

Historyczne uwarunkowania ewolucji E.coli

Autor tekstu: **PZ Myers**

Tłumaczenie: **Małgorzata Koraszewska**

W zeszłym tygodniu, kiedy podróżowałem, ukazał się ważny artykuł o ewolucji *E. coli*, opisujący pracę Blounta, Borlanda i Lenskiego nad pojawianiem się nowych cech w eksperymentalnej populacji bakterii. Sądziłem, że zanim wrócę wszyscy tym się zajmą, ale w blogosferze nie ma jeszcze zbyt wiele informacji. W niektórych sprawozdaniach [niewłaściwy jest nacisk](#), bo twierdzą, że chodzi tu o szybkie nabywanie cech, podczas gdy [kreacjoniści](#) zrobili z tego całkowity galimatias. Oczywiście [Carl Zimmer pisze jak trzeba](#), a ma on tę przewagę, że dopiero co opublikował książkę na ten temat ze znakomitym omówieniem prac Lenskiego.

Kluczowy zwrot znajduje się na samym początku, już w samym tytule: *historyczne uwarunkowania*. Ten artykuł w całości traktuje o tym, jak przypadki w genetyce populacji mogą ukształtować jej przyszłą trajektorię ewolucyjną. Opisuje jak mogą wyewoluować nowe zdolności, które wymagają jakichś złożonych nowości, i mówi wyraźnie, że w tym wypadku nie zaszło to dzięki szczęśliwemu równoczesnemu pojawieniu się zestawu mutacji, ale zależało od genetycznej puli populacji. To jest, dwie populacje mogą być z grubsza takie same pod względem przystosowania i fenotypu, ale obecność (prawdopodobna) neutralnych mutacji w jednej z nich mogła umożliwić inne zmiany, predysponujące ją do danych wzorców zmiany.

Sami przeczytajcie streszczenie, zwracając szczególną uwagę na części, które zaznaczyłem.

Wiele dyskutowano o roli historycznego uwarunkowania w ewolucji, ale rzadko kiedy to sprawdzano. W 1988 roku założono dwanaście identycznych populacji *Escherichia coli*, żeby zbadać tę kwestię. Od tego czasu ewoluowały one na pożywce o ograniczonej ilości glukozy, zawierającej również cytrynian, którego *E. coli* nie mogą używać jako źródła węgla w środowisku z tlenem. Przez ponad 30 tysięcy pokoleń żadna populacja nie rozwinęła zdolności wykorzystywania cytrynianu, chociaż każda z populacji wykazała w testach miliardy mutacji. Używająca cytrynianu odmiana (Cit(+)) rozwinęła się wreszcie w jednej populacji po 31.500 pokoleń, powodując wzrost wielkości i różnorodności tej populacji. **Opóźniona i unikatowa ewolucja tej funkcji może wskazywać na zajście jakiejś wyjątkowo rzadkiej mutacji. Albo też może wskazywać na zwykłą mutację, ale taką, której fizyczne występowanie lub fenotypowa ekspresja zależy od uprzedniej mutacji w tej populacji.** Przetestowaliśmy te hipotezy w eksperymencie, który „powtórzył” ewolucję z różnych punktów historii tej populacji. Nie zaobserwowaliśmy żadnych mutantów Cit(+) wśród $8,4 \times 10^{12}$ komórek-przodków, ani wśród 9×10^{12} komórek z 60 klonów dobranych z pierwszych 15 tysięcy pokoleń. Zaobserwowaliśmy jednak znacznie większą tendencję wśród późniejszych klonów do ewoluowania w Cit(+), co wskazuje, że jakieś potencjujące mutacje powstały po 20 tysiącach pokoleń. Ta potencjująca zmiana podniosła tempo mutacji do Cit(+), ale nie spowodowała ogólnej hipermutacyjności. **Tak więc ewolucja tego fenotypu zależała od konkretnej historii tej populacji. Mówiąc bardziej ogólnie, sugerujemy, że historyczne uwarunkowanie jest szczególnie ważne, gdy ułatwia ewolucję kluczowych innowacji, które nie mogą z łatwością wyewoluować drogą stopniowego, kumulacyjnego doboru.**

Blount i jego koledzy testowali stare twierdzenie S. J. Goulda, że gdybyśmy powtórzyli film życia, nie otrzymywalibyśmy za każdym razem tych samych rezultatów. Każdy krok ewolucji zależy od uprzedniej historii — jest uwarunkowany — i ponieważ wiele kroków dzieje się przypadkiem jeszcze nie przefiltrowanym przez dobór, nie możemy przewidzieć kierunku ewolucji.

Nie możemy cofnąć rozwoju całej planety, ale przy starannym zaprojektowaniu możemy ustalić populację, którą da się oglądać wstecz. Lenski zrobił to przez założenie 20 lat temu 12

odrębnych populacji *E. coli*, z których każda ewoluowała niezależnie i we własnym kierunku. Jak dotąd przez próbówki w laboratorium Lenskiego przewinęło się 44 tysiące pokoleń. To jest bardzo dużo, a przy typowym tempie mutacji u tych stworzeń oznacza to, że każdy nukleotyd mutował wiele razy w populacji — innymi słowy, było wystarczająco dużo czasu, by dokładnie zbadać pojedyncze substytucje. Ponadto co 500 pokoleń zamrażano próbkę każdej populacji, badacze mogą więc cofnąć się w czasie i zbadać ich genomy czy też rozpocząć od nowa hodowlę danej linii. Wyobraź sobie, czego moglibyśmy się dowiedzieć, gdyby jacyś zagadkowo życzliwi kosmici odwiedzali Ziemię co 5-10 tysięcy lat, łapali kilka losowo wybranych grup hominidów/naczelnych i upychali je w kriogenicznym magazynie — taki właśnie jest ten eksperyment.

Te bakterie są hodowane w stałym środowisku, które jest nieco poniżej ideału: dostają małe ilości glukozy i nic poza tym. Jest to ścisła dieta, która zachęca dobór nieco innych właściwości niż te, które znajdujemy w naszych jelitach, czyli w jednym z normalnych środowisk *E. coli*. Bakterie ewoluowały i mają odrębne cechy morfologiczne, a wiele ich właściwości jest stałych w populacjach. Istnieje jedna właściwość, która może być pożyteczna dla bakterii, ale rozwinęła się ona tylko w jednej z 12 populacji: zdolność używania cytrynianu jako źródła węgla. W pożywce znajduje się mnóstwo cytrynianu i dla każdej bakterii byłoby znacznym wyczynem nabycie zdolności metabolizowania go, ale to się po prostu nie zdarzało tak często, jak można by oczekiwać... a tylko w jednej z 12 populacji, która mniej więcej w 33 tysięcznym pokoleniu nagle gwałtownie zwiększyła stabilny rozmiar swojej populacji wykorzystując cytrynian w środowisku.

Jak to się zdarzyło? Według streszczenia tej pracy rozważano dwie alternatywy. W jednej nowa zdolność jest wyłącznie wynikiem niesłychanie rzadkiej mutacji, jakiejś mało prawdopodobnej kombinacji zdarzeń, która dała szczęśliwej jednostce w tej populacji zdolność pobierania i używania cytrynianu. Gdyby tak było i cofnęliśmy bieg ewolucji do czasu przed powstaniem tej mutacji, a potem pozwolilibyśmy znowu na powtórkę, nie spodziewalibyśmy się zwiększonego prawdopodobieństwa tego wydarzenia — po prostu byłoby takie jak w pozostałych 11 populacjach. Inną możliwością jest, że ta populacja już uprzednio miała jakąś umożliwiającą to cechę, jakieś dziwactwo w genomie, które w żaden sposób nie wpływało na przetrwanie, ale które w połączeniu z jakąś zwykłą mutacją o zwykłym prawdopodobieństwie mogło predysponować tę populację do nabycia użytecznej cechy metabolizowania cytrynianu. W takim wypadku przewinięcie filmu życia z powrotem do czasu sprzed pojawienia się tej zdolności i ponowne jego przegranie pokazałoby większą częstość pojawiania się tej zdolności. Co więcej, przewijając film jeszcze bardziej do tyłu, można zidentyfikować, kiedy powstała ta umożliwiająca zmianę.

Cechę cytrynian+ zaobserwowano w populacji nazwanej Ara-3 po mniej więcej 33 tysiącach pokoleń. Patrząc wstecz na zamrożone populacje badacze ustalili, że początkowa mutacja, która umożliwiła wzrost na cytrynianie pojawiła się w rzeczywistości gdzieś między 31 a 35 tysiącem pokoleń. Te wczesne pokolenia nie rosły zbyt efektywnie na cytrynianie, obserwatorzy sądzą więc, że druga mutacja musiała pojawić się mniej więcej po 33 tysiącach pokoleń i umożliwić znacznie szybszy wzrost. *E. coli* z pokoleń sprzed 31 tysięcy, które nie wykazywały dającej się odkryć zdolności rośnięcia na cytrynianie.

Badacze poszli więc dalej wstecz dzięki wzięciu próbek z wcześniejszych pokoleń i pozwoleniu im na ponowne rozmnażanie się, powtarzając w ten sposób historię. Jeśli mutacja cytrynianowa była rzadką, unikatową mutacją, to nie spodziewali się, by ta cecha powstała na nowo. Zobaczyli jednak, że bakterie pobrane po pokoleniu 20 tysięcznym rozwijały zdolność absorbowania cytrynianu z większą częstotliwością - było w populacji Ara-3 coś, co powstało mniej więcej w 20 tysięcznym pokoleniu, co nie czyniło ich cytrynian+, ale powodowało, że następne pokolenia łatwiej ewoluowały cytrynian+, potwierdzając hipotezę o historycznym uwarunkowaniu.

A oto lekcja: na prawdopodobieństwo powstania pewnych mutacji silnie wpływa uwarunkowanie historyczne — w różnych populacjach z różnym prawdopodobieństwem będą powstawały dane cechy. W historii tej jednej populacji *E. coli* były trzy zdarzenia, które umożliwiły odżywianie się cytrynianem. Pierwsze umożliwiło zmianę w mniej więcej 20 tysięcznym pokoleniu, drugie było początkową mutacją, która faktycznie pozwoliła na powolne pobieranie cytrynianu od mniej więcej 31 tysięcznego pokolenia i trzecie było udoskonaleniem w pokoleniu 33 tysięcznym, które pozwoliło bakteriom rosnąć lepiej na cytrynianie. Zauważmy: musiały zdarzyć się **3 mutacje**, aby dać wyraźnie lepiej rosnącą populację cytrynian+.

Kreacjoniści już rzucają się na ten wynik i beznadziejnie go przekreślają. [Michael Behe](#)

[natychmiast ogłosił zwycięstwo](#) mówiąc, że te rezultaty popierają jego interpretację.

Sądzę, że ten rezultat łatwiej pasuje do poglądu przedstawionego w The Edge of Evolution. Jedną z głównych tez tej książki było to, że jeśli tylko jedna mutacja potrzebna jest do nadania jakiejś zdolności, to ewolucja darwinowska nie ma problemu ze znalezieniem jej. Jeśli jednak potrzeba więcej niż jednej mutacji, prawdopodobieństwo, że wszystko się dopasuje, maleje wykładniczo. „Jeśli muszą zajść dwie mutacje zanim nastąpi korzystny efekt — jeśli stan pośredni jest szkodliwy lub mniej dostosowany niż stan wyjściowy — to jest to już wielki problem dla ewolucji”. A jeśli potrzeba więcej niż dwóch mutacji? Zadanie szybko przekracza możliwości losowych mutacji.

Chwileczkę — czy on czytał tę pracę? Tutaj jest eksperyment pokazujący cechę, która wymaga *przynajmniej trzech mutacji*. A przecież cecha zaistniała, dokonana drogą naturalnej ewolucji, bez żadnego inteligentnego projektu; i kiedy powtarza się eksperyment z populacją, która miała początkowo umożliwiającą odmianę, cecha ta rozwija się na nowo wiele razy. Wydaje mi się, że ta praca pokazuje, iż dryf, przypadek, historyczne uwarunkowanie i dobór wystarczają do przezwyciężenia „wielkiego problemu dla ewolucji” i bezpośrednio obala przesłanki jego książki.

Jeśli rozwój wielu cech komórki wymaga wielu mutacji w trakcie ewolucji, to komórka ta nie poddaje się darwinowskiemu wyjaśnieniu. Pokazałem w The Edge of Evolution, że jest to bardzo zasadny wniosek.

To jest po prostu osłupiające. Behe twierdzi, że pokazał w swojej książce, iż rezultat osiągnięty przez Lenskiego i jego kolegów nie mógł się zdarzyć bez inteligentnej interwencji... a przecież się zdarzył. Próbuje on argumentować, że eksperyment, który pokazał ewolucję w próbówce, nie pokazał ewolucji w próbowni. Twierdzenia Behego można porównać do kogoś, kto żył w czasach Keplera i Newtona i w odpowiedzi na badania pokazujące, że Ziemia się kręci, próbował twierdzić, że ponieważ orbity Kopernika nie w pełni pasują do danych, to Ziemia musi stać w miejscu. Tak kompletnie pokręcone są twierdzenia Behego.

Behe to niewłaściwa melodia na zakończenie, spójrzmy więc na wnioski samego artykułu. Odpowiedź nie znajduje się w fikcyjnym projektancie, ale w rzeczywistości historycznych odmian. A to jest rozkoszne odkrycie.

(...) nasze badanie pokazuje, że uwarunkowania historyczne mogą mieć głęboki i trwały wpływ w najprostszych, a więc najbardziej rygorystycznych warunkach, w których początkowo identyczne populacje ewoluują w identycznym środowisku. Nawet z tak prostych początków małe, szczęśliwe zbiegi okoliczności w historii mogą poprowadzić populację inną ścieżką ewolucyjną. Komórka potencjująca poszła mniej uczęszczaną ścieżką i to zaważyło na wszystkim.

PZ Myers

Ur 1957. Amerykański profesor biologii na uniwersytecie w Minnesocie, prowadzi również popularyzujący naukę blog [Pharyngula](#).

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 20-06-2008)

[Oryginał..](#) (<http://www.racionalista.pl/kk.php/s,5937>)

Contents Copyright © 2000-2008 by Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.

Właścicielem witryny są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane

w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych

do tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

Wszystkie strony tego serwisu, wliczając w to strukturę podkatalogów, skrypty JavaScript oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tej witryny oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tej witryny i nie korzystać z jej zasobów.

Informacje zawarte na tej witrynie przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów serwisu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na witrynie. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl