

## Geneza i rozwój życia

### LUCA

Najwcześniejsze dowody istnienia żywych organizmów na Ziemi, które odkryto w Grenlandii, pochodzą sprzed 3,7 miliarda lat, co oznacza, że życie prawdopodobnie rozpoczęło się około 4 miliardów lat temu, niemal natychmiast po tym, jak temperatura na Ziemi była wystarczająco niska, aby podtrzymać życie. Zgodnie z obecną naukową wiedzą najwcześniejszy prekursor życia nosi nazwę LUCA<sup>1</sup> - Ostatni Powszechny Wspólny Przodek. Istnieje kilka hipotez dotyczących struktury LUCA, a niektórzy ewolucjoniści twierdzą, że był to bardzo prosty organizm.

Uważam, że realistycznym i bezpiecznym podejściem jest założenie, że LUCA była bardzo podobna do budowy najprostszych dzisiejszych bakterii, która prawie się nie zmieniła przez ostatnie 3 miliardy lat. Dlatego możemy założyć, że pozostała niezmienną od samego początku życia na Ziemi.

Pierwsze żywe organizmy nie były workami DNA z przypadkowo umiejscowionymi białkami i enzymami, ale zawierały wyrafinowaną i złożoną maszynę molekularną. Musi istnieć dolna granica złożoności organizmu, poniżej której życie biologiczne nie jest możliwe. Organizmy zmodyfikowane genetycznie stały się rzeczywistością, a do komórek wszczepiono zupełnie nowe zestawy genów. Taką pracę przeprowadzono w Instytucie J. Craiga Ventera, gdzie syntetyczny genom pasożytniczej bakterii *Mycoplasma mycoides* został zredukowany do 473 genów. Po modyfikacjach bakterie te rozmnażały się w doskonałych warunkach laboratoryjnych w obniżonym tempie 3 godzin<sup>2</sup>. Jednak syntetyczny genom został wprowadzony do żywych bakterii, w których już istniała cała podstawowa struktura komórkowa. Podczas tego eksperymentu wiele genów mogło zostać usuniętych, co wpłynęłoby na długoterminowe funkcjonowanie bakterii, dlatego 473 geny mogą nie reprezentować minimalnego genomu. Ponieważ funkcje wielu genów nie zostały zidentyfikowane, trudno jest oszacować, jaki genom jest rzeczywiście potrzebny do życia.

---

<sup>1</sup> Last Universal Common Ancestor

<sup>2</sup> Hutchinson, C.A., et al. 2016. Design and synthesis of a minimal bacterial genome. *Science*. 351: 25 March.

Jaka powinna być podstawowa struktura LUCA, która mogłaby wykonywać wszystkie niezbędne do życia zadania? Musi spełniać kilka podstawowych funkcji: musi wytwarzać i wykorzystywać energię; musi przechowywać i wykorzystywać informacje o tym, jak budować struktury komórkowe; musi być w stanie wytworzyć wszystkie składniki komórki z dostępnych surowców; oraz musi się rozmnażać lub wytwarzać identyczne kopie samych siebie z wykorzystaniem przechowywanych informacji i urządzeń produkcyjnych.

LUCA, która musiała wykorzystywać fotosyntezę do generowania energii, powinna być podobna do obecnych sinic, które mają około 3000 genów. Dlatego najprawdopodobniej pierwsze organizmy, które musiałyby przetrwać w trudnym środowisku i przystosować się do zmieniających się warunków, potrzebowałyby co najmniej 2000 genów. Niektórzy badacze sugerowali, że LUCA mogła mieć zaledwie sześćset lub tysiąc genów, ale nie są w stanie dostarczyć żadnego uzasadnienia tej hipotezy.

LUCA od początku była bardzo złożoną biochemiczną fabryką, wykorzystującą kilka tysięcy białek biorących udział w tysiącach reakcji chemicznych. Procesy takie jak fotosynteza i oddychanie, które istniały od samego początku życia na Ziemi, posiadają, nawet według dzisiejszej wiedzy naukowej, zadziwiającą złożoność.

Ponieważ niemożliwe byłoby wyewoluowanie tak złożonego życia z materii nieorganicznej, najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem jest to, że zostało sprowadzone na Ziemię. Życie zostało zaprojektowane, a komórki zostały stworzone przez inżynierów pozaziemskich i dostarczone, gdy Ziemia nadawała się do zamieszkania. Komórki mogły zostać dostarczone w specjalnych pojemnikach, które zostały wysłane na naszą planetę. Kontenery te wylądowały w oceanach, gdzie została uwolniona ich zawartość.

Pierwszymi organizmami, które pojawiły się na Ziemi, były komórki podobne do dzisiejszych bakterii, w tym sinice odpowiedzialne za wytwarzanie tlenu. Dalszy rozwój tych organizmów był napędzany przez kilka mechanizmów. Najważniejsze z nich to bakteriofagi lub wirusy, które replikują się w bakteriach i mogą modyfikować bakteryjne DNA. Ulepszone geny niektórych bakterii można przenieść na inne bakterie za pomocą mechanizmu horyzontalnego transferu genów.

Mechanizm ten umożliwia bezpośredni transfer genów od jednego osobnika do drugiego, a także pobieranie materiału DNA spoza komórki. Mechanizmy te

umożliwiają bakteriom bardzo szybkie przystosowanie się do różnych warunków środowiskowych i wypełnienie wszelkich dostępnych nisz. Obecnie znajdujemy bakterie żyjące w każdych warunkach na Ziemi. Od jezior alkalicznych po kwaśne, od Arktyki po podwodne kominy wulkaniczne. Bakterie są w stanie skolonizować wszystkie żywe organizmy, gdzie odgrywają ważną rolę w ich metabolizmie. Nie wiemy, ile gatunków bakterii istnieje, ale niektóre oszacowania są rzędu miliarda.

Po około 2 miliardach lat, kiedy poziom tlenu w atmosferze wzrósł do wystarczająco wysokiego poziomu, Ziemia była gotowa na przyjęcie bardziej zaawansowanego życia. Następnie pojawiła się komórka eukariotyczna; nowy element budulcowy, który ostatecznie umożliwił budowę organizmów wielokomórkowych. Najprawdopodobniej przodkowie komórki eukariotycznej również zostali dostarczeni na Ziemię w pojemnikach.

Komórki eukariotyczne mają znacznie bardziej złożone mechanizmy modyfikacji genetycznej niż bakterie. Mechanizmy te, obejmujące transpozony i introny, pozwoliły organizmom modyfikować swoje geny i dostosowywać się do różnych środowisk. Komórki eukariotyczne również zmieniały swoje geny w wyniku ataków wirusów, które wstrzykiwały nowe materiały DNA.

Przez następne 1,5 miliarda lat życie w oceanach było zdominowane przez pojedyncze organizmy eukariotyczne należące do królestwa Protista. Niektóre protisty, takie jak glony, przeprowadzają fotosyntezę, inne są drapieżne, zjadają inne protisty i bakterie, a niektóre żywią się martwymi organizmami. Szacuje się, że obecnie do tego królestwa należy około 250 000 gatunków. Warto zauważyć, że chociaż komórki eukariotyczne miały wszelkie możliwości stania się organizmami wielokomórkowymi, to jednak długo czekały na następną fazę rozwoju. Opóźnienie to było spowodowane niestabilnością klimatyczną Ziemi. Ziemia między 750 a 550 milionami lat temu przeszła przez kilka etapów zlodowacenia, z których niektóre były tak poważne, że spowodowały zamrożenie wszystkich oceanów. Dopiero gdy temperatura Ziemi wróciła do normy, mógł nastąpić dalszy rozwój życia.

Kolejną fazą była eksplozja kambryjska, która rozpoczęła się około 541 milionów lat temu. W ciągu tego 25-milionowego okresu pojawiły się wszystkie konstrukcje organizmów, które obecnie istnieją. Niektóre plany budowy ciała zwierząt były bardzo złożone, jak na przykład typ Chordata, do której należą wszystkie kręgowce, w tym *Homo sapiens*. Takie plany budowy nie mogły powstać z pojedynczych komórek eukariotycznych przez modyfikację genów

z powodu ogromnego wzrostu złożoności (omówione w mojej książce *Nowa Geneza Życia*). Organizmy te musiały zostać zaprojektowane od podstaw i dostarczone na Ziemię w bardzo zaawansowanych formach. Praktycznym rozwiązaniem było wysłanie na Ziemię zamrożonych embrionów w specjalnych pojemnikach. Ponieważ życie opierało się na wodzie, takie embriony umieszczane w wodzie byłyby w przyjaznym środowisku. Woda chroniłaby również embriony przed promieniowaniem kosmicznym podczas podróży na Ziemię. Można sobie wyobrazić, że fauna oceanu została przygotowana w taki sposób, że najpierw wysyłano zwierzęta najprostsze, a następnie bardziej zaawansowane. Zwierzęta kambryjskie były dobrze zaprojektowane, ponieważ były od początku w pełni przystosowane do warunków panujących na Ziemi.

Bardzo ważne właściwości miały komórki zarodków zwierzęcych, które były wysyłane w pojemnikach. Miały dużą pulę genów, z których część nie była potrzebna i w związku z tym była wyłączona. Praktycznie wszystkie typy zwierząt miały około 20 000 genów. Wiele z tych genów zostało przygotowanych do przyszłego rozwoju i pozostawały w stanie uśpienia przez miliony lat. Dopiero gdy zmieniło się środowisko lub warunki życia, geny te zostały włączone za pomocą środków epigenetycznych. Można je również było włączyć za pomocą specjalnie zaprojektowanych wirusów.

Introny, które wcześniej wprowadzono do komórek eukariotycznych, odegrały ważną rolę w rozwoju życia ponieważ umożliwiły aby jeden gen kodował kilka różnych białek. Ten atrybut w znacznym stopniu umożliwił produkcję nowych białek bez konieczności tworzenia nowych genów.

Bardzo ważnym wydarzeniem, które miało miejsce ponad 450 milionów lat temu, była duplikacja genów kręgowców<sup>3</sup>. Oznacza to, że powstały dodatkowe kopie całego genomu. Takie wydarzenie mogło zostać wywołane wszczepieniem odpowiedniego wirusa do genomu. W ten sposób kręgowce uzyskały dużą ilość zapasowego materiału DNA, który w przyszłości mógłby zostać zmodyfikowany i zamieniony na nowe geny. Wydarzenie to umożliwiło dalszy rozwój kręgowców, prowadzący do ssaków i w rezultacie do człowieka.

---

<sup>3</sup> Dehal, P., Boore, J.L. 2005. Two Rounds of Whole Genome Duplication in the Ancestral Vertebrate. *PLoS Biol* 3(10): e314.

Kiedy wszystkie typy zwierząt dobrze zadomowiły się w oceanach, około 420 milionów lat temu, niektóre zwierzęta zaczęły przygotowywać się do opuszczenia wody. Pierwszymi zwierzętami, które zapuściły się na ląd, były stawonogi, takie jak pająki i stonogi. Zanim zwierzęta przeniosły się na ląd, musiały być przystosowane do nowego środowiska. Rozwój tych zwierząt miał miejsce jeszcze w wodzie. Na przykład najwcześniejsze czworonożne kręgowce, znane jako czworonogi, które wyłoniły się z wody około 385 milionów lat temu, wyglądały jak ryby, ale miały już płuca oraz mocne ramiona i biodra, które były w stanie utrzymać ciężar ciała na lądzie.

Dalszy rozwój zwierząt lądowych musiałby odbywać się poprzez modyfikację genetyczną komórek rozrodczych. Najważniejszym mechanizmem napędzającym rozwój nowych klas zwierząt, takich jak płazy, gady, ptaki i ssaki, były modyfikacje genetyczne DNA spowodowane wbudowaniem wirusów do komórek rozrodczych. Włączenie wirusów do DNA zmieniło działanie organizmów, wprowadzając nowe funkcje i wzmacniając stare. Skuteczność wirusów w modyfikacji organizmów może być o kilka rzędów wielkości wyższa niż w przypadku mutacji. Wirusy są zatem najważniejszymi mechanizmami napędzającymi rozwój życia. Takie wirusy zostały specjalnie zaprojektowane do konkretnych modyfikacji i wysłane na Ziemię w odpowiednim czasie.

Inne wewnętrzne mechanizmy zmienności genetycznej mogły odegrać znaczącą rolę w procesie rozwoju, takie jak transpozony i epigenetyczne przełączanie genów.

Około 75 milionów lat po przeniesieniu się pierwszych płazów z morza na ląd pojawiły się gady. Następnym skokiem był rozwój ssaków, które pojawiły się na scenie około 200 milionów lat temu. Będąc ciepłokrwistymi, ssaki przeszły znaczące zmiany w budowie swojego ciała, takie jak wydajniejszy metabolizm, czterokomorowe serce i rodzenie młodych. Wiele tych zmian było sterowane przez wirusy. Na przykład, geny sterujące rozwojem łożysk ssaków pochodzą od wirusów.

Rolę wirusów w kształtowaniu się organizmów ssaków potwierdzają badania, które wykazały, że adaptacje u ssaków zachodzą trzykrotnie częściej w białkach powiązanych z wirusami w porównaniu z innymi białkami.