

EVO-DEVO A NOVÉ SMERY V EVOLUČNEJ BIOLÓGII

Vladimír Kováč

Abstract. The evolutionary developmental biology (Evo-Devo), represents a combination of traditional and modern biological sciences that integrates various disciplines of evolutionary biology and biology itself, such as embryology, systematics, paleontology and/or comparative anatomy with molecular developmental biology, genetics and genomics. As such, Evo-Devo brings new and more complex insights into evolutionary processes. As a result a serious revision and/or extension of Modern Synthesis is necessary.

Čím väčšie pokroky biológia dosahuje, tým väčšími sa presvedčame, že svet živej hmoty je mnohonásobne zložitejší, ako sme si kedysi predstavovali. Túto skutočnosť začína chápať čoraz viac prírodovedcov. Jedným z dôsledkov tohto ponímania je aj fakt, že neodarvinistické ponímanie evolučných procesov sa podrobne kritickému skúmaniu (1, 2, 3). Potešiteľné je, že aj v evolučnej vývinovej biológii sa rodia nové pohľady na evolučné procesy, ktoré tvoria vedeckú alternatívu či významné rozšírenie (v závislosti od uhla pohľadu) hlavného prúdu – neodarvinizmu či modernej syntézy. Evolučná vývinová biológia, skrátene evo-devo, je mladá vedecká disciplína, jej korene však siahajú viac ako jeden a pol storočia do minulosti. Predstavuje kombináciu tradičných a moderných biologických vied, pričom medzi jej najsilnejšie stránky patrí to, že integruje klasické odvetvia evolučnej biológie a biológie vôbec, napríklad embryológiu, systematiku, paleontológiu a porovnávaciu anatómiu, s molekulárnou vývinovou biológiou, genetikou a genomikou. Spája tak výskum na úrovni organizmov s výskumom na bunkovej a molekulovej úrovni, no zahŕňa aj prepojenia opačným smerom – k vyšším hierarchickým úrovňam – kde si pomáha ekológiou či systémovou biológiou. Vďaka najmodernejším metódam a technológiám je pre evolučnú vývinovú biológiu charakteristický mimoriadne dynamický vývoj s mohutným prúdom nových poznatkov, často prevratných, prinášajúcich aj také prekvapenia, ktoré nútia biológov prehodnocovať nielen niektoré aspekty, ale dokonca aj základné piliere doterajšieho väčšinového vnímania evolučných procesov.

Prvý zásadný odklon progresívnych prúdov evo-devo od neodarvinizmu spočíva v celkom inom chápaní organizmov. Zatiaľ čo génocentrický neodarvinizmus im prisudzuje rolu prevažne pasívnych hráčov, ktorí sú v rukách náhodných mutácií a prírodného výberu, evo-devo ich vníma ako flexibilné funkčné systémy. Ak sa prostredie organizmu mení, jeho vývinové systémy mu poskytujú schopnosť prispôbiť sa, a to tak, že môže nadobudnúť nejakú novú funkciu a potom si ju zachovať. Takéto prispôbenie (adaptácia) môže mať charakter fyziologický alebo evolučný. Môže sa teda prejaviť v časovej škále od takmer okamžitej fy-

ziologickej odpovede (počas života jedinca) až po adaptívne odpovede celých vývojových línií na úrovni makroevolučných procesov (5).

Wallace Arthur, ktorý sa dostal k evolučnej biológii štúdiom populačnej genetiky a molekulárnej biológie, čiže dvoch pilierov, na ktorých je moderný neodarvinizmus založený, píše o piatich zásadných medzerách neodarvinistickej evolučnej teórie: 1) neberie do úvahy všetky kroky (vývinové), ktoré sa odohrávajú medzi mutáciou a pôsobením prírodného výberu, 2) zameriava sa takmer výlučne na prírodný výber (ktorý je „deštruktívny“), a zanedbáva tak možnosť tvorivého vzniku odchýlok (napríklad počas ontogenézy), 3) neberie vždy do úvahy ontogenetickú stálosť a dáva prednosť [stále] evolučnej zmene, 4) pri riešení otázky, ako organizmy reagujú na problémy, ktoré pred nich stavia prostredie, zostáva na povrchu a 5) vo svojich extrémnych vyjadreniach je **zväčša** gradualistická (4).

Cesty, ktorými evolučná biológia charakterizuje evolučné kroky, zhrnuli Dassov a Munro (6) takto: „Evolučná zmena v morfológii je doslova dedičnou odchýlkou vo vývine. Vývinový mechanizmus je fundamentálnou entitou, správanie ktorej sa mutáciou zmení, a tak je substrátom fenotypových odchýlok. Pre nedostatok koherentných konceptov vývinových mechanizmov a solidných príkladov museli evoluční biológovia považovať za dané, že existujú vývinové mechanizmy, ktoré reagujú na selekčný tlak. Evolučná biológia sa tak historicky zameriavala na povahu tohto tlaku a na interpretáciu scenárov poskytujúcich výklad pre existenciu špecifických foriem, o ktorých sa predpokladalo, že sú celkovo menej ‚adaptované‘. V dôsledku toho evolučná biológia pojala medzi svoje vysvetľovacie nástroje nič ako finálnu kauzalitu. Gould a Lewontin (7) vo svojej kritike ‚adaptacionistického programu‘ poznamenali, že prírodný výber (Dawkinsov ‚slepý hodinár‘) je takmer teologické vysvetlenie fenotypovej adaptácie, v ktorom sa možné scenáre adaptívnej zmeny obmedzujú iba na našu schopnosť predstaviť si, ako môže byť dnes prežívajúci výsledok evolúcie dosiahnutý prostredníctvom série selektívne favorizovaných prechodných foriem. Okrem toho, evoluční biológovia sú rovnako doma v zaškatulkovaní prírodného výberu do teórie populačnej genetiky (tú možno označiť trebárs ako učňa slepeho hodinára), ktorá vytvára bázu pre formálne mechanistické spôsoby vysvetľovania. Ťažko však možno urobiť skok bez nejakej konkrétnej myšlienky o tom, ako genotypy determinujú morfológické fenotypy, je ťažké povedať, aký je vzťah medzi šírením alel v populáciách a prejavmi morfológických zmien. Jedným z hlavných prínosov evolučnej vývinovej biológie je nachádzanie takýchto konkrétnych myšlienok, vďaka ktorým ten skok v evolučnej biológii už môžeme urobiť. Dnes je už jasné, že ‚organizmy nie sú [iba] produktom epigeneticky spúšťaných predpripravených genetických programov. Pretože ontogenéza ako tvorivý proces je niečo viac, skutočne niečo iné ako diferenciálna expresia génov. Je to proces chaotický, nelineárny, čiže emergentne epigenetický. Vývin nie je záležitosťou ‚gény plus niečo‘, ale skôr vecou

semiautonomnej sebakonštitúcie organizmu z celej palety ontogenetických surovín“ (8).

Sporným momentom neodarvinistického výkladu evolúcie je aj gradualizmus. Je to myšlienka, podľa ktorej mutácie v genóme môžu spôsobovať maličké odchýlky vo vlastnostiach organizmu, pričom tie sa môžu kúsok po kúsok hromadiť aj počas celých geologických období, v dôsledku čoho sa vytvára ten komplexný poriadok, ktorý v organizmoch pozorujeme. Gradualizmus, ktorý je jedným z najvýznamnejších východísk celej Darwinovej tézy, teda predpokladá, že evolúcia sa odohráva pomalými postupnými zmenami. Mnohým vývinovým biológom sa však gradualizmus nepozdáva. Okrem teórie saltatorickej ontogenézy (9) majú vedci k dispozícii nielen teórie, ale aj niekoľko dôkazov, že evolúcia niektorých organizmov, napríklad určitých skupín hlodavcov, ale aj korytnáčiek, nemohla prebehnúť pomaly a postupne, ale náhlým skokom bez akejkoľvek prechodnej formy (8).

Navyše, gradualizmu odporujú aj poznatky fyziky, chémie a matematiky súvisiace s procesom sebausporiadania hmoty. Podľa Stuarta Kauffmana môže v niektorých komplexných systémoch podobných živým organizmom aj drobná mutácia spôsobiť katastrofické zmeny, a nie nenápadné modifikácie. Ilustruje to na matematických príkladoch (10). Gradualizmus je pritom úzko spätý aj s prehnaným redukcionizmom. Ten vyplýva z nesprávneho ponímania organizmu ako sústavy pomerne nezávislých častí, ktoré možno rozobrať a skúmať izolovane od celku. Pre takto ponímaný organizmus by bolo jednoduché mutovať pomaly a postupne po jednotlivých častiach bez toho, aby sa to akokoľvek negatívne dotklo celku. Ak sú však všetky súčasti organizmu späté silnými vzájomnými väzbami, aj drobná mutácia jednej časti ovplyvní všetky ostatné (10). „Vývinová genetika odhaľuje viac než obyčajný katalóg potrebných častí a začína odhaľovať niečo o tom, čo tie časti robia, ktoré z nich vstupujú do interakcií a prečo to bez nich nejde“ (6).

Ak to všetko zhrnieme, v evolučnej biológii sa po desaťročiach dominancie géocentrického neodarvinizmu (čiže modernej syntézy) znova dostáva na pretras „odveky“ spor dvoch koncepcií evolúcie – darvinizmu a lamarckizmu, či vlastne v dnešnej podobe už spor neodarvinizmu a neolamarckizmu, resp. epigeneticizmu.

Rozdiely medzi týmito dvoma koncepciami sú jasné: podľa neodarvinizmu treba kľúč k poznaniu evolučných procesov hľadať v génoch (v genotype), podľa neolamarckistického epigeneticizmu v celých organizmoch (vrátane fenotypu). Hlavným metodologickým východiskom géocentrického neodarvinizmu je redukcionizmus, zatiaľ čo epigeneticizmus zdôrazňuje holistický prístup a komplexitu. Neodarvinizmus vníma organizmy ako pasívne entity odkázané na génové mutácie a prírodný výber, epigeneticizmus ako flexibilné systémy schopné aktívne sa prispôbiť prostrediu. Podľa neodarvinistov je evolúcia proces postupný a plynulý, epigeneticizmus to skôr popiera, resp. pripúšťa aj zmeny náhle, skokové.

Pochopiteľne, až také jednoduché to zasa nie je. Svet nie je čierno-biely, a tak ani spor medzi neodarvinizmom a neolamarckistickým epigeneticizmom nemožno vnímať čierno-bielo. Zhrnutie rozdielov nám poslúžilo iba ako pomôcka na sprehľadnenie, v čom sa nová alternatívna predstava evolučných procesov líši od hlavného prúdu. V skutočnosti možno v rámci evolucionizmu nájsť názorové kontinuum. Jestvujú ortodoxní neodarvinisti, ktorí nevnímajú nič iné iba tok génov v populácii a sito prírodného výberu – to sú tí, ktorí „vedia“ vypočítať, čo sa odohralo v minulosti, čo sa odohráva v súčasnosti, ba nájdu sa aj takí, ktorí by chceli vypočítavať a ovplyvňovať evolučnú budúcnosť. Sú v podstate darvinovskejší ako Darwin, pretože ten pripúšťal aj možnosť, že v evolúcii zohrávajú úlohu aj získané vlastnosti, lamarckizmus striktnie nevyučoval. Našťastie však jestvujú aj racionálnejší neodarvinisti, ktorí sú otvorení novým poznatkom, a hoci zotrávajú na základných východiskách (napríklad populačnej genetike a prírodnom výbere), uvádzajú si nevyhnutnosť nahradiť redukcionizmus holistickým prístupom skúmania evolučných procesov. Je celkom prirodzené, že jestvujú aj prívrženci epigeneticizmu, ktorí vykladajú epigenetické javy na pozadí neodarvinistického konceptu (vlastne možno skôr darwinovského, ktorý je otvorenejší) evolučnej teórie a napokon aj evo-devo biológovia ako striktní odporcovia neodarvinizmu, ktorí považujú všetky jeho piliere za neudržateľné.

Zmienené rozdiely sa pochopiteľne týkajú opačných koncov tohto kontinua. V skutočnosti sú postoje evolučných biológov, a biológov či prírodovedcov vôbec, k niektorým podrobnostiam skôr nevyhranené, takže niekedy je ťažké rozlíšiť, aký „izmus“ daný bádateľ obhajuje. Najdôležitejšie je však niečo iné: napriek búrlivým debatám a nezmieriteľným postojom k jednotlivým otázkam evolučnej biológie všetkých evolučných biológov spája poznanie, že evolúcia živých bytostí na našej planéte je vedecky overiteľný fakt.

Podakovanie: tento článok predstavuje mierne upravenú verziu záverečnej kapitoly inej publikácie (11) a je publikovaný so súhlasom vydavateľa (AQ-BIOS).

Literatúra

1. PULQUÉRIO, M. J. F. – NICHOLS, R. Dates from molecular clock: how wrong can we be? in Trends in Ecology and Evolution. 2007. Roč. 22, s. 180 – 184.
2. WÄGELE, J. W. – LETSCH, H. – KLUSSMANN-KOLB, A. – MAYER, C. – MISOF, B. – WÄGELE, H. Phylogenetic support values are not necessarily informative: the case of the Serialia hypothesis (a mollusk phylogeny). in Frontiers in Zoology. 2009. Roč. 6, s. 12.
3. ENDICOTT, P. – HO, S. Y. W. – METSPALU, M. – STRINGER, C. Evaluating the mitochondrial timescale of human evolution. in Trends in Ecology and Evolution. 2009. Roč. 24, s. 515 – 521.

4. ARTHUR, W. Biased embryos and evolution. Cambridge. Cambridge University Press. 2004.
5. BREUKER, C. J. - DEBAT, V. - KLINGENBERG, C. P. Functional evo-devo. in Trends in Ecology and Evolution. 2006. Roč. 21, s. 488 - 492.
6. DASSOW, G. VON - MUNRO, E. Modularity in Animal Development and Evolution: Elements of a Conceptual Framework for EvoDevo. in Journal of Experimental Zoology, Part B: Molecular and Developmental Evolution. 1999. č. 285, s. 307 - 325.
7. GOULD, S. J. - LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist program. Proceedings of the Royal Society B. 1979. č. 205, s. 581 - 598.
8. ROBERT, J. S. Embryology, epigenesis and evolution. Cambridge. Cambridge University Press. 2004.
9. BALON, E. K. The theory of saltation and its application in the ontogeny of fishes: steps and thresholds. Environmental Biology of Fishes. 1979. Roč. 4, s. 97 - 101.
10. KAUFFMAN, S. A. At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity. New York: Oxford University Press. 1995.
11. KOVÁČ V. Vybrané aspekty evolučnej vývinovej biológie. Bratislava. AQ-BIOS. 2009. Dostupné na internete <<http://www.aqbios.com>>.

Doc. RNDr. Vladimír Kováč, CSc. je docentom na Katedre ekológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Medzi jeho prednášky patria predmety Ontogenéza a evolúcia, Ekológia a Moderné trendy v ekológii. V oblasti výskumu sa venuje najmä štúdiu ontogenézy, biologických invázií a epigenetických mechanizmov na fenotypovej úrovni. Je členom výkonného výboru The Fishery Society of British Isles, Slovenskej zoologickej spoločnosti, ako aj ďalších vedeckých spoločností.