

Władysław J. H. Kunicki-Goldfinger

Rola informacji w układach biologicznych

Studia Philosophiae Christianae 31/1, 49-57

1995

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

WŁADYSŁAW J. H. KUNICKI-GOLDFINGER

ROLA INFORMACJI W UKŁADACH BIOLOGICZNYCH*

1. Informacja genetyczna. 2. Inne rodzaje informacji organizmu żywego. 2.1. Informacja topologiczna. 2.2. Informacja biochemiczna. 2.3. Informacja immunologiczna. 2.4. Informacja instynktu i behawioralna. 2.5. Informacja intelektualna.

Informacja jest terminem, wielopojęciowym, nawet w nauce. Dla matematyków informacja jest wielkością mierzalną, ale miara dotyczy ilościowego przekazu informacji oraz potencjalnej pojemności informacyjnej danego układu. Tę samą liczbę liter możemy zamieścić w przypadkowym ich zbiorze, w biblii wyrażonej w dowolnym języku lub w książce telefonicznej nawet w rzeczywistości nie istniejącego miasta. Pojemność informacyjna w każdym z tych przypadków będzie taka sama, różny będzie sens informacji i jej przydatność.

Informacja ma też jakieś znaczenie dla układów żywych. Przyjmijmy, iż układy żywe są zdolnymi do samoodtworzenia, z określonym błędem, systemami cybernetycznymi, wykorzystującymi przepływające przez nie strumienie materii, energii i informacji, oraz wyposażonych, w stanowiące ich część, program odtwarzania, działania i samoregulacji. Jest to więc układ, któremu odpowiada modelowy system von Neumana (1966) zdolny do samoodtworzenia z pomocą specjalnego programu.

INFORMACJA GENETYCZNA

Program taki dla układów żywych to przede wszystkim program zapisany w tzw. informacji genetycznej organizmu. O znaczeniu tego programu, jego ewolucji pisałem od 1974 (Kunicki-Goldfinger 1974, 1989, 1993) wiele razy. Postaram się w tym tekście zmieścić jak najmniej powtórzeń. Czytelnik oceni, czy mi się to udało.

Czego dotyczy informacja genetyczna? Po pierwsze, co zresztą zostało dotychczas poznane najlepiej, informacja ta określa, jakie

* Tekst referatu wygłoszonego na Sympozjum *Informacja w nauce i filozofii* w ATK dnia 26.10.1994 r. Autor przesłał ten artykuł jako wyraz uznania dla Osoby i osiągnięć naukowych Ks. Prof. Dr Mieczysława Lubańskiego z okazji Jego 70-tych urodzin.

białka organizm może produkować, a także kiedy, w jakiej części organizmu, w jakiej ilości będzie je produkował. Informacja ta jest zapisana w strukturze kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA), jedynie u części wirusów zapis ten mieści się w kwasie rybonukleinowym (RNA). Sposób zapisu informacji o budowie białek został już dokładnie poznany. Znamy kod genetyczny, który określa kolejność ułożenia aminokwasów w mającym być budowanym łańcuchu białkowym; wiemy w jaki sposób ta informacja, zawarta w DNA jest przekazana na RNA oraz jaki jest mechanizm odczytywania jej przy syntezie białka. O tym, które białko, w jakim miejscu, w jakim czasie i z jaką częstotliwością ma być syntetyzowane decyduje odrębna informacja zapisana w DNA, zawiadująca regulacją tymi procesami.

Regulacja przekazu i odczytywania informacji genetycznej jest procesem złożonym. Stosunkowo najlepiej poznano jej mechanizmy u wirusów oraz Prokaryota (bakterii), natomiast proces ten u tkankowców, regulujący też rozwój organizmu oraz jego reagowanie, jest o wiele bardziej skomplikowany i zaledwie częściowo poznany. Do zagadnienia tego powrócimy jeszcze w dalszej części referatu, a obecnie zastanowimy się nad zróżnicowaniem zasobu informacji u różnych organizmów.

Zasób informacji, zawarty w DNA można mierzyć długością helisy DNA, jej masą cząsteczkową lub liczbą par zasad w helisie. U wirusów, nie będących organizmami żywymi, a zdolnymi do włączania się do struktur i funkcji organizmów żywych, liczba par zasad może być tak mała jak kilka tysięcy, ale już u najprostszych żywych organizmów – u bakterii, liczba par zasad jest rzędu 10^6 , u bardziej złożonych Protista (np. pierwotniaki, glony, grzyby) – 10^7 , u najprostszych tkankowców, u gąbek – 10^8 , a u wyższych organizmów – 10^9 i 10^{10} .

W zasadzie więc w miarę wzrostu złożoności organizmów zasób informacji genetycznej wyraźnie rośnie. Wzrost ten nie jest jednak równomierny i często napotykamy różne odchylenia. Na przykład płazy bezogoniaste mają ilość DNA rzędu 10^{11} par zasad, a liczne rośliny poliploidalne tyle lub nawet nieco więcej. Nie oznacza to, iż tak wielka ilość DNA jest jednocześnie zwiększeniem zasobu informacji genetycznej. Nadmiar DNA w tych przypadkach ma raczej charakter balastowy, choć w sposobie funkcjonowania informacji genetycznej przypuszczalnie odgrywa jakąś rolę.

Jak zobaczymy potem tylko część zasobu informacji genetycznej pełni bezpośrednią rolę w kodowaniu białek.

W związku ze znaczeniem zasobu informacji genetycznej warto podkreślić, że zasób taki może być zwiększany i ilościowo i funk-

cyjonalnie przez zjawiska symbiozy. Przykładem mogą być chloroplasty (ciałka zielone) roślin, dzięki którym rośliny są zdolne do fotosyntezy, wiązania CO₂ i wytwarzania tlenu, a będące uwstecznionymi symbiontami sprzed miliardów lat, wywodzącymi się z sinic (cyanobakterii).

Prowadzi nas to do zagadnienia roli, jaką gra zasób informacji genetycznej. Inaczej mówiąc, czy zasób informacji jest u wszystkich organizmów i zawsze tak samo wykorzystywany? Odpowiedź, oparta o liczne bakterie, jest: nie.

U bakterii zasób informacji jest wykorzystywany niemal w 100%, przy czym olbrzymia jego większość jest zużywana na informacje o budowie białek. Tylko mała frakcja służy mechanizmom regulacji.

U wyższych organizmów jakaś część DNA wydaje się niewykorzystana. Na kodowanie białek trzeba zaledwie kilku procent całego DNA, natomiast więcej DNA spełnia różne funkcje regulacyjne. U DNA wyższych organizmów duża jego część ma charakter powtarzalnych odcinków (sekwencji), czasem liczących wiele tysięcy. Pewna frakcja zdaje się nie spełniać jakiegś istotnej dla organizmu roli. Czasem określa się ją terminem „samolubnego genu”, tj. takiego elementu DNA, który ma zdolność do samoreplikacji ale nie znana jest jego funkcja. Element taki nie może być w pełni „samolubny”, gdyż istnienie jego warunkowane jest istnieniem genomu organizmu i przeżywaniem całego organizmu. Musi być zatem raczej neutralny lub prawie neutralny.

Wykorzystanie zasobu informacji genetycznej może też być zwiększone. Przykłady tego zjawiska znajdujemy głównie u bakterii. Wyjątkowo jeden odcinek DNA może kodować więcej niż jedno białko, z tym, iż kodujące odcinki tych białek rozpoczynają się w innych miejscach. Zwiększeniu możliwości wykorzystania zasobu informacji genetycznej służy też tzw. rearanżacja genów. Na przykład pałeczka paradykowa (*Salmonella*) może tworzyć dwa typy rzęsek, co zwiększa jej szanse przeżycia w zakażonym zwierzęciu. Przez odwrócenie małego odcinka DNA bakteria ta zyskuje możliwość syntezy białka jednego lub drugiego typu rzęski.

Podobne zjawisko do rearanżacji genów leży u podstaw zdolności tworzenia przy pomocy nie tak wielu genów setek tysięcy przeciwciał przez np. ssaki. Opis tych złożonych procesów jest tu nie możliwy. Czytelnik który zainteresowałby się tymi zagadnieniami może znaleźć prosty, popularny ale rzetelny ich opis w *Życiu bakterii* (Kunicki-Goldfinger 1994).

Informacja genetyczna jest powielana w procesie replikacji DNA i w zasadzie jest przekazywana pionowo – od pokolenia rodzicielskiego do pokolenia dzieci.

Ostatnio opisano najpierw u bakterii, a potem także u wyższych organizmów, mechanizmy umożliwiające przekazywanie informacji genetycznej poziomo – między osobnikami tego samego pokolenia, a nawet między organizmami z sobą nie spokrewnionymi.

W każdym genomie istnieją odcinki DNA np. zwane sekwencjami insercyjnymi lub transpozonomami, które są zdolne do przemieszczania się wzdłuż helisy DNA, a nawet pomiędzy różnymi chromosomami. Odcinki te często zawierają w sobie gen lub kilka genów. Przemieszczanie ich jest więc także przemieszczaniem genów. Przy udziale wielu wirusów lub pozachromosomalnych małych tworów DNA, nazywanych plazmidami, ruchome odcinki wraz z zawartymi w nich genami mogą wędrować pomiędzy organizmami – poziomo. Nie osłabia to ogólnej zasady, iż informacja genetyczna jest przekazywana przede wszystkim pionowo. Należy jednak pamiętać, iż w mniejszym zakresie możliwe jest przekazywanie informacji genetycznej poziomo.

Czy człowiek korzystając ze swego intelektu, może jakoś wpływać na zasób informacji genetycznej i na jej przenoszenie? W ograniczonym stopniu tak.

Przed wszystkim człowiek może wpływać na częstość występowania niektórych genów przez działanie selekcji, zmieniając środowisko życia organizmu.

Przykładem, znanym zresztą chyba wszystkim, jest selekcja uprawnych i hodowanych roślin i zwierząt. Selekcja ta, prowadzona prawdopodobnie od rewolucji neolitycznej sprzed około dziesięciu tysięcy lat, doprowadziła do „stworzenia” przez człowieka tysięcy ras i odmian, wykazujących jakieś cechy wykorzystywane przez człowieka. Takie nowe rasy i odmiany zwykle przeżywają tylko dzięki interwencji hodowcy, często będąc niezdolne do samodzielnego przeżycia w naturze. Innym przykładem, o wiele słabiej znanym, jest selekcja genów w społeczeństwie ludzkim. Selekcja taka z reguły zachodzi wskutek stworzenia określonych warunków środowiskowych i z reguły jest niezamierzona. U ludności zasiedlającej tereny, gdzie panuje malaria, zwiększa się częstość genów warunkujących zwiększoną oporność na malarię. Dobrze poznanym tego przykładem jest anemia sierpowata (nazwana tak, gdyż czerwone ciała krwi mają w niej kształt sierpa). Anemia jest schorzeniem, ale w obecności malarii nadaje człowiekowi oporność na zarazek zimnicy. To też na niektórych terenach malarycznych frakcja ludności, mającej anemię sierpowatą jest duża. Wreszcie jeszcze innym przykładem jest unikanie teraz ujemnej selekcji wielu wad dziedzicznych (np. krótkowzroczność, dziedziczna cukrzyca, fenyloketonuria).

W ostatnich dwudziestu latach człowiek zyskał możliwość modyfikowania informacji genetycznej organizmów przez technikę inżynierii genetycznej. Praktycznie, działania takie podlegające zresztą dość rozbudowanym przepisom kontrolnym ograniczają się głównie do bakterii, dość rzadko do zwierząt i roślin hodowlanych.

Rozporządzamy zatem ograniczonymi możliwościami modyfikacji informacji genetycznej żywych organizmów, ale z reguły i w zasadzie pozostaje ona raczej poza kontrolą człowieka.

INNE RODZAJE INFORMACJI ORGANIZMU ŻYWEGO

Poza informacją genetyczną organizmy żywe rozporządzają dodatkowo innymi typami informacji, pośrednio lub bezpośrednio zależnych od genomu i niekiedy w pewnym stopniu przezeń kontrolowanych. Wymienić tu należy: a) informację topologiczną, b) informację biochemiczną, c) informację immunologiczną, d) informację instynktu i behawioru, e) informację intelektualną.

a) INFORMACJA TOPOLOGICZNA

Jest to informacja określająca formę i strukturę organizmu, a także mechanizmy tworzenia tych struktur. Jej rola jest szczególnie duża i widoczna u wyższych organizmów, gdzie w procesie rozwoju od jaja do dojrzałego organizmu zachodzą uporządkowane, przestrzennie i czasowo regulowane procesy.

Rozwój organizmu jest określany przez wybrane funkcje genomu. U tkankowców funkcję tę spełnia w dużej mierze zespół genów, których rozmieszczenie przestrzenne i aktywacja funkcji są ściśle określone. Nazywamy je zespołem homeoboksu. Efekt takiego przestrzennie i czasowo ustruktrowionego składnika genomu jest dobrze widoczny w eksperymentach nad klonowaniem organizmu.

Z zapłodnionych komórek jajowych np. płaza umiemy usunąć ich jądra komórkowe, a na ich miejsce wstawić jądra podobne np. z komórek nabłonka jelitowego tego samego płaza. Również wszystkie jądra komórkowe komórek nabłonka jelita danego organizmu są identyczne, przeto wszystkie enukleowane uprzednio komórki jajowe otrzymują identyczne jądra. W wyniku – z jaj takich powstaną pod względem genetycznym zupełnie identyczne osobniki, tworzące tzw. klon.

Zwróćmy uwagę, że jądra komórkowe w różnych komórkach spełniają tylko wybrane funkcje, a mnożąc się prowadzą do powstania w zasadzie takich samych komórek. Te same jądra wprowadzone do enukleowanych komórek jajowych zaczynają spełniać inną rolę – taką rolę jaką spełniałoby zapłodnione jądro jaja. Zaczynają

one kierować uporządkowanym procesem rozwoju od jaja do dojrzałego organizmu. Informacja genetyczna tych jąder jest taka sama jak jąder funkcjonujących w komórkach nabłonkowych, ale wykorzystanie tej informacji jest zupełnie inne. O tym nowym sposobie wykorzystania zasobu informacji genetycznej decyduje przestrzenna struktura cytoplazmy komórki jajowej, bezpośrednio przez tę strukturę aktywowana. Jest to zatem informacja przestrzenna – topologiczna.

b) INFORMACJA BIOCHEMICZNA

Informacja biochemiczna, przejawiająca się jako aktywność enzymów, jest ściśle zależna od informacji genetycznej. Obejmuje ona zestaw enzymów, jakimi organizm rozporządza, ich aktywność oraz czynniki je inaktywujące i stymulujące. Trwałość enzymów przekracza często okres międzypodziałowy komórek bakterii, a mieści się na ogół w funkcji czasu życia innych organizmów. Enzymy bywają aktywne poza komórkami je tworzącymi. Informacja biochemiczna obejmuje też istnienie matrycy RNA (mRNA), na których zachodzi synteza swoistych białek. U bakterii mRNA jest bardzo nietrwałe i w zasadzie istnieje tylko w procesie syntezy danego białka. U wyższych organizmów mRNA może być bardzo trwałe. Na przykład erythrocyty ssaków, nie zawierające już jądra komórkowego, mają w cytoplazmie trwałe mRNA kodujące białko hemoglobiny.

c) INFORMACJA IMMUNOLOGICZNA

Jest to rodzaj informacji spotykany tylko u kręgowców, a w pełni ukształtowany u stałocieplnych kręgowców. Jest on bezpośrednio zależny od informacji genetycznej, a jest realizowany przez rearanżację genów, kodujących elementy składowe przeciwciał. Organizm jest zdolny do wytworzenia setek tysięcy różnych przeciwciał, które uczestniczą w inaktywacji zarazków i jadów, jakie mogą się dostać do organizmu. Rola tej informacji w ochronie zdrowia organizmów jest olbrzymia. W 100 lat człowiek nauczył się aktywnie wykorzystywać ten typ informacji przeprowadzając szczepienia ochronne i leczenie.

d) INFORMACJA INSTYNKTU I BEHAVIORALNA

Działanie i reakcje organizmów żywych w dużej mierze zależą od zasobu informacji instynktowej. Informacja ta, pośrednio pochodna i zależna od informacji genetycznej, tworzona jest w rozwoju ewolucyjnym organizmów i przekazywana z pokolenia na pokolenia. Informacja instynktu kształtuje reakcje i zachowanie organizmu, człowieka też, choć u człowieka reakcje instynktowne są nieraz hamowane lub modyfikowane przez czynniki kulturowe.

U wyższych zwierząt uzupełniającą rolę odgrywa informacja behawioralna. Jest to zespół zachowań zależny od informacji genetycznej i często przekazywany poprzez przyuczanie. Zachowanie się organizmu w społeczności, stosunek do innych organizmów nieraz formowane jest przez taką informację behawioralną, u człowieka często modyfikowaną przez czynniki kulturowe.

Mechanizmy i rola informacji instynktu są lepiej poznane u zwierząt niż u człowieka, po prostu dlatego, że badane są przede wszystkim u zwierząt.

e) INFORMACJA INTELEKTUALNA

Informacja intelektualna jest właściwa tylko jednemu gatunkowi zwierząt – człowiekowi. U zwierząt opisuje się zespół zachowań, nazywany protokulturą. Na pewno zwierzęta wyższe tworzą i wykorzystują symbole ikoniczne (obrazowe). Czy nawet „najwyższe” zwierzęta, np. małpy człekostaatne, tworzą symbole abstrakcyjne dotychczas nie wiemy, nie rozporządzając metodą ich badania. Zwierzęta nie mówią, choć nieraz mają cały system sygnałów dźwiękowych. Sygnały te nie przekazują jednak symboli i reakcji pomiędzy nimi, a jedynie informacje w wykrywalnych zmianach otoczenia. Zwierzęta, np. małpy, uczą się nowych zachowań, modyfikują stare zachowania, robią czasem nowe wynalazki (nowych zachowań), ale przekaz informacji międzyosobniczy jest bardzo ograniczony a zasób informacji protokulturowej nie podlega kumulacji.

Intelekt człowieka i wywodząca się z niego kultura budowane są na zdolności do tworzenia symboli abstrakcyjnych oraz relacji między nimi oraz od zdolności do mówienia, a także od uczenia się. W mowie nie przekazujemy wyłącznie sygnałów o obserwowanych zdarzeniach, ale dzięki wielokrotnemu składaniu sylab możemy tworzyć tysiące słów, oznaczających symbole ikoniczne i abstrakcyjne oraz relacje między nimi. Dzięki składni zdolni jesteśmy do wypowiedzania opisu obrazów, modeli, planów, przewidywań.

Pojęcia abstrakcyjne oraz mowa w oczywisty sposób warunkowane są rozwojem mózgu. Nie wiemy kiedy Hominidy zaczęły mówić, ale na pewno mówi *Homo sapiens* oraz mówił *Homo neanderthalensis*. Nie wykluczone, że mowa i tworzenie bogactwa symboli abstrakcyjnych poprzedził umiarkowany rozwój mózgu u naszego pierwszego „małpoludzkiego” przodka, *Australopithecus*, kilka milionów lat temu. Australopitek chodził już na dwóch nogach, choć mógł być gorszym biegaczem niż człowiek. Zdolny był też łączyć po drzewach, miał zatem szeroki zakres różnych ruchów. Miał też dłoni podobniejszą do dłoni człowieka niż do małpiej, o stosunkowo

dużej precyzji manipulowania oraz rzucania do celu. Był też padlinożercą, musiał więc być zdolny do szybkiego wykrywania padliny i docierania do niej. Przypuszczalnie korzystał z bardzo prymitywnych narzędzi kamiennych, służących do ćwiartowania padliny oraz korzystania z jej mózgu i szpiku. Prawdopodobnie korzystał też z prymitywnych narzędzi drewnianych i roślinnych, głównie do transportu żywności. Stymulowany przez te czynniki powolny rozwój mózgu w pewnym momencie osiągnął poziom umożliwiający mówienie. Sprzyjał temu, jak się wydaje, rozwój stosunków społecznych (np. zahamowanie agresji wewnątrz hordy, rozbudowa kooperacji, udoskonalenie sposobów porozumiewania się, ograniczona monogamia i włączenie samca w proces żywienia młodych).

Wiele wskazuje na to, że rację ma Chomsky (1968) postulując istnienie w mózgu struktur funkcjonalnych, warunkujących zdolność do mówienia. Wydaje się też, że inne struktury funkcjonalne mózgu warunkują sposób pamiętania i rozumowania (patrz np. Popper 1972).

Dzięki mowie udoskonalił się sposób przekazywania informacji. Jest ona przekazywana pionowo, między pokoleniami oraz poziomo między różnymi osobnikami. Zwróćmy uwagę, iż informacja intelektualna ma charakter cech nabytych w życiu osobniczym, a więc jej przekaz wykazuje właściwości procesu opisanego przez Lamarcka. Jest to dziedziczenie cech nabytych. Proces przekazywania takich cech i ich „dziedziczenie” jest bardzo szybki, a w porównaniu z dość powolnym procesem ewolucji darwinowskiej niemal natychmiastowy. Opis tego procesu znajdziemy w książce Cavallii-Sforzy i Feldmana (1981). Przekaz ten ma wyraźne cechy kumulatywności. Już kiedy przekaz opierał się tylko na słowie mówionym kumulacja informacji była dobrze widoczna. Dotyczyła nie tylko mitów, legend i wierzeń religijnych, ale opisów zdarzeń historycznych (np. Iliada) oraz opisów i technik działania i planowania. Proces kumulacji doskonalił się po wynalezieniu pisma. Przekaz odbierany jest zatem także od pokoleń, które dawno wymarły.

Ta sprawność systemu przekazu oraz rosnące coraz możliwości kumulacji informacji legły u podstaw zachowań europejskiej nauki i opierającej się na niej technologii.

Sprawy ludzkie i międzyludzkie są jednak niesłychanie złożone i wieloelementowe. Metody opracowane w nauce i technice z reguły tu zawodzą.

Poza zasobem informacji, wiedzą, potrzebna jest mądrość, określająca cele, zakres i sposób wykorzystania informacji. Mądrości nie umiemy mierzyć, choć chyba jakoś ją rozpoznajemy. Mądrość działa jednak poprzez system wartości, tak jak normy moralne, tworzone są

poza wiedzą i nauką. O moralności jednak więcej wiedzą tu nasi słuchacze niż ja sam – jako biolog.

PIŚMIENNICTWO

- Cvalli-Sforza L. L., Feldman W.: *Cultural transmission and evolution. A quantitative approach*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1981.
- Chomsky N.: *Language and mind*, Harcourt, Brace, World, 1963.
- Kunicki-Goldfinger W. J. H.: *Dziedzictwo i przyszłość. Rozważania nad biologią molekularną, ewolucją i człowiekiem*, PWN, Warszawa, 1974.
- Kunicki-Goldfinger W. J. H.: *Szukanie możliwości. Ewolucja jako gra przypadków i ograniczeń*, PWN, Warszawa, 1989.
- Kunicki-Goldfinger W. J. H.: *Znikąd donikąd*, PIW, Warszawa, 1993.
- Kunicki-Goldfinger W. J. H.: *Życie bakterii*, Wydanie VI. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1994.
- Neumann von J.: *Theory of self-reproducing automata*, Barks E. J.: University of Illinois Press, Urbana 1966.
- Popper K. R.: *Objective knowledge: an evolutionary approach*, Oxford University Press, Oxford, 1972.