai eredetű hang a világóceánban. Ezzel ellentétben a fogascetek magas frekvenciájú és szélessávú klikkeket bocsátanak ki (10 kHz-től akár 200 kHz-ig) elsősorban hanglokáció céljából. Evolúciójuk nem mutat jelentős méret- vagy tömegnövekedést. Ám a fogascetek körében akad egy figyelemre méltó kivétel, az ámbrás cet (*Physeter macrocephalus*). Ez az állat ökológiájában, vándorlási szokásaiban, méreteiben és az alkalmazott hangfrekvenciákat illetően teljesen kilóg a

fogascetek sorából. Habár az ámbráscet szintén klikkeléssel kommunikál, de ezen klikkeknek a frekvenciája meghökkenítő módon túlnyúlik a klikkek fogasceteknél általánosan megszokott, 20–200 kHz közötti tartományán, és a frekvencia eléri a 90 Hz-es tartományt is! Ennek pedig különleges jelentősége van. A tengervízben a 100 Hz alatti frekvenciájú hangok terjedése ugyanis egészen más képet mutat, mint bármely más, ennél magasabb frekvenciájú hangé. A tengervízben bizonyos feltételek együttállása esetén kialakul egy különleges hangvezető réteg, amelyben a hang gyakorlatilag csillapítás nélkül képes tízezer kilométerre elhatolni. A csatornát a szakirodalomban SOFAR² csatornának nevezik. Jelen írásomban a mélységi hangcsatorna elnevezést használom.

Hangterjedés a tengervízben és a mélységi hangcsatorna

A tengervízben a szuper hangvezetőképeség elméleti lehetőségét egy német fizikus, Hugo Lichte vetette fel 1916-ban. Lichte felismerte, hogy a tengervízben kialakuló vízszintes hőmérsékleti rétegződés hatással van a hang terjedési távolságára. 1923-ban munkatársaival szabadalmat nyújtottak be víz alatti hangjelző és hangfelfogó eszközökre. Ez volt a nyitánya az óceánok akusztikus feltérképezésének. A mélységi hangcsatorna elméleti lehetőségének felvetését hamarosan követte a gyakorlati felfedezés, és a II. világháborúban az óceáni hangcsatornát nagy hatótávolságú távközlésre, és vízbe esett pilóták kimentésére használták. Az óceánok kiugróan jó hang-

vezető képessége azonban gyakorlatilag nem terjed túl a 100 Hz-en és nagymértékben függ az éghajlati viszonyoktól is, amik jelentősen befolyásolják a vízoszlopban kialakuló hangterjedési profilt. A mélységi hangcsatornában kibocsátott 100 Hz frekvenciájú hang mintegy 10 ezer km-re hallatszik el, míg az ugyanott kibocsátott 1 kHz frekvenciájú hang 100 km-en belül elenyészik. A hangcsatornán kívül a hosszúsárnyú bálna (*Megaptera novaeangliae*) éneke mindössze 1,5 és 4,5 km-en belül hallatszik, ami megegyezik az ámbráscet klikkelésének hallhatóságával: 4–6 km. A mélységi hangcsatorna a trópusi vizeken 500 m-es vízmélységben kezdődik és 1200–1600 méteres mélységig tart, míg a sarkkörön túl a vízfelszíntől 200 m-es mélységig található. Figyelemre méltó egybeesés, hogy a poláris területeken a hangcsatorna pontosan abban a mélységben húzódik, ami egyúttal a krill (*Euphausioides*, *Crustacea*, *Arthropoda*) biotópja és a sziláscetek fő táplálkozási közege.

A nagy testméretnek számos előnye van. Ugyanakkor a nagy testméret számos veszélyt és problémát is felvet, mint a megnövekedett egyedfejlődési idő, gyengébb termékenység, kevesebb utód, érzékenység a környezeti változásokra és első helyen talán a megnövekedett tápanyag- (és a szárazföldön víz-) igény. Ezek együttesen jóval nagyobb táplálkozási körletet igényelnek. Jellemző, hogy igen sok sziláscetfaj a meleg trópusi vizeken hozza világra és neveli fel borjait, messze a sarki tengereken táplálkozó hímektől. Az ökológiában számos hasonló példa ismert, ahol a hím és nőstény egyedek elkülönülnek, habár ekkora areális elkülönülés a ceteken kívül ismeretlen az állatvilágban. A nagy távolság ugyan lehetővé teszi az egyedek számára az erőforrások maximális kihasználását, ám ekkora távolság megnehezíti, vagy lehetetlenné teszi a

² SOFAR: angol mozaikszó, amely a SOund Fixing and Ranging, azaz hangmegkötés és -terjedés/terelés szavak első hangzóiból képzett szó. Magyarul szó szerinti fordításban talán a legjobban hangmegkötő és -terelő csatornaként lehet visszaadni az értelmét.

megfelelő pár megtalálását. E probléma áthidalására megfelelő eszköz a mélységi hangcsatorna mint kommunikációs eszköz igénybe vétele.

*Táplálkozás, vándorlás,
szaporodás és kommunikáció*

Az optimális táplálékszerzés elmélete azt tanítja, hogy a ragadozó zsákmányának energiataralma nagyobb kell legyen, mint a táplálék energiataralmának a vadászatra és egyéb kapcsolódó tevékenységre fordított energiával csökkentett nagysága. Mégis, a táplálkozási, valamint szaporodási körzetek nem szükségképpen esnek egybe. A hosszúsárnyú bálnánál megfigyelhető évszakos vándorlás 6500 km-t ölel fel. Számos más sziláscetfaj mutat hasonló vándorlási mintázatot. Mint azt korábban aláhúztuk, a legerősebb biológiai eredetű hangokat a *Balaenoptera* fajok bocsátják ki. Ezen igen erős hangkibocsátásnak azonban csak akkor van jelentősége, ha az valóban messzire hallatszik, tehát ha ezen fajok ténylegesen használják a mélységi hangcsatornát nagy hatótávolságú kommunikációra. Erről meglehetősen későn, 2005-ben számolt be Peter Wille a kékbálna esetében. Arra nézve ugyan még nem rendelkezünk megfelelő bizonyítékkal, hogy az ámbráscet ugyanígy használja-e a mélységi hangcsatornát nagy hatótávolságú kommunikációra, de az indirekt bizonyítékok (100 Hz alatti hangkibocsátás, vándorlás, életmód, táplálkozási szokások, testméret stb.) mind ezt sugallják. A tudósokat évtizedek óta foglalkoztatja az a kérdés, hogy mi okozta a sziláscetek és az ámbráscet méretnövekedését, de megnyugtató elmélettel senki sem rukkolt elő. Jelen szerző ezért új elméletet állít fel ennek magyarázatára.

A cetfélék makroevolúciós újtása

A nagyléptékű evolúciós újítás létrejöttében, amely a szilásceteket méretnövekedésre készítette, az ökológiai dimenzióknak is szerepe lehetett. Az első kísérlet, hogy a mélységi hangcsatornát a sziláscetek evolúciós méretnövekedésével összekössék, Donald Crolltól és munkatársaitól (2002) származik. Azt vették fel, hogy a bálnák éneke azért alakult ki, hogy a mélységi hangcsatorna előnyeit kihasználva a hímek könnyebben találjanak párt. Sajnos ezt a felvetést a hosszúsárnyú bálnák vándorlási mintázata nem igazolta teljes mértékben. A mélységi hangcsatornának tehát egyéb funkcióval (hímek harca a párosodásért, nőstények figyelmének felkeltése) is rendelkeznie kell. Jelen szerző a hangcsatornának a cetfélék evolúciójában betöltött szerepét több aspektusból vizsgálja; egyik a Brian McNab által kidolgozott tápanyag-hozzáférési szempont, a másik a paleobiogeográfiai aspektus. Mint említettük, a cetfélék adaptív radiációja a kora oligocén idején kezdődött, egy időben egy globális klímaváltozással. Ez a klímaváltozás megnövelte az óceánok biológiai produktivitását és eltartóképességét, illetve növelte az óceáni környezetek sokféleségét (Steehan et al. 2009). Emellett az óceánok fizikai paraméterei ugyanolyanok lehettek, mint manapság, azaz a mélységi hangcsatorna akkor is létezett. *Azt állítom tehát, hogy a kora oligocén idején bekövetkezett klímaváltozás, tápanyagbőség, ösföldrajzi helyzet és a mélységi hangcsatorna létezése ácsolta meg azt a színpadot, amelyen a cetfélék bámulatos evolúciója lezajlott.* És csak azon cetfélék voltak képesek a hirtelen megnyíló tápanyagbőség maximális kihasználására (a robbanásszerű adaptív radiációra), amelyek szert tettek arra a képességre, hogy kihasználják a mélységi hangcsa-

torna bolygót átívelő távközlő lehetőségét. Ezzel ugyanis a táplálkozás *versus* szaporodás dilemmát fel tudták oldani: a hímek kihasználják a poláris területek páratlan tápanyagbőségét, míg a nőstények és borjaik ugyancsak maximalizálták a számukra rendelkezésre álló erőforrásokat – nem kellett a hímekkel osztozniuk a korlátos tropikus erőforrásokon. Ugyanakkor a párválasztás–párosodás–szaporodás is lehetségessé vált a mélységi hangcsatorna biztosította nagy hatótávolságú kommunikáció lehetőségének kihasználásával. Az elmélet első próbaköve az ámbráscet. Esetében pontosan ugyanazt a táplálkozási, szaporodási, vándorlási és kommunikációs mintázatot látjuk, mint a sziláscetek körében, sőt az alkalmazott hangfrekvencia is a mélységi hangcsatorna szuper-vezetőképességi tartományába esik: 100 Hz alatti. Azt állítom, hogy a sziláscetek és az ámbráscet evolúciós méretnövekedését a nagy hatótávolságú kommunikációs eszköz, a mélységi hangcsatorna alkalmazása tette lehetővé. Az elméletet a szilas- és az ámbráscet evolúciója egyaránt alátámasztja. Mint korábban aláhúztuk, a fogascetek szinapomorf bélyege a klikkekre alapuló hanglokációs rendszer, amely a cetfélék körében csupán egyszer, és csak ennél a csoportnál jelent meg. A fogasceteknek viszont csak egyetlen fajuk képes alacsony frekvenciájú hangot kibocsátani: az ámbráscet, melynek életmódja, mérete, vándorlási mintázata tökéletesen megegyezik a bizonyítottan mélységi hangcsatornát használó sziláscetekével, és meggyőzően különbözik a többi, nagyfrekvenciát használó fogascetétől.

A nagy hatótávolságú kommunikációs-csatorna-hatás általánosítása

Amennyiben elfogadjuk, hogy a nagy hatótávolságú kommunikációs rendszerek kialakításában az evolúció eddig ismeretlen

mozgatórugójára bukkantunk, úgy felvetődik, hogy a cetfélék esetében megfigyelt szabályszerűség kiterjeszhető-e? Más szóval általánosíthatjuk-e ezt a megfigyelést, és kiterjeszhetjük-e úgy, hogy a kommunikációs csatorna hatótávolsága (hallótávolsága) korrelál-e az azt alkalmazó élőlény testméretével? Sajnos, jelenlegi tudásunk szerint Földünkön nincs még egy, a mélységi hangcsatornával összemérhető hatótávolságú természetes kommunikációs csatorna. Ám az infrahang és annak kutatása meglepő felfedezésekhez vezetett, és azt mutatja, hogy nagyon sok nagytestű szárazföldi emlős képes infrahang kibocsátására és/vagy érzékelésére.

Infrahanghasználat szárazföldi emlősöknél

Kezdetleges terepi berendezéseikkel Katharine Payne és munkatársai 1986-ban tudósítottak először arról, hogy indiai elefántok (*Elephas maximus*) infrahangon kommunikálnak egymással. Néhány évvel később már az is bizonyítást nyert, hogy mindkét ormányos faj, az ázsiai mellett az afrikai (*Loxodonta africana*) is kibocsát infrahang-hívóhangokat a 14 és 35 Hz közötti tartományban. Michael Garstang (2009) szerint mára széles körben elfogadottá vált, hogy az elefántok infrahangot használnak nagy hatótávolságú kommunikációra. És itt óhatatlanul tolul előtérbe az analógia: vajon lehetséges-e, hogy a szárazföldön is létezik az infrahangnak valamiféle különleges terjedési mintázata?

Az afrikai elefánt infrahang-kommunikációjának megfigyelése 1991-ben meglepő felismeréshez vezetett. William Langbauer és munkatársai azt találták, hogy a szavannán, különleges meteorológiai feltételek együttállása idején az infrahangot 200 km²-es területen lehet hallani. A Michael Garstang és

munkatársai (1995) által szinte percenként végzett hangterjedési mérések alapján összeállt a kép: az infrahang bizonyos időszakokban valóban képes az általában hallható távolsághoz képest kétszer-hatszor akkora területen hallatszani. A legkedvezőbb meteorológiai viszonyok napnyugta után egy-két órával állnak elő, amikor szinte teljes a szélcsend, megnő a páratartalom, csökken a turbulencia, és a felszín közelében hőmérsékleti rétegződés alakul ki. Elméletünk szempontjából nem meglepő módon David Larom és munkatársai (1997) azt találták, hogy az elefántbikák által kibocsátott hívóhangok időbeli eloszlása egybeesik azzal a mintázattal, ami a nagy hatótávolságú szavannai hangcsatorna időbeli felépülését írja le. A kutatások mára tisztázták azt is, hogy az orrszarvúfélék valamennyi faja, a szibériai tigris, a zsiráf, sőt az erdei rejtett életmódú okapi ugyancsak kommunikál az infrahangtartományban. Ez utóbbi emlős rejtett és magányos életmódja elvezet bennünket egy másik meglepő, szintén infrahangalapú kommunikációt folytató élőlényhez.

Infrahanghasználat a madaraknál

Az a tény, hogy egyes madarak képesek az infrahangot meghallani, mintegy harminc éve ismert. Ám az a felismerés, hogy egyes madarak nemcsak hallják, de aktívan generálják és kibocsátják az infrahangot, meglehetősen friss eredmény. Andrew Mack és Josh Jones 2003-ban tudósított arról, hogy a kazuárok infrahangot bocsátanak ki, és arra is felhívták a figyelmet, hogy Új-Guinea hegyvidéki, dús vegetációjú esőerdeiben valószínűleg ez a leghatékonyabb kommunikáció az egymástól távol, magányosan élő állatok között. Elméletünk szempontjából ez igen fontos felismerés, ugyanis alátámasztja mindazt, amit a cetfélék és ormányosfélék esetében láttunk:

a nagy hatótávolságú kommunikációs csatorna alkalmazása egyként teszi lehetővé az erőforrások maximális kihasználását, biztosítja a szaporodási közösséget, és teszi lehetővé az evolúciós méretnövekedést. Ez pedig olyan evolúciós előny, amely bármely környezetben kifejti hatását, legyen az a mélytenger, az afrikai szavanna, vagy az új-guineai esőerdő. Ne feledjük, hogy a kazuár a legnagyobb testű erdei madár Földünkön, s mint ilyen, az egyetlen, amely infrahangot használ. Az infrahang szerepe azonban nemcsak a kazuárok, hanem közeli rokonuk, az emu (*Dromaius novaehollandiae*) életében is fontos. Az emu is képes infrahang kibocsátására (Mack – Jones, 2003), amit a felnőtt egyedek jól hallanak. Ezen tapasztalatok birtokában újabb analógia körvonalazódik, egy magától adódó kérdéssel. A kihalt Moa-félék Új-Zéland ugyancsak szabdalt geomorfológiájú, dús vegetációjú területein éltek. Vajon a moák is infrahanggal kommunikáltak, és az infrahang által megnövelt egyedi area tette lehetővé számukra a szigetek korlátos erőforrásaik maximális kiaknázását és ezáltal a méretnövekedést? Ma még nem tudjuk. Ám egy másik kihalt ősmaradványcsoport esetében már nem tapogatózunk a sötétben.

Infrahanghasználat a dinoszauruszoknál

Amióta 1931-ben felfedezték a bizarr fejdíszsel rendelkező *Parasaurolophus* (*Hadrosauridae*, *Dinosauria*), tudósok generációi próbálták megfejteni a fejdísz funkcióját. Érdekes, hogy maga Carl Wiman, a lelet leírója már felvette, hogy az orrüreggel kapcsolatban álló üreges fejdísz talán hangrezonátorként szolgált. Fél évszázaddal később David Weishampel (1981) végzett rezonanciaanalízist, és megjósolta a *Parasaurolophus* fajok alacsony frekvenciás hangképzését. Napjainkban Carl

Diegert és Tom Williamson (1998) egy kivételes megtartású *Parasaurolophus*-koponya komputertomográfus vizsgálatával készített számítógépes modellt, mely szintén azt sugallta, hogy a különleges fejdísz valóban részt vett a hangképzésben. A legfrissebb eredmény pedig David Evans és munkatársai (2009) tollából származik, akik kimutatták, hogy egy másik *Lambeosaurus*-faj képes volt alacsony frekvenciás, 80 Hz körüli frekvenciájú hangot meghallani. Ha a további vizsgálatok igazolják az infrahang-érzékelés és -kibocsátás képességét a dinoszauruszoknál, úgy a dinoszaurusz-ökológia új fejezettel gyarapodhat.

Összefoglalás

A nagy hatótávolságú kommunikációs csatornák alkalmazása számos gerinces csoportnál megfigyelhető jelenség, és plauzibilis magyarázatot ad korábban rejtélyesnek tartott vagy érthetetlen evolúciós méretnövekedésre. Annak ellenére, hogy számos állatcsoport fajai bocsátanak ki és érzékelnek infrahangot tájékozódás, kommunikáció, navigá-

lás vagy udvarlás céljából, kizárólag azon fajok esetében figyelhető meg evolúciós méretnövekedés, amelyek az infrahangot valamely vízi vagy légköri nagy hatótávolságú kommunikációs csatornát felhasználva alkalmazzák. Ezen esetekben a nagy hatótávolságú kommunikációs csatorna megsokszorozza a faj lehetőségeit, miáltal az maximálisan képes a rendelkezésre álló erőforrások kiaknázására a többi, nagy hatótávolságú kommunikációs csatornát nem alkalmazó fajjal szemben. Ezzel olyan evolúciós előnyre tesz szert, amely elindítja az evolúciós méretnövekedést. Egyéb tényezők (erőforrások relatív korlátozottsága szigeteken) ugyan módosíthatják a nagy hatótávolságú kommunikációs csatornák kiaknázásából származó előnyöket, azonban ezen új evolúciós tényező érdekes további tudományos felfedezésekhez vezethet a jövőben.

Kulcsszavak: *evolúció, mélységi hangcsatorna, hangterjedés, kommunikáció, infrahang, Cope törvénye, cetfélék, ormányosok, kazuár, dinoszaurusz*

IRODALOM

- Arnason, Ulfur – Gullberg, A. – Janke, A. (2004): Mitogenomic Analysis Provide New Insights into Cetacean Origin and Evolution. *Gene*. 333, 27–34. DOI: • <http://dx.doi.org/10.1016/j.gene.2004.02.010>
- Cope, Edward D. (1887): *The Origin of the Fittest*. Appleton, New York • <http://ia700309.us.archive.org/13/items/originoffittesteocopeuoft/originoffittesteocopeuoft.pdf>
- Croll, Donald A. – Clark, C. W. – Acevedo, A. et al. (2002): Bioacoustics: Only Male Fin Whales Sing Loud Songs. *Nature*. 417, 809. DOI: 10.1038/417809a
- Diegert, Carl F. – Williamson, T. E. (1998): A Digital Acoustic Model of the Lambeosaurine Hadrosaur *Parasaurolophus tubicen*. *Journal of Vertebrate Paleontology*. Suppl. to Number 3, Abstracts of Papers, 18:38A.
- Evans, David C. – Ridgely, R. – Witmer, L. M. (2009): Endocranial Anatomy of Lambeosaurine Hadrosaurids (Dinosauria: Ornithischia): A Sensorineural Perspective on Cranial Crest Function. *The Anatomical Record*. 292, 1315–1337. • http://www.oucom.ohiou.edu/dbms-witmer/Downloads/2009_Evans_et_al_lambeosaurine_brains_&_crests.pdf
- Garstang, Michael (2009): Elephant Infrasonds: Long-range Communication. In: Brudzynski, S. (ed.): *Handbook of Behavioral Neuroscience* 19 (Handbook of Mammalian Vocalization). Academic Press, London, 57–67.
- Garstang, Michael – Larom, D. – Raspet, R. – Lindeque, M. (1995): Atmospheric Controls on Elephant Communication. *The Journal of Experimental Biology*. 198, 939–951. • <http://jeb.biologists.org/content/198/4/939.full.pdf>
- Kingsolver, Joel G. – Pfennig, D. W. (2004): Individual-Level Selection as a Cause of Cope's Rule of Phyletic Size Increase. *International Journal of Organic Evolution*. 58, 7, 1608–1612. • DOI: 10.1111/j.0014-3820.2004.tb01740.x

- Langbauer, William R. – Payne, K. – Charif, R. A. et al. (1991): African Elephants Respond to Distant Playbacks of Low-Frequency Conspecific Calls. *Journal of Experimental Biology*. 157, 35–46. • <http://jeb.biologists.org/content/157/1/35.full.pdf>
- Larom, David – Garstang, M. – Payne K. et al. (1997): The Influence of Surface Atmospheric Conditions on the Range and Area Reached by Animal Vocalizations. *Journal of Experimental Biology*. 200, 3, 421–431. • <http://jeb.biologists.org/content/200/3/421.full.pdf+html>
- Mack, Andrew L. – Jones, J. (2003): Low-frequency Vocalizations by Cassowaries (*Casuarus* spp.). *The Auk*. 120, 4, 1062–1068. • DOI: 10.1642/0004-8038(2003)120[1062:LVBCCS]2.o.CO;2
- McNab, Brian K. (2010): Geographic and Temporal Correlations of Mammalian Size Reconsidered: A Resource Rule. *Oecologia*. 164, 13–23. • DOI: 10.1007/s00442-010-1621-5
- May-Collado, Laura J. – Agnarsson, I. – Wartzok, D. (2007): Reexamining the Relationship between Body Size and Tonal Signals Frequency in Whales: A Comparative Approach Using a Novel Phylogeny. *Marine Mammal Science*. • DOI: 10.1111/j.1748-7692.2007.02250.x • <http://www.theridiidae.com/uploads/6/6/8/0/6680387/maycolladoetal2007.pdf>
- Payne, Roger – Webb, D. (1971): Orientation by Means of Long Range Acoustic Signaling in Baleen Whales. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 488, 110–141.
- Payne, Katharine B. – Langbauer, W. R. – Thomas, E. M. (1986): Infrasonic Calls of the Asian Elephant (*Elephas maximus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 18, 297–301. • DOI: 10.1007/BF00300007
- Steehan, Mette E. – Hebsgaard, M. B. – Fordyce, R. E. et al. (2009): Radiation of Extant Cetaceans Driven by Restructuring of the Oceans. *Systematic Biology*. 58, 6, 573–585. • <http://sysbio.oxfordjournals.org/content/58/6/573.full>
- Weishampel, David B. (1981): Acoustic Analyses of Potential Vocalization in Lambeosaurine Dinosaurs (Reptilia: Ornithischia). *Paleobiology*. 7, 2, 252–261.
- Wille, Peter C. (2005): *Sound Images of the Ocean in Research and Monitoring*. Springer, Berlin–Heidelberg • <http://books.google.hu/books?id=r5CUczPB1p0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

