

Je elementarna kognitivna lastnost imenovana biološka inteligenca zakonitost ali naključje?

Rok Krašovec, Igor Jerman

Bion, Inštitut za bioelektromagnetiko in novo biologijo

Stegne 21 SI-1000 Ljubljana

e-mail: rok.krasovec@bion.si

Povzetek

Biološka inteligenca je dinamičen proces, kjer celica sklopi interno shranjene informacije z informacijami pridobljenimi iz okolja in tako slednjim da vsebinski pomen. Temu sledi sprejetje notranje odločitve in izvedba odgovora, ki je tako usklajen z okoljem, kar posamezniku izboljša verjetnost za preživetje. V tem prispevku nameravamo predstaviti argumente za tezo, da je ta fleksibilnost, ki potrjuje obstoj svobodne volje v vseh živih bitjih, zakonitost, izhajajoča iz osnovnih zakonov narave, ki obstojajo že od nastanka življenja naprej.

Le sistem z mrežo komunikativnih enot, ki nabirajo latentne informacije iz okolja in od drugih organizmov, jih interpretirajo v eksistenčno pomembnem načinu, razvijajo splošno znanje in se učijo iz preteklih izkušenj, je inteligenčen. Danes poznamo le eno vrsto sistema, ki to zmore in to je živ sistem. Da mu to uspe potrebuje vsaj senzorne in regulatorne proteine, genom s svojo spreminjajočo se arhitekturo ter cis in trans regulatornimi zaporedji in kratke regulatorne RNA molekule, ki ne kodirajo proteinov, a so aktivne v regulaciji in kontroli celičnih procesov. Fleksibilen odziv na okolje je lastnost celote in ne zgolj določene materije, saj so vse našete komponente zunaj celice mrtve in tam izvajajo vedenje značilno za avtomate. Če je biološka inteligenca zakonitost, potem mora imeti univerzalne temelje. Poglejmo si argumente.

Univerzalna sestava celic

Prevladujoča mehanicistična biološka paradigma je izjemno uspešna v identifikaciji in določevanju biokemijskih ter biofizikalnih lastnosti materije živih organizmov. Tako pravi, da imamo prav vsi prebivalci Zemlje enako organizirane nukleinske kisline (DNA in RNA), skorajda identičen genetski kod ter da imamo rajši levosučne aminokisliline (ak) in desnosedne ogljikove hidrate. Prav tako smo vsi grajeni na osnovi ogljika, potrebujemo tekočo vodo in v vseh celicah je temeljna interakcija med DNA in proteini. Malo manj znano dejstvo pa je, da so celične komponente potrebne za izvajanje osnovnih celičnih procesov v npr. bakterijah in človeku mnogo bolj podobne, kot bi pričakovali glede na razliko v evolucijski starosti obeh vrst. Številne študije namreč kažejo, da se biološke strukture v evoluciji lahko pojavljajo neodvisno (brez skupnega prednika) in to v filogenetsko povsem ločenih vrstah, kar imenujemo konvergentna evolucija, strukture pa homoplazije (konvergenca). Navedli bomo nekaj takšnih primerov, ki so pomembni za biološko inteligenco, pri čemer bomo pazili, da bomo argumente omejili na vrste, katerih skupni prednik je tako oddaljen, da ni mogoče, da bi te lastnosti že posedoval. Enako bomo pazili, da ne bomo navajali primitivnih oblik,

kjer neka struktura nazaduje in torej zgolj navzven deluje kot konvergenca.

Homoplazije pomembne za biološko inteligenco

Če ima protein na voljo 20 aminokislin in je dolg npr. 100 ak, potem je 20^{100} možnih primarnih zaporedij, ki jih ta protein zaseda. Če bi le en protein na milijon njih imel primerno topnost in bi od teh le en na milijon imel zahtevano kemično aktivnost, potem bi bilo število razpoložljivih proteinov z dolžino 100 ak še vedno večje kot je število vseh zvezd. A so proteini navadno daljši od 100 ak. Ta zares gigantski potencial možnih oblik in rešitev imenujemo *hiperprostor* (Conway Morris 2003), iz katerega pa živi organizmi udeležijo zares majhen delež. Pomembno je vedeti, da hiperprostor ne obstaja zgolj za proteine, pač pa tudi za RNA, DNA, tkiva, organe, skelet itd.

Na splošno velja, da funkcijo proteina določa specifičnost nekega mesta znotraj njega, vendar je funkcija pogosto odvisna tudi od arhitekturnih oblik proteina, ki pa se zelo rade ponavljajo. Na primer domene odgovorne za prenos signalov so izjemno konzervativne, kar nazorno dokazuje zamenjava periplazemske domene proteina PhoQ bakterije *Escherichia coli* s periplazemsko domeno PhoQ proteina celic *Pseudomonas aeruginosa* (Lesley in Waldburger 2001). Navkljub razlikam v strukturnem odgovoru proteina PhoQ v obeh vrstah, hibriden protein še vedno normalno reagira na magnezij. To je direkten dokaz funkcionalnosti modularne organizacije proteinov in potrjuje obstoj univerzalnih pravil v prevajanju signala.

T.i. molekulske konvergenca so znane za številne proteine, neodvisen razvoj je na primer dokazan za evkariontsko serinsko proteazo tripsin in bakterijski subtilizin. Oba proteina imata povsem drugačno tridimenzionalno strukturo, kar je argument, da sta se razvila iz nesorodnega predniškega encima ter da je narava odkrila biokemijski mehanizem, po katerem delujeta navedena encima, vsaj dvakrat. Poznana je konvergentna evolucija aktivnih centrov encimov kot sta laktat dehidrogenaza in papain. Potem je tu neodvisni evolucijski izvor peptidaz, arhitekture aminoacil-tRNA sintetaz, citokinaz in mnogih drugih proteinov. Prav tako so biokemijski procesi, ki so udeleženi v proteinsko vezavo nukleotidov, konvergentni. Strukturni kot sta alfa in beta sodček, naj bi prav tako nastali konvergentno (reference najdete v Conway Morris 2003).

Nazoren je primer podobnosti hemoglobina v človeku in cianobakterijah. Klasično gledano je to posledica skupnega predniškega proteina, a rezultati nagibajo tehtnico precej bolj k neodvisnemu evolucijskemu izvoru (Watts in sod. 2001). Pomembno se je prav tako zavedati, da imajo proteini lahko

povsem drugačno primarno zaporedje ak, a imajo učinkovito povsem identično funkcijo. Odličen primer tega je mioglobin, kjer je velika verjetnost, da se je v cianobakterijah in bičkarjih razvil neodvisno od mioglobina sesalcev in bakterij, saj navkljub drugačnemu primarnemu zaporedju, opravlja enako funkcijo. Potem je tu konvergenčnost molekulske arhitekture bakteriorodopsina s človeškim rodopsinom (vidni pigment), čeprav je pri njiju primarno zaporedje aminokislin in funkcija povsem drugačna; pri bakterijah se uporablja za pogon protonske črpalke.

Navkljub sofisticiranosti sinaps, v katerih sodeluje, je acetilholin starodavna molekula (Wessler in sod. 1999). Imajo jo bakterije in rastline. V bičkarjih je acetilholin ključen za konjugacijo, čemur sledi izmenjava genetskega materiala. Zanimivo je, da so neuropeptidi, kot je hormon kortikotropin in beta endorfinu podobne molekule ter dopamin prisotni že v bičkarjih. Prav tako je pomembna univerzalnost natrijevih, kalijevih in kalcijevih kanalov. Prvi so osrednji element živčevja pri človeku. Natrijeve kanale imajo npr. spužve, a ne poznajo akcijskih potencialov. Drugače je pri sončecu *Actinocoryne*, (rod *Heliozoa*) za katerega je znana hitra kontrakcija filamentov in stebra, ki jo sproži akcijski potencial, predvsem odvisen od natrija. Natrijevi kanali imajo vlogo tudi v bakterijah, pri dihanju in gibanju bičkov.

Molekulska konvergenca tako kaže na globlje vzorce v evoluciji in kaže, da so ključne lastnosti DNA in proteinov skupne tako bakterijam kot človeku. To pomeni, da njuno delovanje zgolj na določen način že vnaprej določa razvoj in naravo kasnejših kompleksnih struktur. Poglejmo si primere.

Je človek res unikum na Zemlji?

Soočenje z znanstvenimi dokazi o kompleksnih strukturah človeka in ostalih bitij na planetu hitro pokaže, da hominidne lastnosti niso tako unikatne, kot si ljudje radi domišljajo. Lastnosti kot so dvoonožna hoja, izdelovanje orodja, veliki možgani, kultura, vokalizacija in preciznost ročnega oprijema so se v evoluciji večkrat pojavile in to neodvisno.

Poglejmo najprej, v čem se naši možgani razlikujejo od najbolj razvitih živali, kot so kiti, sloni in primati. Absolutna in relativna velikost naših možganov ne odstopa glede na našete vrste. Encefalizacija (EQ) kaže, da so človeški možgani 7-8 krat večji od pričakovane vrednosti, kar je največ med vsemi, a imajo tudi neke kapucinke višji EQ kot šimpanzi in gorile, kar zmanjša edinstvenost tega parametra. Volumen cerebralnega korteksa človeka je precej manjši kot ga imajo sloni in večji kiti, tako v absolutnem kot v relativnem smislu. Prefrontalni korteks, kot center mišljenja in planiranja, v človeku ni prav nič večji kot pri ostalih primatih, pri slonu in kitih je celo večji. Ljudje imajo največjo gostoto kortikalnih nevronov, a strokovnjaki na tem področju menijo, da je bistven parameter kapaciteta procesiranja informacij oz. hitrost prevodnosti kortikalnih vlaken, ki se določi s premerom mielinskih vlaken (Roth in Dicke 2005). Mielinska kortikalna vlakna so precej debela v primatih in tanjša v slonih in kitih. Manjši premer pomeni manjšo hitrost, pri slonih in kitih pa hitrost še dodatno zmanjša višja razdalja med nevroni. Ljudje imamo tako najvišjo prevodnost med vsemi vrstami. Nekateri so zato mnenja, da je velikost naših možganov optimizirana, saj bi nadaljnje povečevanje zvišal razdaljo med nevroni, kar bi zmanjšalo hitrost procesiranja. Torej, če je inteligenca človeka zares najvišja, potem ni rezultat nekih kvalitativnih

razlik, ampak bolj posledica izboljšanja že obstoječe sposobnosti procesiranja informacij. Možgani človeka so namreč zanemarljivo drugačni od drugih primerljivih vrst (Roth in Dicke 2005).

Vendar dolga tradicija kaže, da ljudje pri sebi vedno znova najdemo lastnosti, ki naj bi jih druge živali ne imele. Najbolj izpostavljena je bila dolgo izdelava in uporaba orodja, ki jasno izkazuje inteligenco in namen. Danes je jasno, da orodje izdelujejo ne samo opice, pač pa tudi vrani in celo delfini, ki so v evolucijskem smislu na nek način v slepi ulici, saj jim vodno okolje preprečuje razvoj napredne tehnologije. Tako na primer samotarske samice delfinov izbrskajo spužve, si jih 'prilepijo' na gobček ter z njo rijejo po oceanskem dnu (Smolker in sod. 1997). Motiv za to vedenje je verjetno ta, da spužva deluje kot naravna rokavica in jo med ritjem varuje pred strupenimi živalmi.

Potem sta kot človeški unikat pogosto citirana skladnja in slovnica jezika. Poglejmo si spet primer delfinov, za katere je znano, da imajo silno kompleksno vokalizacijo (Marino 2002). Skupina npr. 12 delfinov ima skupni tip piska, vsak posebej pa razvije še dodatne majhne spremembe piska, ki ga ločijo od ostalih v skupini. Zanimiv je tudi način, kako se mladi delfini naučijo vokalizacije. Proces je podoben kot pri človeku, najprej blebetanje, presežna produkcija zvokov in na koncu redukcija k bolj standardnemu repertoarju. No, najbolj pomembni pa so zaključki študije, ki kažejo, da je delfine moč naučiti razumevanja stavkov in izvajanja primernih dejanj (Conway Morris 2003). Poskus je vključeval dva delfina, ki so jih naučili umetni jezik, sestavljen iz umetnih piskov (dovolj podobnih in hkrati drugačnih, kot jih sama drugače uporabljata) in gibov človeške roke. Izkazalo se je, da delfina razumeta ne samo enobesedni opis določenega predmeta, ampak sta razumela tudi zaporedje besed (skladnjo) in pomen (semantika), četudi so besede npr. obrnili. Delfina sta prav tako razumela človeške gibe, ki kažejo na določen del njihovega telesa. Geste človeka imajo za delfina določen pomen, kar kaže, da imajo ti organizmi sposobnost abstraktnega mišljenja. Seveda poskus ne potrjuje, da imajo delfini slovnico, ali da jo bodo nekoč razvili, a kaže da so za kaj takega povsem usposobljeni.

Glede zavesti, obstoja imitacije, prevare in teorije uma pri živalih, danes konsenza ni (Roth in Dicke 2005). Je pa popolnoma jasno, da delfini samega sebe prepoznajo v ogledalu, kar je nedvomno visoka stopnja samorefleksije, ki verjetno v subjektivnem prostoru teh živali dejansko funkcionira kot določena stopnja samozavedanja (Reiss in Marino 2001).

Potem je velikokrat omenjena družbena ureditev in ljudska kultura kot nekaj povsem unikatnega. A npr. delfini obvladujejo družbena razmerja z vsaj 100 osebkami in tudi ljudmi (pomoč pri ribištvu v Mavretaniji in Braziliji) ter poznajo super-zaveznštva. Podobno kompleksne so ureditve v šimpanzih in slonih, npr. znana je konvergenca med glavači in sloni, tako v kompleksnosti družbene ureditve, varovanju mladičev, inteligenci, spominu in dolgoživosti. Prenašanje kulture je dobro znana za morske sesalce in ptiče. Kiti na ta način prenašajo vokalizacijo in prehranjevalno vedenje. Podobno je pri slonih, kjer so najstarejše slonice najmodrejše in se najlažje zapomnijo slone iz drugih skupin ter tako prenašajo družbeno znanje naprej v svoji družini (McComb in sod. 2001). Kultura je torej prav tako konvergentna, ali

drugače, razvoj kulture je očitno zakonit in v določenih razmerah neizogiben.

Mnogi menijo, da je ključni korak v procesu hominizacije sprememba gibanja. Začelo naj bi se s pogonskimi zadnjimi nogami in sprednjimi rokami namenjenimi hranjenju in oprijemu. Temu je sledila mobilnost rok in vznik dvonožne hoje. Dvonožna hoja je sama po sebi zelo zahtevna, saj zahteva fino uglašeno vestibularnega sistema notranjega ušesa, kar zagotavlja ravnotežje. Pojavila se je kmalu po odcepitvi od skupnega prednika, torej pri nekakšnem šimpanzu podobnem organizmu, popolno pa se je razvila šele v *Homo erectus*. Vendar fosili kažejo, da so se dvonožna hoja, ročna spretnost in tudi veliki možgani razvili neodvisno več kot enkrat (Conway Morris 2003). Odličen primer so opice živeče v geografski izolaciji na otokih Sredozemlja, ki naj bi poznale tako dvonožno hojo kot tudi ročni prijem, obe lastnosti pa naj bi bila konvergentnega izvora, saj opica ni imela stika s takrat že živečim direktnim prednikom človeka, avstralopitekom. Ročna spretnost pa naj ne bi bila omejena zgolj na višje primare. Primere manipulacije s sprednjimi okončinami je opaziti tudi pri nekaterih žabah, vrečarjih, lemurjih in glodavcih, vendar konsenza ali je to konvergenca, ni (Iwaniuk in Whishaw 2000). Navkljub dejstvu, da ljudje izviramo iz določenih afriških opic, hominidne evolucije ni mogoče konstruirati kot evolucijsko tračnico. Jasno je le, da smo edini potomci in preživeli izmed hominidov, ki so kadarkoli obstajali na planetu.

Zaključek

Vse kar je skupno za bakterije in človeka je moralo nastati zelo zgodaj v evoluciji, zasnove so morale obstajati že kar ob nastanku življenja. Inteligenca človeka ima izjemno hitrost procesiranja informacij, ki je neprimerljivo hitrejša kot pri bakterijah. A konzervativnost v pravilih prevajanja signala, v temelju povsem enaka interakcija med DNA in proteini v prokariotskih in evkariotskih celicah, številne molekulske konvergence aktivnih centrov in biokemijskih mehanizmov itn. kažejo, da je inteligenca človeka le nadgradnja elementarne biološke lastnosti, ki jo imajo že bakterije. Lahko bi rekli, da je inteligenca tipa človek evolucijsko neizogibna, a zahteva dolgo trajajočo t.i. habitabilno cono, kjer planet naseljen z živimi bitji ni izpostavljen vesoljskim kataklizmam (Conway Morris 2003).

Evolucija k vedno hitrejšem procesiranju informacij in povečevanju fleksibilnosti je torej visoko verjetna in v veliko primerih celo napovedljiva. Vse naštetu po našem mnenju potrjuje, da je biološka inteligenca zakonitost in ne naključje in je morala biti v primitivni obliki prisotna že ob samem nastanku življenja.

Chyba, C.F., Hand, K.P. (2005). Astrobiology: The study of the living universe. *Annu. Rev. Astron. Astr.* 43: 31-74.

Conway Morris S. 2003. *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge Univ. Press. 464 pp.

Iwaniuk, A.N., Whishaw, I.Q. (2000). On the origin of skilled forelimb movements. *Trends in Neurosciences* 23: 372-376.

Lesley, J.A., Waldburger C.D. 2001. Comparison of the *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* PhoQ sensor domains - Evidence for distinct mechanisms of signal detection. *Journal of Biological Chemistry*, 276: 30827-30833

Marino L. (2002). Convergence of complex cognitive abilities in cetaceans and primates. *Brain Behavior and Evolution*, 59 (1-2): 21-32.

McComb, K., Moss, C., Durant, S.M., Baker, L., Sayialel, S. (2001). Matriarchs as repositories of social knowledge in African elephants. *Science*, 292 (5516): 491-494.

Reiss, D., Marino, L. (2001). Mirror self-recognition in the bottlenose dolphin: A case of cognitive convergence. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 98 (10): 5937-5942

Roth, G., Dicke, U. (2005). Evolution of the brain and intelligence. *Trends in Cognitive Science*, 9: 250-257.

Smolker, R., Richards, A., Connor, R., Mann, J., Berggren, P. (1997). Sponge carrying by dolphins (*Delphinidae*, *Tursiops* sp.): A foraging specialization involving tool use? *Ethology*, 103 (6): 454-465.

Watts, R.A., Hunt, P.W., Hvitved, A.N., Hargrove, M.S., Peacock, W.J., Dennis, E.S. (2001). A hemoglobin from plants homologous to truncated hemoglobins of microorganisms. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 98 (18): 10119-10124.

Wessler, I., Kirkpatrick, C.J., Racke, K. (1999). The cholinergic 'pitfall': Acetylcholine, a universal cell molecule in biological systems, including humans. *Clinical And Experimental Pharmacology And Physiology*, 26 (3): 198-205.