

The Social and Mental Dynamics of Cooperation

OTKA NN 76785 zárójelentés

Szathmáry Eörs

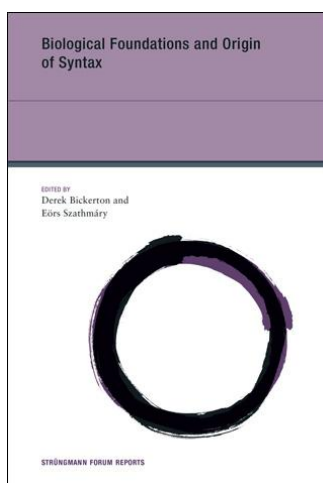
Bevezetés

Ez a kutatás szokatlan keretek között zajlott. Az ESF Eurocores keretében, részben jelen jelentés írójának a kezdeményezésére jött létre a **The Evolution of Cooperation and Trading** – TECT program (<http://www.esf.org/activities/eurocores/completed-programmes/tect.html>). Ennek egyik projektje volt a **The Social and Mental Dynamics of Cooperation** (SOCCOP, <http://www.esf.org/activities/eurocores/completed-programmes/tect/projects/list-of-projects.html#c16845>), melyben Szathmáry Eörs Principal Investigator az ELTE színeiben vett részt. A saját részvételemet a kezdettől beárnyékolta az a körölmény, hogy a nyelv evolúcióját és a kooperációt kutató témánk közös lett volna a párizsi Michel Kerszberg-gel, aki viszont még a kutatás beindulása előtt agyvérzést kapott, s tudományosan azóta sem tudott aktívan munkaképesé válni. Rákényszerültem tehát a kutatás módosítására úgy, hogy az eredetileg megadott kulcsszavak (evolúció, nyelv, kooperáció) lehetőleg továbbra is jól lefedjék, amit csinálunk.

E munka másik problémája a nagyon szerény magyar költségvetés volt. Míg egyes más országokban az Eurocores aktivitásokhoz nagyon komoly anyagi forrásokat tudtak rendelni, mi szenvedtünk attól, hogy a támogatásunk szubkritikus, éppen ezért inkább „komolyabb” pályázatokból költöttünk, jelen pályázat terhére inkább csak némi működési és utazási költséget és egy hosszabb fiatal kutatói alkalmazást számoltunk el.

Mindennek ellenére a pályázathoz rendelt közlemények (1-16) nem adnak okot a szégyenkezésre. Alant összefoglalom a fő kutatási eredményeket.

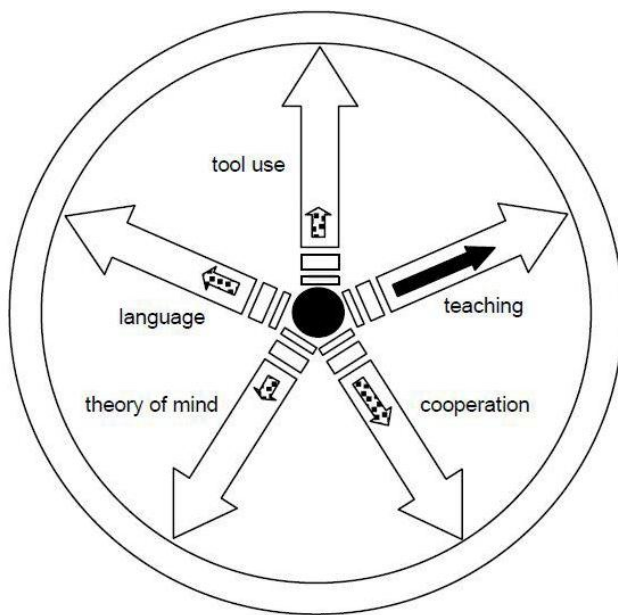
A nyelv biológiai alapjai és eredete



1. ábra. Az MIT Press könyv (7)

Itt a legkiemelkedőbb eredmény kétségkívül a Derek Bickerton-nal **közösen szerkesztett könyv** (1. ábra), mely az MTP Press-nél jelent meg (7). E könyvben egy korábban általunk szervezett konferencia mintegy negyven résztvevője foglalta össze, amit a természetes nyelvek szintaxisának biológiai alapjairól és evolúciós eredetéről tudni lehet. Az általunk írott fejezetek (8, 9) főleg az általános biológiai és a genetikai alapokkal foglalkoznak. Konceptcionálisan a legfontosabb eredmény az **„emberre specifikus adaptív készlet”** koncepciójának megfogalmazása volt (2. ábra). Ennek az elgondolásnak a magva az, hogy olyan tulajdonságok, mint az emberi együttműködés (mely nagy csoportokban, nem rokon egyedek között is működik), a nyelvkészség (a szimbolikus referencia és a hierarchikus szerkezetekkel is jellemezhető szintaxis), a taníthatóság, a fejlett elmélet, a bonyolult eszközhasználat együttese nem véletlenül jelent meg éppen egy ilyen

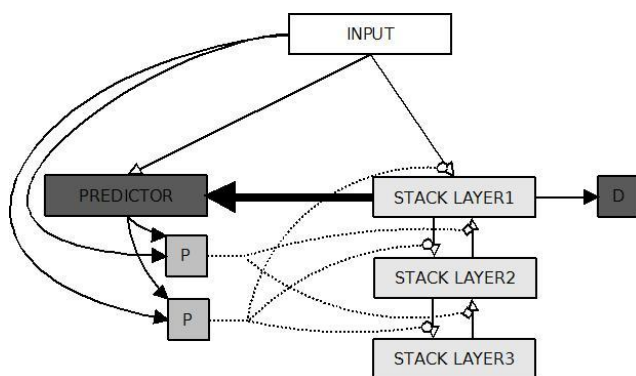
„csomagban”: igen valószínű, hogy bármelyik képesség genetikai evolúciója elősegítette legalább egy másik képesség hatékonyabb működését is, vagyis hogy közöttük evolúciós szinergiák voltak és vannak. E gondolatot több más közleményben is elemeztük (4, 12, 14, 15).



2. ábra. Az emberi adaptív csomag szinergisztikus evolúciója (8,12)

Külön „highly accessed” cikkben foglalkoztunk azzal, hogy az az „evolúciós ék”, amely lehetővé tette az emberi **együtműködés és nyelvkészség** együttes, szinergisztikus eredetét és korai evolúcióját, a „**konfrontatív dögevés**” gyakorlata volt a *Homo erectus* korai populációiban. A környezeti körülmények romlásával (a gyümölcsök mennyiségének csökkenésével) ezek a populációk igen nehéz körülmények közé kerültek, és mintegy rászorultak a dögevésre. A rendelkezésükre álló marokkövek alkalmasak voltak a nagytestű növényevők vastag bőrének megbontására is, elejtésére viszont nem, mert ahhoz dárdára lett volna szükség. A korábbi csontokon az emberi kaparás nyomai a ragadozók

fogainak nyomaihoz képest felül vannak, ami később megfordult: az erectusok előbb fértek hozzá a döghöz, mint a nagytestű ragadozók (ők szintén sok dögöt esznek). A dögek feldarabolása és a hús elszállítása, a döghöz szintén hozzáférni akaró veszélyes versenytársak konfrontatív távol tartása csak szoros együtműködésben volt lehetséges. Ugyanakkor a dög helyéről, milyenségéről való információ megkövetelte az ún. **nyelvi „displacement”** megjelenését, ami azt jelenti hogy olyasmiről kellett kommunikálni, ami NEM „itt és most” volt. Ez még nem a szintaxis, hanem a szimbolikus referencia (az igazi szavak) eredete.



3. ábra. A neuronális verem magja a topografikusan kapcsolt rétegek kapuzott szinaptizálódása (15).

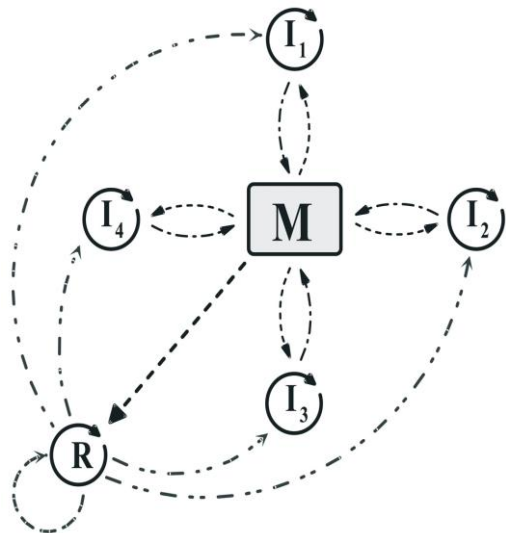
A szintaxisra való képesség lehetséges idegi alapjait firtatja egyik cikkünk (15), melyben megmutatjuk, hogy az ún. kifejezés-szerkezetet tartalmazó nyelvtan feldolgozásához sokak által szükségesnek tartott **verem-memória** miként valósítható meg egymáshoz megfelelő „kapuzott” módon kapcsolódó (gated) **neuronokkal** (3. ábra). Azt pillanatnyilag nem tudhatjuk, hogy az agyban (pl. tipikusan a Broca-területen) van-e hasonló mechanizmus; mi csak azt mutattuk meg, hogy ez elképzelhető.

A nyelv eredetének egy fontos aspektusa, hogy az ún. **nagy evolúciós átmenetek** közé tartozik (5, 6, 11, 12). Noha ez az átmenet nem vezetett magasabb szintű evolúciós egységek megjelenéséhez, de

benne mégis egymáshoz kapcsolódik egy új típusú öröklődési rendszer megjelenése, az ezzel összefüggésben lehetségessé váló („megbeszélte”) munkamegosztás és a csoport egyedei közötti versengés és reprodukciós különbség markáns csökkenése.

A kooperáció evolúciójának általános problémái

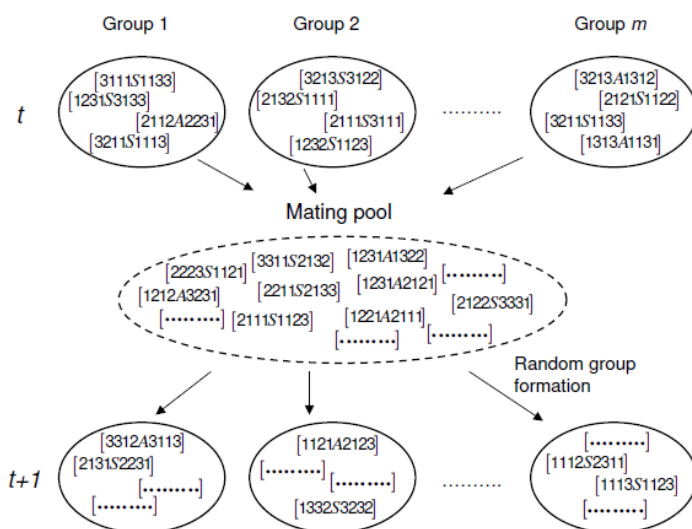
Hidat képez egyéb tevékenységünk felé a korai evolúcióban szerepet játszó **molekuláris kooperáció** vizsgálata, melyet egy másik „highly accessed” cikkben közöltünk (2). A mai élő rendszerek működése



4. ábra. Molekuláris kooperáció ásványi felületen. M: metabolizmus, I_i metabolikus ribozimek, R: replikáz ribozim (2).

és pontos öröklődése több ezer enzim működésén alapszik. Kérdés, hogy az evolúcióban egy ilyen rendszer hogyan épülhetett fel lépésről-lépésre, melynek eredményeként megjelenhettek a legkorábbi elősejtek. Abból a feltételezésből indultunk ki, hogy az enzimrendszer még a sejtes stádium előtt, bizonyos ásványi felszínekhez kötött anyagcsere kontextusában jelent meg, mely primitív RNS-szerű replikátorok másolásához szükséges nyersanyagokat tudott termelni, alkalmasint a replikátorok enzimatisz segítségével (4. ábra). A sejtautomata módszerrel szimulált dinamika megmutatja, hogy a különböző belső kompetitorok közötti replikáció nem öli meg a rendszert, viszont a velük együttélő paraziták időnként hasznos funkcióra evolválódnak; ilyen pl. a replikáz aktivitás. A replikáz még akkor is evolválódik, ha saját magának a replikációja lelassul, mert a segítség a metabolizmust

segítő replikátorok gyorsabb replikációja révén megtérül. Az evolúció további lehetséges irányjai között a membrán képződére „szakosodott” enzimatisz replikátorok megjelenését is megbeszéljük.



5. ábra. A csoportokban tenyésztő haploid kromoszómák véletlenszerűen kerülnek egyazon csoportba és az egyedek egy közös párosodási pool-ba kerülnek. Az A allél altruizmust kódol (3).

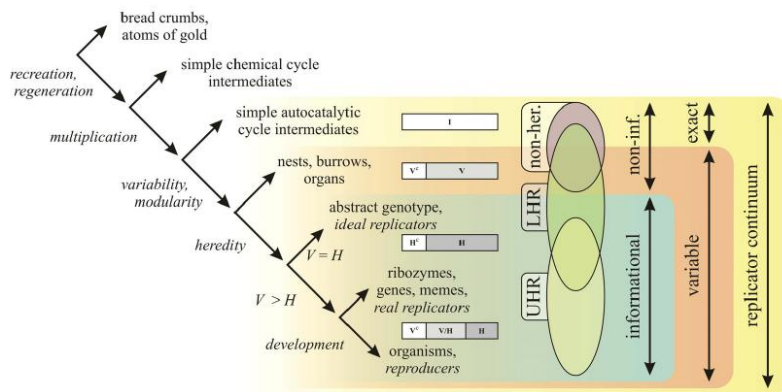
Egy harmadik „highly accessed” cikk az **erős altruizmus** kezdeti elterjedésével foglalkozik (3). Az erős altruisták, miközben másokat segítenek, abszolút rátermettségi költséget fizetnek ezért. Sikeres evolúciójukhoz rokonszelekcióra van szükség, de a kezdeti elterjedés kérdését nem tisztázták – szokás például a genetikai sodródásra hivatkozni. Egy többlókuszus, egygenerációs random csoportmodellt vizsgáltunk (5. ábra). Ha a csoportokban szociális heterozis működik (mely a csoporton belüli allélikus diverzitásra szelektál) és a rekombináció nem túl gyakori,

akkor az erős altruizmus rokonszelekció nélkül is sikeresen elterjed az időszakos csoportok képződésében megmutatkozó mintavételi hatások és a polimorf lokuszokon a komplementer haplotípusokra folyó szelekció által előidézett kapcsoltság miatt. A jelenség magyarázata a genetikai „potyautas” mechanizmusban van, ugyanis az egyéb génekre ható szelekció sokáig „magával húzza” az altruizmust okozó allélt; dacára annak, hogy rokonszelekció nélkül nem tartható fenn stabilan.

Az altruizmus, a csoportméret és a random vagy nem-random csoportképződés kapcsolatát külön rövid *Science* cikkben elemeztük (16).

Replikátor elmélet

A replikátor koncepció az evolúciós elmélet egyik sarokköve. Az évek során sokat foglalkoztunk a



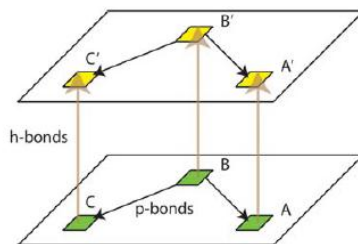
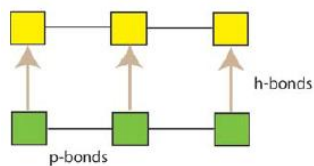
6. ábra. A replikátorok egy új, hierarchikus osztályozása (13).

replikátorok egyre finomabbá váló **osztályozásával**, ennek egyik újabb állomását hosszú tanulmányban ismertettük (13). A replikátor fogalma kevésbé pontos, mint fontosságának a súlya. A sokszorozódó entitások azonosítása és osztályozása nélkül a megfelelő dinamika meghatározása is nehézségekbe ütközik. Célunk az volt, hogy az alapokat formális precizitással

újra elemzzük. A replikáció alapvetően egy autokatalitikus folyamat, s ezáltal megengedi a formális kémia használatát. Ennek a kijelentésnek fontos következményei vannak. Az egyszerű autokatalitikus ciklusok belső intermedierjei nem-információs replikátorok. Még a nagyon összetett, autokatalitikusan halmozódó objektumok (mint a fészkek) is replikátorok. Az információs replikátorok örökíteni tudják a bennük történt változások egy részét: nyilván a ciklus intermedierek és a fészkek nem tartoznak ide. Viszont még a többsejtű organizmusok is replikátorok, mert tartalmaznak másolható információt. Az általunk kidolgozott absztrakt formalizmus képes egymáshoz képest elhelyezni a különböző eseteket, melynek hatása van a szelekciós és evolúciós egységek régi problémájára is. Az osztályozás hierarchikus; a hierarchia tetején az általánosabb replikátor kategóriákat találjuk (6. ábra). Kulcsszerepet játszik a változékonyság és az örökletes információ mennyisége és a megfelelő környezet, mely a szelekciós erőket is meghatározza. Enélkül a replikátor koncepció üres. Remélhetőleg az osztályozás új példákra is alkalmazhatóan bizonyul majd.

A neuronális replikátor hipotézis

Ez a vonulat a munka „meglepetése” még a magunk számára is (noha még a pályázat előtt Michel Kerszberg-gel folytattunk ezirányú megbeszéléseket). Az a gondolat, hogy a komplex gondolkodás vagy az egyéni nyelvelsajátítás során formálisan darwini evolúció történhet az agyban, nem új, már William James-nél is megtalálható a 19. század végén. Habár több filozófus, pszichológus és neurobiológus is foglalkozott e gondolattal, egy kritikus



7. ábra. A DNS és a neuronok lokális kapcsolatának replikációja (1).

agyban, ha egyszer a neuronok nem szaporodnak. Lényegében kétféle lehetséges mechanizmus van: a lokális konnektivitási mintázatok másolódása (7. ábra) és az aktivitási mintázatok replikációja: az előbbi lassúbb, az utóbbi gyorsabb folyamat. Modellt dolgoztunk ki -- ismert neurobiológiai komponens-folyamatokra építve -- a konnektivitás másolhatóságára (1). Fontos hangsúlyozni, hogy egy hosszú kutatási program első lépéseit tettük meg ezzel.

komponens mindig hiányzott. Véleményünk szerint a replikátor az, ami az eddigi elméletekből szinte mindig hiányzott (10-12). Changeux és Edelman elméletei csak szelekciónak, mert az öröklődő változékonyság nem játszik szerepet bennük. Viszont az sem nyilvánvaló, hogy mi replikálna az

Közlemények

Sorszám	Közleményjegyzék	Dokumentum típusa	Impakt faktor	OTKA támogatás feltüntetve?
1.	Fernando, C. Karishma, K.K. & Szathmáry, E.: Copying of Neuronal Topology by Spike-Time Dependent Plasticity and Error-Correction. , PlosONE, 3(11), e3775, 2008	folyóiratcikk	4.411	igen
2.	Könnyű, B., Czárán, T. & Szathmáry, E.: Prebiotic replicase evolution in a surface-bound metabolic system: parasites as a source of adaptive evolution , BMC Evol. Biol. 8, 267., 2008	folyóiratcikk	3.700	igen
3.	Santos, M. & Szathmáry, E.: Genetic hitchhiking can promote the initial spread of strong altruism. , BMC Evol. Biol. 8, 281., 2008	folyóiratcikk	3.700	igen
4.	Számadó, S. & Szathmáry, E.: Being human: Language: a social history of words. , Nature 456, 40-41., 2008	folyóiratcikk	36.101	nem
5.	Szathmáry, E.: The genetic code and natural language: their nature, origins and relation. , : P. Walde, F. Kraus (eds): An den Grenzen des Wissens. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. Pp. 185-207, 2008	könyvfejezet	-	igen
6.	Szathmáry, E.: Towards an understanding of language origins. , M. Barbieri (ed.) Codes of Life, Springer-Verlag, pp. 283-313., 2008	könyvfejezet	-	igen
7.	D. Bickerton and E. Szathmáry (eds): Biological Foundations and Origin of Syntax. , MIT Press, Cambridge, p. 471, 2009	szerkesztett mű	-	igen
8.	Fedor, A., Ittész, P. & Szathmáry, E.: The biological background of syntax evolution. , D. Bickerton and E. Szathmáry (eds) Biological Foundations and Origin of Syntax. MIT Press, Cambridge, pp. 15-39., 2009	könyvfejezet	-	igen

9.	Számadó, S., Hurford, J.R., Bishop, D.V.M., Deacon, T.W., d'Errico, F., Fisher, J., Okanoya, K., Szathmáry E., White, S.A: What are the possible biological and genetic foundations of syntactic phenomena? , D. Bickerton and E. Szathmáry (eds) Biological Foundations and Origin of Syntax. MIT Press, Cambridge, pp. 207-236, 2009	könyvfejezet	-	igen
10.	Fernando, C. & Szathmáry E.: Natural selection in the brain , B. Glatzeder, V. Goel and A. von Müller (eds) Toward a Theory of Thinking. Springer-Verlag, Berlin, in press, 2010	könyvfejezet	-	igen
11.	Fernando, C. & Szathmáry E.: Chemical, neuronal and linguistic replicators. , M. Pigliucci and G.B. Müller (eds): Evolution: the Extended Synthesis. MIT Press, Cambridge, Ma., in press., 2010	könyvfejezet	-	igen
12.	Szathmáry, E.: Evolution of language as one of the major evolutionary transitions. , Nolfi & M. Mirolli (eds) Evolution of Communication and Language in Embodied Agents. Springer-Verlag, Berlin, pp. 37-53., 2010	könyvfejezet	-	igen
13.	Zachar, I & Szathmáry E.: A New Replicator: A theoretical framework for analysing replication. , BMC Biol. 8, 21, 2010	folyóiratcikk	5.200	igen
14.	Bickerton, D., Szathmáry, E.: Confrontational scavenging as a possible source for language and cooperation , BMC Evol. Biol. 11, 261, 2011	folyóiratcikk	3.700	igen
15.	Fedor A., Ittész, P. & Szathmáry E.: Parsing recursive sentences with a connectionist model including a neural stack and synaptic gating , J. theor. Biol. 271, 100-105., 2011	folyóiratcikk	2.371	igen
16.	Szathmáry, E.: Evolution. To group or not to group. , Science 334, 1648-1649., 2011	folyóiratcikk	31.364	nem