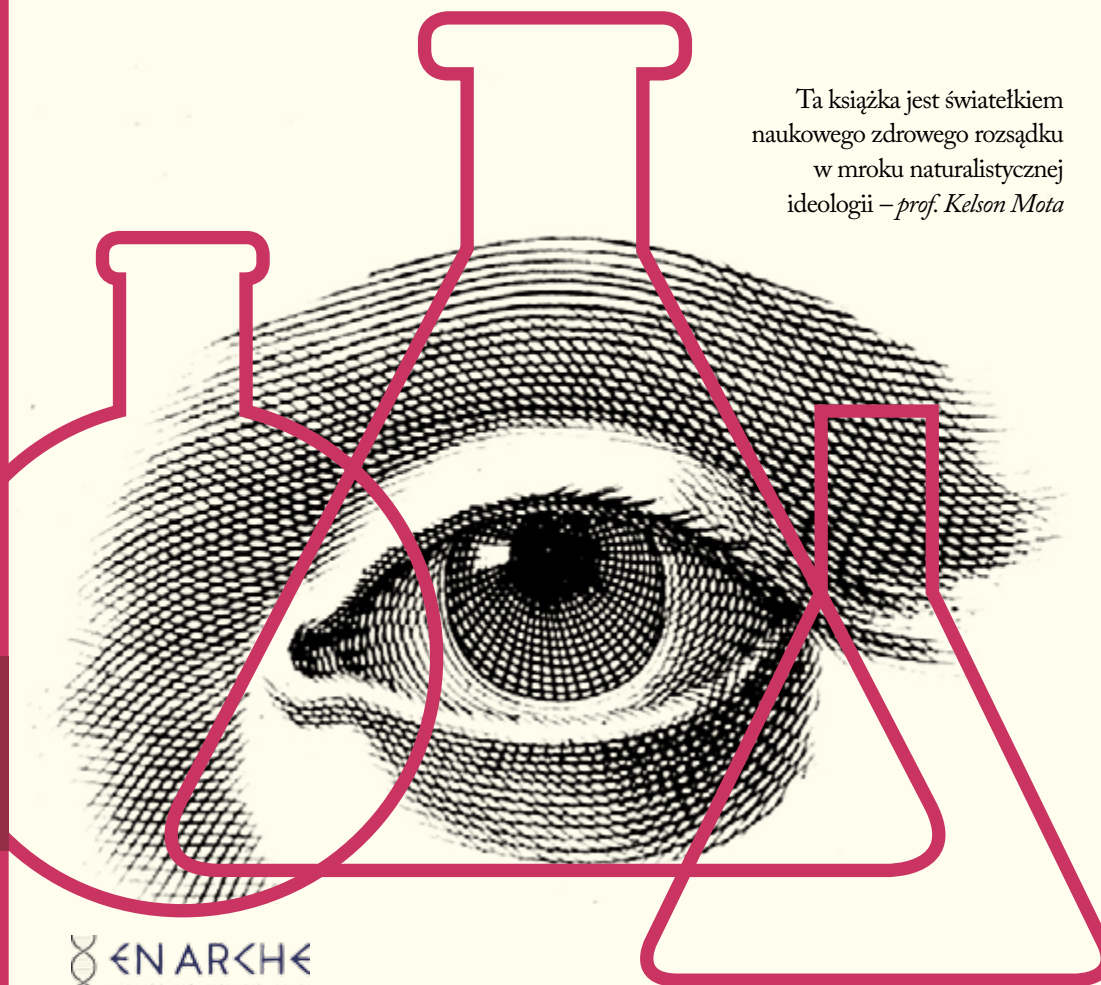


MARCOS EBERLIN

DALEKO- WZROCZNOŚĆ

JAK BIOCHEMIA UKAZUJE PLAN
I CELOWOŚĆ ŻYCIA

Ta książka jest światłem
naukowego zdrowego rozsądku
w mroku naturalistycznej
ideologii – *prof. Kelson Mota*



Dalekowzroczność

Jak biochemia
ukazuje plan
i celowość życia



SERIA INTELIGENTNY PROJEKT

Seria Inteligentny Projekt to pierwsza tak ambitna i bogata propozycja na polskim rynku wydawniczym, w ramach której ukazują się książki dotyczące teorii inteligentnego projektu – Intelligent Design (ID).

Autorzy zastanawiają się: czy różnorodność życia na Ziemi może być wyjaśniona wyłącznie przez procesy czysto przyrodnicze? Czy złożone struktury biologiczne mogły powstać drogą przypadku i konieczności, bez udziału inteligencji? Czy Ziemia jest tylko jedną z wielu niczym niewyróżniających się planet?

Teoria inteligentnego projektu jest ogólną teorią rozpoznawania projektu i ma szerokie zastosowanie w takich dziedzinach nauki, jak kryminalistyka, historia, kryptografia, astronomia i inżynieria. Seria Inteligentny Projekt pokazuje, że koncepcja ID powinna być stosowana również w zagadnieniach pochodzenia i rozwoju różnych form życia, a także w próbie zrozumienia nas samych.

Problem pochodzenia życia jest jednym z największych w nauce. Jego punktem wyjścia jest istnienie życia – w tym nas – we Wszechświecie. Większość chemików ze mną na czele wierzy, że życie wyłoniło się spontanicznie z mieszaniny cząsteczek na prebiotycznej Ziemi. Jak do tego doszło? Nie mam pojęcia.



amerykański chemik George M. Whitesides
Revolutions In Chemistry: Priestley Medalist
George M. Whitesides' Address,
„Chemical and Engineering News” 2007,
March 26, Vol. 85, No. 13, s. 12–17

Dalekowzroczność

Jak biochemia
ukazuje plan
i celowość życia

Marcos Eberlin



Warszawa 2022

Tytuł oryginału
Foresight: How the Chemistry of Life Reveals Planning and Purpose

Copyright © 2019 by Discovery Institute, All Rights Reserved

Copyright © for the Polish edition by Fundacja En Arche, Warszawa 2022

Przekład
Zbigniew Kościuk

Redaktor naukowy serii
prof. dr hab. Kazimierz Jodkowski

Redaktor prowadzący
Jacek Fronczak

Redakcja merytoryczna
dr Krzysztof Nowak

Redakcja językowa
Joanna Morawska

Korekta
Barbara Manińska

Projekt okładki
Jadwiga Topolowska

Projekt graficzny
Maria Rostoniec

Skład
Honorata Kozon

Ilustracja na okładce
Wellcome Images

Wydanie I

ISBN 978-83-67363-08-2 (oprawa twarda)
ISBN 978-83-67363-13-6 (oprawa miękka)

Fundacja En Arche
al. Jana Pawła II 80 lok. 15
00-175 Warszawa
biuro@enarche.pl
Księgarnia internetowa
enarche.pl/ksiegarnia/

Mojej kochającej żonie Elisabeth,
córkom Thais, Livii i Niinie,
synowi Nicholasowi oraz wnukom
Leah, Claire, Theo, Luce
i Thomasowi, którzy podążają lub,
w co głęboko wierzę, podążą śla-
dem dowodów, dokądkolwiek
one prowadzą. I ponad wszystko
„Przewidującemu”.

Spis treści

Rozdział 1.	
Rola czynnika przewidywania w życiu	9
Rozdział 2.	
Świat przewidziany dla biochemii	25
Rozdział 3.	
Kod życia	51
Rozdział 4.	
Pomocnicy życia	75
Rozdział 5.	
Bakterie, skaczące owady i rośliny mięsożerne	99
Rozdział 6.	
Ptaki – studium przypadku w przewidywaniu	121
Rozdział 7.	
Przewidywanie w ludzkiej postaci: rozmnażanie	133
Rozdział 8.	
Planowanie zmysłów	149
Rozdział 9.	
Przewidywanie i przyszłość nauki	165
Podziękowania	177
Bibliografia	179
Indeks osobowy	195
Indeks rzeczowy	197



Rozdział 1

Rola czynnika przewidywania w życiu

Współczesna biologia znalazła się w środku przypominającego gorączkę złota okresu odkryć. Na mojej poprzedniej uczelni – Uniwersytecie Stanowym Campinas w São Paulo, w Brazylii – przez 25 lat kierowałem Laboratorium Spektrometrii Mas. Razem z zespołem zgłębialiśmy wiele dziedzin chemii, biochemii i nauk medycznych, które do niedawna były zbyt nowe, aby zostać nazwane – od proteomiki, lipidomiki i obrazowania za pomocą spektrometrii mas po petroleomikę i bakteryjne odciski palców.

Dzięki prowadzonym badaniom oraz sprawowaniu funkcji przewodniczącego Brazylijskiego Towarzystwa Spektrometrii Mas i International Mass Spectrometry Foundation (Międzynarodowej Fundacji Spektrometrii Mas) nawiązałem kontakty z wieloma czołowymi naukowcami w Brazylii i na całym świecie. Podczas spotkań na konferencjach wyczuwało się atmosferę ekscytacji. Pojawienie się przełomowych technik i technologii spowodowało, że niemal co tydzień odkrywaliśmy nowe cuda ze świata biologii.

Niektóre odkrycia doprowadziły do opracowania nowych leków lub technik leczenia, jak obsypany nagrodami „długopis” diagnozujący nowotwory, skonstruowany przez moją córkę Livię. Inne dostarczyły inżynierom nowych pomysłów prowadzących do wynalazków w dynamicznie rozwijającej się dziedzinie biomimetyki. Jeszcze inne nie miały bezpośredniego zastosowania praktycznego, pozostając przykładem pięknej biologicznej pomysłowości – odkryciami naukowymi, które są cenne same w sobie.

Chociaż nowa wiedza ekscytuje, jestem dzisiaj przekonany, że wiele odkryć wskazuje łącznie na coś jeszcze bardziej niezwykłego. Ten nowy wiek odkryć ujawnił mnóstwo pomysłowych rozwiązań poważnych wyzwań inżynierskich – rozwiązań, które wymagają czegoś, czego brakuje zwykłej materii. Powiem to tak prosto, jak potrafię: lawina nowych odkryć wydaje się wskazywać poza ślepy proces ewolucyjny, na cechę przypisywaną wyłącznie umysłowi – przewidywanie, czy inaczej dalekowzroczność.

Oczywiście, znam pogląd, że takie zagadnienia znajdują się poza zasięgiem nauki. Zbadamy to twierdzenie w kolejnych rozdziałach. Jednak niezależnie od tego, jakiej odpowiedzi udzielimy na pytanie o dopuszczalne i niedopuszczalne konkluzje w ramach nauki oraz czy ostatecznie przyznamy, że lawina nowych odkryć, podobna gorączce złota, wskazuje na obecność czynnika przewidywania, wzywam was do zapoznania się z dowodami. Ciekawość może być pierwszym stopniem do piekła, ale w przedsięwzięciach naukowych czyni cuda.

Wielość i pomysłowość przykładów ujawnionych w ostatnich latach jest tak ogromna, że ich opisanie zajęłoby wiele opasłych tomów. Na kolejnych stronach przedstawię zaledwie niewielki ich ułamek. Ta skromna część jest jednak pełna dziwów. Przyjrzymy się wszystkiemu – od kół zębatych, jakie ma owad nazywany owoszczą, po niezwykle silne odnóża rawki błazna, którymi zadaje ona potężne ciosy, od mięsożernych roślin po maszyny białkowe występujące w ptasich oczach, zdolne ujarzmić splątanie kwantowe i pozwalające ptakom widzieć pole magnetyczne Ziemi.

Zacniemy od przykładu, który może się wydać banalny – jednak tylko na pierwszy rzut oka.

Błona komórkowa i jej kanały

Życie rozwija się w naszym zróżnicowanym środowisku planetarnym dzięki licznym sposobom, w jakie Ziemia jest precyzyjnie dostrojona do jego trwania. Jednak Ziemia potrafi być także niezwykle wroga życiu.

Na przykład cząsteczka tlenu (O_2) jest niezbędna do istnienia życia, jednak tylko takiej jego formy, która potrafi skutecznie zapakować i dostarczyć tlen dokładnie w miejsce, gdzie zostanie użyty jako źródło energii. W przeciwnym razie O_2 stanie się największym wrogiem życia.

Wystarczy przerwać błonę żywej komórki i wystawić ją na działanie powietrza, aby zobaczyć, jak wielkie szkody wewnątrz tak uszkodzonej komórki mogą poczynić tlen i miriady chemicznych najeźdźców. Z inżynierskiego punktu widzenia ważne było znalezienie sposobu ochrony komórki, najbardziej podstawowego elementu życia. Rozwiązanie okazało się pomysłowe: komórka została od początku otoczona solidną osłoną chemiczną.

Mówi się, że każde rozwiązanie stwarza zawsze dwa dodatkowe problemy. Błona komórkowa nie jest pod tym względem wyjątkiem. Prosta osłona chroniłaby wewnątrz komórki przed zabójczymi najeźdźcami, ale uniemożliwiała przenikanie do środka substancji odżywczych oraz uwięziła w jej wnętrzu odpady komórkowe. Przez taką osłonę mogłyby się przedostawać małe neutralne cząstki, ale już nie większe biomolekuły posiadające ładunek elektryczny. Zatem prosta osłona stanowiłaby receptę na nieuchronną i szybką śmierć. Aby wczesne komórki mogły przetrwać i się rozmnażać, potrzebne było bardziej wyrafinowane rozwiązanie. Od samego początku w błonach wczesnych komórek musiały istnieć selektywne kanały.

Obecnie wiemy, że komórki są wyposażone w takie drzwi – wyspecjalizowane kanały białkowe wykorzystywane w transporcie biomolekul i jonów o kluczowym znaczeniu. W jaki sposób powstał selektywny system transportu obojętnych cząstek i jonów posiadających ładunek elektryczny? Teoria ewolucji odwołuje się do stopniowego, przebiegającego krok po kroku procesu złożonego z drobnych mutacji przesiewanych przez mechanizm naturalnej selekcji, **potocznie nazywanej przeżywaniami najlepiej przystosowanego**. Wydaje się jednak, że stopniowy, przebiegający krok po kroku proces rozciągnięty na wiele pokoleń nie miałby szans na zbudowanie takich cudów, bo wszystko wskazuje, iż istnienie wielu pokoleń komórek, a nawet jednego, nie byłoby możliwe bez

wykształcenia i funkcjonowania kanałów. Bez kanałów komórkowych nie ma życia komórkowego.

W ten sposób dochodzimy do głównego pytania: „Jak pierwsze komórki wykształciły odpowiednie błony komórkowe i kanały białkowe potrzebne do rozwiązania problemu przepuszczalności?”

Nawet niektórzy ewolucjoniści przyznają, że stanowi to dużą trudność. Sheref Mansy i jego współpracownicy pisali o tym w piśmie „Nature”: „Błona komórkowa, pełniąc funkcję solidnej bariery, sprawia, że pochodzenie życia komórkowego jest trudne do pojęcia”¹. Ogólnie mówiąc: w jaki sposób powstała dwuwarstwowa błona – elastyczna, stabilna i odporna – skutecznie chroniąca komórkę przed przenikaniem niszczycielskiego tlenu, stabilna w środowisku wodno-kwasowym oraz wytrzymująca zmiany temperatury i pH (ilustracja 1.1)?² Żeby wykonywać wszystkie te zadania, molekularna osłona komórki musiałaby posiadać także mechanizm wykrywający zmiany temperatury i pH², i odpowiednio reagować, modyfikując skład chemiczny błony tak, by poradzić sobie z fizycznymi i chemicznymi zmianami.

Na przykład Diego de Mendoza wyjaśnia, że komórki bakterii „zmieniają płynność dwuwarstwowej błony” przez przyłączanie „większej liczby nienasyconych kwasów tłuszczowych (lub kwasów tłuszczowych o analogicznych właściwościach) w miarę spadku tempa wzrostu temperatury”. Proces ten jest nazywany homeowiskożą adaptacyjną. Zatem błony komórkowe mogą inicjować serię reakcji komórkowych w odpowiedzi na zmiany temperatury otoczenia³. Gdybyśmy zlecili rozwiązanie tak trudnego, wieloaspektowego zadania najbardziej zaawansowanym firmom technologicznym, ich czołowi inżynierowie roześmialiby się nam w twarz

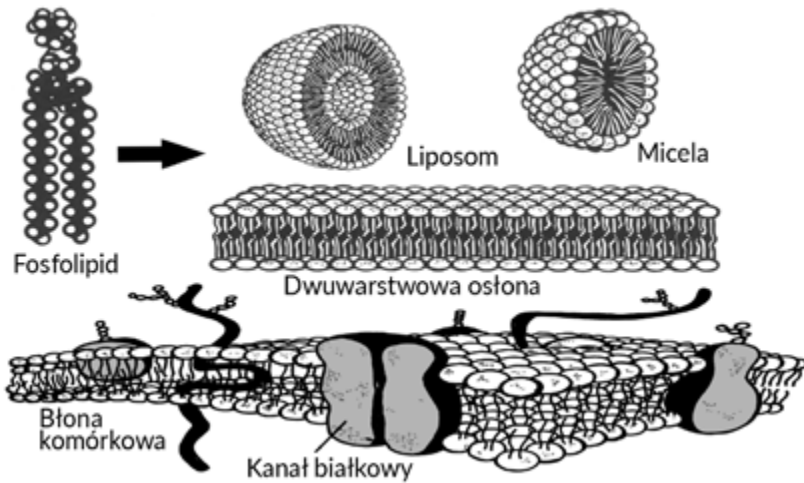
¹ S.S. Mansy, J.P. Schrum et al., *Template-Directed Synthesis of a Genetic Polymer in a Model Protocell*, „Nature” 2008, Vol. 454, No. 7200, s. 122.

² W tym miejscu przypominam sobie skomplikowane instrumenty elektroniczne do pomiaru temperatury i pH, których używam jako chemik.

³ D. de Mendoza, *Temperature Sensing Membranes*, „Annual Review of Microbiology” 2014, Vol. 68, No. 1, s. 101–116, <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091313-103612>.

lub uciekli z krzykiem, znikając w mroku nocy. Potrzebna do tego technologia znacznie przekracza nasz najbardziej zaawansowany *know-how*. Pamiętajmy przy tym, że nie wystarczyłoby, aby taka błona wykonywała dwa lub trzy zadania, a nawet 99 procent roboty. Tutaj obowiązuje zasada: wszystko albo śmierć! Słaba komórka oczekująca na ulepszenia ze strony stopniowego procesu darwinowskiego zostałaby natychmiast zaatakowana przez wrogów i unicestwiona, nie doczekawszy reprodukcji i nie dając ewolucji szansy na dokończenie pracy w przyszłości.

Ilustracja 1.1. Nasze komórki otacza błona złożona z dwóch warstw. Jest bardzo elastyczna, ale ma także wysoką odporność mechaniczną i chemiczną. Liczne skomplikowane składniki błony i posiadane przez nią możliwości wymagane do utrzymania komórki przy życiu sprawiają, że wrażenie udziału czynnika przewidywania w pierwotnej organizacji błony wydaje się nieodparte.



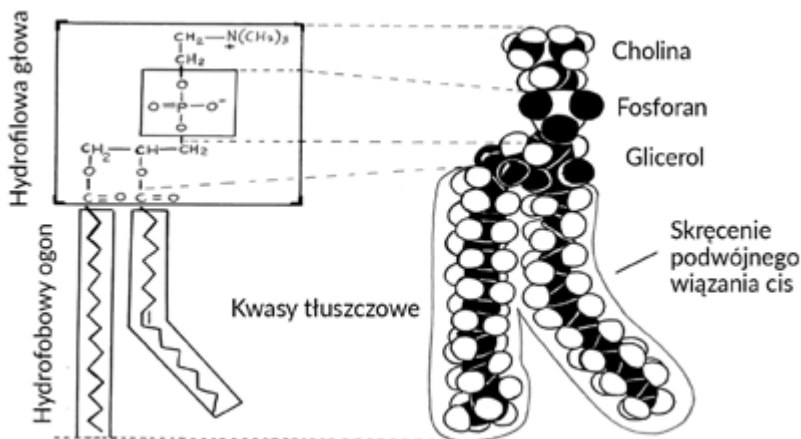
Na podstawie całej wiedzy biochemicznej, którą obecnie posiadamy, wydaje się zatem, że liczne kluczowe wymagania stawiane błonie komórkowej musiały zostać przewidziane i spełnione na czas, aby najwcześniejsze komórki mogły przetrwać i rozmnażać się w wodnym środowisku.

A jest to zaledwie początek przewidywania koniecznego, żeby wytworzyć błonę wystarczająco dobrą do tego, by życie komórkowe stało się

realne. Taka błona, spełniająca funkcję muru, z jego licznymi złożonymi właściwościami, wymaga również odpowiednich biomolekularnych obrońców. Na szczęście dostarczono ich w postaci grupy wyjątkowo zaprojektowanych biocząsteczek – fosfolipidów (ilustracja 1.2).

Biomolekularne elementy komórki muszą być odpowiednie. Wydaje się, że nic nie zastąpi fosfolipidów, gdy trzeba skonstruować osłonę chemiczną wystarczająco zaawansowaną do tego, by komórki zdołały przeżyć i rozkwitnąć. Czasami w pismach naukowych, jak „Science” i „Nature”⁴, znajdują spekulacje na temat prostszych, pierwotnych błon komórkowych zbudowanych z cząstek „zaczątkowych”, takich jak kwasy tłuszczowe. Takie mrzonki pomijają jednak kluczowe szczegóły chemiczne związane z tym, co jest niezbędne, aby uczynić życie komórkowe możliwym. Kiedy uwzględnimy te szczegóły, okaże się, że żadna inna biocząsteczka nie jest zdolna do podtrzymywania życia poprzez realizowanie tylu złożonych funkcji, co fosfolipidy.

Ilustracja 1.2. Ten prosty rysunek jest zaledwie sugestią złożonej budowy cząsteczkowej fosfolipidów.



⁴ J.W. Szostak, D.P. Bartel et al., *Synthesizing Life*, „Nature” 2001, Vol. 409, No. 6818, s. 387–390.

Strukturę fosfolipidu można podzielić na dwie główne części posiadające zgoła odmienne właściwości fizykochemiczne: głowa jest polarna i wodolubna (hydrofilowa), natomiast ogon jest niepolarny i nie znosi wody (hydrofobowy). Ta dychotomia „smaków” ma kluczowe znaczenie, pozwala bowiem na wykonanie wspaniałej sztuczki: w obecności wody białocząsteczki automatycznie ustawiają się w taki sposób, by utworzyć kolistą, dwuwarstwową strukturę (ilustracja 1.1) z głowami polarnymi umieszczonymi obok siebie i zbitymi ciasno, wydłużonymi niepolarnymi ogonami.

Przyciągane przez precyzyjnie dostrojone siły chemiczne, dwie pojedyncze warstwy łączą się ze sobą w taki sposób, że ogony obydwu się stykają, tworząc układ ogon-ogon. To automatyczne, trójwymiarowe, wieloelementowe ułożenie gwarantuje, że hydrofobowe ogony będą przed nią ukryte, zaś hydrofilowe głowy, znajdujące się na zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach, będą wystawione na jej działanie. W ten sposób woda znajduje się wewnątrz i na zewnątrz komórki, a jednocześnie nie ma dostępu do środka fosfolipidowych błon, które otaczają wodne komórki.

Ponownie można odnieść wrażenie, jakby siła przyczynowa obdarzona zdolnością przewidywania antycypowała tę potrzebę i opracowała doskonale rozwiązanie.

Fosfolipidy

Błona komórkowa musi być elastyczna, a jednocześnie odporna mechanicznie i chemicznie, aby mogła nieprzerwanie chronić komórkę przed zmianami zachodzącymi w otoczeniu. Na szczęście dla życia dwuwarstwowe błony fosfolipidowe są elastyczne i cechują się wysoką stabilnością, będąc odporne na oddziaływania mechaniczne oraz zmiany pH i temperatury.

W jaki sposób błona uzyskuje te wszystkie właściwości? Dzięki precyzyjnej, dynamicznej równowadze różnych właściwości fizykochemicznych elementów molekularnych wchodzących w skład ściany. (Jeśli dalsze

wyjaśnienia okażą się zbyt techniczne, można przejść do ostatniego paragrafu tej części. Zamieszczone tam podsumowanie wystarczy, by zrozumieć dalszy wywód).

Wszystkie właściwości chemiczne są regulowane za pomocą siły, długości i trójwymiarowej orientacji wiązań typu węgiel-węgiel w ogonach lipidów. Atom węgla może utworzyć cztery wiązania, w tym wiązania z innymi atomami węgla. W lipidach takie wiązania mogą być pojedyncze (C–C) lub podwójne (C=C). Wiązania pojedyncze są nazywane „nasyconymi”, a podwójne, „nienasyconymi”. Boczne łańcuchy (R) przyłączone do dwóch atomów węgla w wiązaniu C=C mogą się znajdować po tej samej stronie (ułożenie zwane *cis*: ${}^R\text{C}=\text{C}^R$), lub po stronach przeciwnych (układ nazywany *trans*: ${}^R\text{C}=\text{C}_R$).

Fosfolipidy nienasycone posiadają głównie wiązania *cis* $\text{RC}=\text{C}^R$, które dają wyraźne, odpowiednio rozmieszczone zgięcia w długich łańcuchach węglowodorowych. Tłuszcze nienasycone *cis* są mniej stabilne termodynamicznie od swoich odpowiedników *trans*, ale różnorodność *cis* nadal wygrywa w realizacji tego zdania, bo skręty w łańcuchu kwasu tłuszczowego, będące ich rezultatem, dają mniej zbite skupiska od nienasyconych lipidów *trans* lub lipidów nasyconych. Nienasycone lipidy *cis* mają również niższą temperaturę topnienia od lipidów nasyconych oraz nienasyconych lipidów *trans*. Rezultat jest zdumiewający: błona może stawać się stopniowo coraz bardziej płynna⁵.

Krótsze lub dłuższe łańcuchy węgla i różne głowy polarne służą także do kontroli chemicznych własności tych cząstek, są przy tym mistrzowskim przykładem przewidywania sterowanego przez niezwykłą mądrość chemiczną.

Należy zwrócić uwagę, że gdybyśmy przypisali ślepemu procesowi materialnemu pochodzenie błon biologicznych, musielibyśmy się odwołać do niezliczonych „cudów” chemicznych. Po pierwsze, przypadek musiałby wygenerować bardzo długie łańcuchy węgla złożone z 12 do

⁵ D.J. Siminovitch, P.T.T. Wong et al., *Effects of Cis and Trans Unsaturation on the Structure of Phospholipid Bilayers: A High-Pressure Infrared Spectroscopic Study*, „Biochemistry” 1987, Vol. 26, No. 12, s. 3277–3287.

18 atomów tego pierwiastka. Taki przypadek jest skrajnie mało prawdopodobny statystycznie i chemicznie. Po drugie, dwa z tych łańcuchów musiałyby związać się z triolem – gliceryną. Mniej stabilne wiązania $\text{C}^{\text{R}}=\text{C}^{\text{R}}$ musiałyby zostać również umieszczone w odpowiednim miejscu i odpowiedniej ilości, aby wytworzyć odpowiednią płynność. Oprócz tego anion fosforanowy ($=\text{PO}_4^-$) oraz inna grupa polarna, na przykład grupa etylenodiaminy, musiałyby być dostępne w tym samym czasie i zostać odpowiednio przyłączone do końcowego „molekularnego Lego” (ilustracja 1.2). Jako chemik nigdy nie uznałbym tej kaskady chemicznych cudów za coś oczywistego.

Naukowcy zajmujący się chemią prebiotyczną powiadają zwykle, że bardzo prymitywne „jednostki” otoczone prymitywną „bloną”, o wnętrzu bardzo nieżyczliwym dla życia, jak micelle z kwasów tłuszczowych, były zdolne wchłonąć cząsteczkę „pierwotnego RNA”, dając w ten sposób początek życia na Ziemi.

W jednym z numerów pisma „Nature” z 2008 roku Sheref Mansy i jego współpracownicy piszą: „Kwasy tłuszczowe wraz z odpowiadającymi im alkoholami oraz monoestry glicerolu są atrakcyjnymi kandydatami na elementy składowe błony prącomórki”. Powodem ich nadziei jest to, że dokonali dwóch kluczowych rzeczy. Po pierwsze, utworzyli woreczki dwuwarstwowej błony, które zatrzymywały małe cząsteczki RNA, a także mogły rosnąć i ulegać podziałowi⁶, co jest istotne, jeśli prymitywna jednostka życia ma być zdolna do rozmnażania. Owa proponowana jednostka „przedżycia” miałaby zapoczątkować syntezę pierwszych białek życia.

Gdyby jednak faktycznie tak było, skąd by się wzięły aminokwasy potrzebne do syntezy białka? Oczywiście musiałyby pochodzić z zewnątrz, z pierwotnej zupy, i przedostać się kanałami do pierwotnych komórek. Jednak w tym punkcie postulowanego scenariusza nie istniały jeszcze w błonie żadne kanały, więc owe pierwotne błony stanowiłyby

⁶ S.S. Mansy, J.P. Schrum et al., *Template-Directed Synthesis*, s. 122–125. Zob. też Ch.L. Apel, D.W. Deamer et al., *Self-Assembled Vesicles of Monocarboxylic Acids and Alcohols: Conditions for Stability and for the Encapsulation of Biopolymers*, „Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes” 2002, Vol. 1559, No. 1, s. 1–9.

nieprzenikalną barierę chemiczną dla aminokwasów. Z chemicznego punktu widzenia wspomniana nadzieja jest więc nie do spełnienia. Jeśli nie istnieje droga prowadząca do wnętrza komórki, ta w krótkim czasie obumrze. Nie ma przetrwania. Nie ma rozmnażania. Nie ma ewolucji.

Nieodparcie nasuwa się więc czynnik przewidywania. Niezwykła fosfolipidowa błona komórki musiała zostać przewidziana, obmyślona i udostępniona, gdy na scenie pojawiło się wnętrze komórki, w przeciwnym razie komórkę pozbawioną zewnętrznej powłoki czekałaby szybka i pewna śmierć. A ponieważ pierwsze komórki najwyraźniej przetrwały, rosły i rozmnażały się, pozostawiając potomstwo aż do czasów obecnych, naukowo zasadne jest sformułowanie wniosku, że jakimś sposobem owa niezwykła błona komórkowa pojawiła się na scenie w pierwotnej chwili potrzeby. Niektórzy upierają się, że był to ślepy traf. Nie zgadzam się z nimi i wzywam do rozważenia drugiej możliwości – czynnika inżynierskiego przewidywania.

Akwaporyny: niezwykle filtry wodne

Lipidowe dwuwarstwowe błony osłaniają i dają schronienie życiu, ale jak wcześniej wspomniałem, komórka potrzebuje także kanałów transportu ważnych materiałów do wnętrza i na zewnątrz. Gdybyśmy zlecili czołowej firmie z branży nanotechnologii wykorzystanie wszelkich dostępnych zasobów inżynierskiego przewidywania, nie moglibyśmy być bardziej zadowoleni z rezultatów. Dwuwarstwowe błony lipidowe są wyposażone w trójwymiarowe zespoły białkowe, które wspaniale sprawdzają się w roli selektywnych kanałów. Kanały te są dostatecznie inteligentne, aby wpuszczać do środka to, co musi zostać wpuszczone i zatrzymać to, co powinno pozostać na zewnątrz. Aby ewolucyjny model pochodzenia błony komórkowej zadziałał, musi także wyjaśnić koewolucję białek związanych z błoną komórki, bioenergetykę błony i podwójną warstwę lipidową⁷ – a to oznacza potrójny cud.

⁷ A.Y. Mulikidjanian, M.Y. Galperin et al., *Co-evolution of Primordial Membranes and Membrane Proteins*, „Trends in Biochemical Sciences” 2009, Vol. 34, No. 4, s. 206–215.

Próby zmierzenia się z tym problemem często zaczynają się od opisu stanu konsternacji, na przykład Armen Y. Mulkidjianian i jego koledzy stwierdzają, że „pochodzenie błony komórki i jej białek pozostaje zagadką”⁸.

Po pierwsze, kanały błony komórkowej muszą umożliwiać przepływ wody. Do wykonania tego ważnego zadania biomembrany mają specjalne kanały nazywane akwaporynami. Komórki to cybernetyczne, wielocząsteczkowe miasta pełne nowoczesnych maszyn, elektrowni, a nawet nanorobotów. Aby cała ta nanotechnologia mogła właściwie funkcjonować, potrzebna jest jednak ta sama rzecz, której każdy potrzebuje w dużych ilościach – woda. Ta prosta, ale ważna, a jednocześnie niezwykle cząsteczka, H_2O , z tak licznymi funkcjami w komórce, musi przenikać do wnętrza komórki i je opuszczać, jeśli ta ma przeżyć i się rozwijać.

Jednak dopływy i odpływy wody muszą być precyzyjnie regulowane, aby przetrwanie komórki było możliwe. Potrzeba kontroli wzrostu, ponieważ cząsteczki wody są połączone wiązaniami wodorowymi. Sieć wiązań wodorowych powoduje, że woda działa jak „przewód protonowy” – przenosi protony (H^+), podobnie jak przewód elektryczny umożliwia przepływ ładunków elektrycznych. Z przyczyn metabolicznych wszystkie komórki muszą pilnować, aby ich wnętrze miało ujemny ładunek elektryczny. Komórki czynią to za pomocą specjalnych kanałów błony sprawujących kontrolę nad przepływem jonów sodu (Na^+) i potasu (K^+). Gdyby akwaporyny umożliwiały wodzie swobodne wnikanie do komórki, przewody protonowe pozwoliłyby jonom wodoru o ładunku dodatnim (H^+) przeważać wysiłki komórki zmierzające do utrzymania ujemnego ładunku elektrycznego. Zatem prosta zastawka wodna nie wystarczy.

To wyzwanie inżynierskie nie jest łatwe do rozwiązania, nawet dla inżyniera o niezwykłej mocy. Gdyby ów inżynier zmienił wewnętrzne właściwości cząsteczki wody, aby przestała być przewodem protonowym, uniemożliwiłoby to wiele innych niezwykłych i podtrzymujących życie

⁸ Tamże, s. 206.

własności H_2O . Na szczęście znalazło się pomysłowe rozwiązanie nie-wymagające przeprojektowania wody.

Akwaporyny⁹ w błonach komórkowych umożliwiają nie tylko przedo-stawianie się H_2O do środka i jej wydalanie na zewnątrz, ale również zatrzymują niepożądane jony i inne szkodliwe biomolekuły oraz jony wodoru o ładunku dodatnim (H^+), które normalnie poruszają się swo-bodnie przewodami protonowymi H_2O .

W jaki sposób zrealizowano to skomplikowane zadanie?¹⁰ Przyjrzyjmy się temu i zobaczymy.

Jeśli dalsza część wywodów okaże się zbyt techniczna, można przejść do kolejnej części, w której podsumuję dotychczasowe rozważania.

W zastawce wodnej, jaką jest akwaporyna, występuje specjalny amino-kwas nazywany asparaginą – zlokalizowany dokładnie w miejscu przejścia pojedynczej cząsteczki H_2O ¹¹. Asparagina należy do niezwyklej grupy aminokwasów ważnych przy budowaniu i kształtowaniu struktur białek, a w dodatku posiada boczną grupę zdolną do tworzenia dwóch bardzo silnych, zorientowanych przestrzennie wiązań wodorowych z cząstecz-kami H_2O . Idealne ułożenie tego aminokwasu, prostopadle względem przewodu protonowego H_2O , pozwala mu spełniać funkcję molekular-nych kleszczy przecinających przewód H_2O .

Mechanizm działania jest następujący. Gdy cząsteczka H_2O przecho-dzi przez otwór filtra, zostaje obrócona przez asparaginę. Ten kunsztow-nie zaplanowany manewr, wywołany przez silniejsze wiązania wodorowe, niszczy sieć wiązań wodorowych wody, przerywając w ten sposób prze-wód H^+ . Przerwanie przewodu H^+ powoduje, że H_2O przenika swo-bodnie do komórki, podczas gdy jej niepożądany pomocnik, H^+ , zostaje

⁹ M. Borgnia, S. Nielsen et al., *Cellular and Molecular Biology of the Aquaporin Water Channels*, „Annual Review of Biochemistry” 1999, Vol. 68, s. 425–458.

¹⁰ K. Murata, K. Mitsuoka et al., *Structural Determinants of Water Permeation through Aquaporin-1*, „Nature” 2000, Vol. 407, No. 6804, s. 599–605.

¹¹ U. Kosinska Eriksson, G. Fischer et al., *Subangstrom Resolution X-Ray Structure Details Aquaporin-Water Interactions*, „Science” 2013, Vol. 340, No. 6138, s. 1346–1349.

*Dalsza część książki dostępna w wersji
pełnej.*

