

Teresa Ścibor-Rylska

Celowość w życiu komórki

Studia Philosophiae Christianae 16/1, 5-64

1980

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.

TERESA (ŚCIBOR-)RYLSKA

CELOWOŚĆ W ŻYCIU KOMÓRKI

1. Zagadnienie celowości w przyrodzie. 1.1. Filozoficzne podejście do celowości 1.2. Przyrodnicze podejście do celowości. 1.3. Ukierunkowanie celowe różnych typów układów. 2. Celowościowe uorganizowanie komórki. 2.1. Wstępne wiadomości o komórce. 2.2. Cele życia komórki. 2.3. Celowościowe uorganizowanie jądra komórkowego. 3. Analiza procesu działania celowego komórki. 3.1 Zdolność do poznawania celu jako celu. 3.2. Zdolność do dążenia do celu. 3.3. Czynności służące do osiągnięcia celu. 3.4. Sprzężenie zwrotne i korekcja działania. 4. Podsumowanie. Literatura.

1. ZAGADNIENIE CELOWOŚCI W PRZYRODZIE

Zagadnienie celowości¹ w przyrodzie należy do najbardziej kontrowersyjnych w nauce. Zajmują się nim zarówno filozofowie, jak i przyrodnicy.

1. 1. FILOZOFICZNE PODEJŚCIE DO CELOWOŚCI

1.1.1. TELEOLOGIA, FINALIZM I MECHANICYZM

Naukę zajmującą się ukierunkowaniem celowym w przyrodzie nazwano teleologią. Finalizmem zaś nazwano kierunek wyjaśniania przebiegu zjawisk z odwołaniem się do ich celu. Finalizmowi przeciwstawia się mechanicyzm (współcześnie zwany często redukcjonizmem), który ogranicza się w wyjaśnianiu do zwykłej przyczynowości fizykochemicznej.

Skrajni finaliści doszukują się dążenia do celu we wszelkich procesach kosmicznych i ziemskich. „Wszystko, co się porusza, porusza się do celu” — mówił Arystoteles. W każdej zmianie miałyby działać przyczyna celowa, a przyczyna sprawcza byłaby jej podporządkowana. Początkiem wszelkiego ruchu

* Autorka artykuł swój dedykuje Ks. Prof. Kazimierzowi Klósakowi w 40 lecie Jego pracy naukowej.

¹ „Celowość mówi o takim ukierunkowaniu procesów, aby osiągnęły zamierzony program czy plan, względnie wypełniły nałożony im program” (T. Wojciechowski 1976, 329).

miałaby być Pierwsza Przyczyna — Bóg. U św. Tomasza argument „z celowości” (teleologiczny) znajdował się na poczesnym miejscu wśród „dowodów istnienia Boga”.

Mechanicyści odrzucają nie tylko istnienie pierwszej przyczyny, ale w ogóle negują istnienie przyczynowości celowej w przyrodzie nieożywionej i ożywionej. Dla nich sensowne jest mówienie o celu tylko wtedy, gdy zajmujemy się analizą świadomego, rozumnego działania człowieka. Ewentualnie, mogłyby działać celowo niektóre zwierzęta obdarzone psychiką. Wszystko, co się porusza poza gestią człowieka, da się wytłumaczyć bez reszty przyczynowością, jest więc przypadkowym „dzianiem się”, a nie celowym działaniem. W tym nurcie filozofii przypisywanie istotom niższym zdolności do celowego działania uważa się za nie uprawniony antropomorfizm.

Takie podejście do zagadnienia celowości panowało nieomal niepodzielnie w umysłach filozofów i przyrodników XIX w. i aż do połowy w. XX. W tej materii neotomiści okazali się zgodni ze skrajnymi mechanycystami, odzegnując się od nie-naukowej teleologii.

Oczywiście, niektórzy uczeni przeciwstawiali się powszechnie przyjętemu antyfinalizmowi, głosząc poglądy czasem wręcz arystotelesowsko-tomistyczne. Mianowicie cały świat i wszystko, co na nim istnieje, miałoby być ukierunkowane ku jakiemś celowi. Za tak skrajnym finalizmem opowiadają się m.in. H. Driesch (1924), H. Bergson (1957), P. Teilhard de Chardin (1956).

Van Melsen sądzi, że rozwój nauk przyrodniczych stawia przed filozofami zadanie przemyślenia od nowa całego problemu przyczynowości (A.G. van Melsen 1966, 151).

Tak jak mechanika kwantowa dała asumpt filozofom do przedyskutowania zagadnień determinizmu, tak inne nauki a zwłaszcza cybernetyka, nauki o układach: holizm (A. Meyer-Abich 1935 i 1956), organizmalizm (L. von Bertalanffy 1950 i 1960) oraz biologia molekularna mogłyby wiele wnieść do zagadnień przyczynowości i celowości.

1.1.2. RÓŻNE ZNACZENIA TERMINU „CELOWOŚĆ”

Spójrzmy wraz z filozofem holenderskim, w jak różnych znaczeniach współcześnie jest używany termin „celowość” (Van Melsen 1966, 156—166). Wylicza on ich aż siedem:

1) Celowość — działanie celowe człowieka w oparciu o świadome poznanie celu jako celu, przy użyciu wybranych środków.

2) Zachowanie się celowe wyższego zwierzęcia (jakby ono działało podobnie do człowieka) działanie nieświadome (wg Melsena zwierzę nie ma świadomości) i bez poznania celu jako celu.

3) Działanie mechanizmów stworzonych przez człowieka; celowość dzieła człowieka jest „włożona” z zewnątrz przez jego twórcę; skonstruowany mechanizm realizuje cel nieświadomie, zgodnie z prawami natury (które człowiek planujący bierze pod uwagę). Maszyna może zmieniać kierunek działania zależnie od bodźców ze środowiska (o ile jest tak zaprogramowana), może „uczyć się” i „zapamiętywać” (komputery), może także mieć pewną autonomię. Gdy maszyna jest zbudowana i zaopatrzona w energię, działa celowo, automatycznie, bez interwencji człowieka.

4) Procesy zaprogramowane wewnątrznie w organizmie, w komórce (różnica z procesami w maszynie zaprogramowanymi przez człowieka). Program jest zupełnie wyraźny w przypadku embriogenezy (ontogenezy), natomiast wątpliwy w przypadku ewolucji (E. Mayr 1961; C. P. Raven 1960). A. G. van Melsen (1966, 158) sądzi, że nawet w pierwszym przypadku (rozwoj zarodka) trudno mówić o „celowości” wobec braku świadomości w zygocie; mamy tu tylko „specjalny rodzaj współgry czynników sprawczych”. „Wyjaśnianie celowościowe lub przyczynowe naświetlenie to tylko różne aspekty tego samego procesu” (np. ontogenezy).

5) Ukierunkowane procesy w przyrodzie nieożywionej (np. woda płynie zawsze z góry w dół, węglowodan w powietrzu pali się); takie procesy można wyjaśniać od strony celowości lub przyczynowości; Van Melsen słusznie mówi, że pewne procesy w przyrodzie nieożywionej trzeba traktować jako „ukierunkowane” ale nie „celowe”. Przyjmuje on jednak za pewnik, że w materii nieożywionej jest „dążenie do porządku” i do większej złożoności (lepiej: do integracji). Z tym można by się zgodzić, biorąc pod uwagę samorzutne powstawanie pierwiastków o wyższej liczbie nukleonów oraz samoistną krystalizację.

6) Ukierunkowane procesy ewolucji — ortogeneza, mogą być naświetlane finalistycznie (np. teorie Bergsona, Brachet i Grasé). Van Melsen sądzi, że taka kierunkowość istnieje, że rozciąga się na całe „przed-życie” (termin Teilharda), że „zaczątki” jej są już w atomach, a wyzwalamie się ich zawdzięczamy jedynie przypadkowi. Cała ewolucja jest według tego autora rezultatem „szczęśliwych” przypadków (zgodność z G. G. Sim-

psonem oraz J. Monodem). Pod tym względem ewolucja gatunków nie różni się od ewolucji materii nieożywionej.

7) Ostatnie znaczenie celowości van Melsen nazywa celowością „stworczą” (*Schöpfungsfinalität*) albo celowością pierwszej przyczyny (św. Tomasz). Van Melsen (1966, 164) uważa takie ujęcie celowości za nienaukowe, za nieporozumienie, albo za „zatykanie Bogiem dziury w naszej niewiedzy”. Typowym przykładem takiego nieporozumienia jest wg tego autora interpretacja celowościowa ewolucji, jaką daje Teilhard de Chardin.

Van Melsen opowiada się za ograniczeniem się do pierwszego ujęcia celowości, ale jednocześnie sygnalizuje, że zarówno przyczynowość jak celowość powinny być rozpatrywane na nowo w świetle współczesnego przyrodoznawstwa.

Ks. K. Kłósak zajmuje podobne stanowisko. Píše on, że „cele nie mogą się pojawiać tam, gdzie nie ma żadnego poznania i pragnienia” i gdzie „traci sens wyodrębnianie czynności i działania. Można tylko stwierdzić, że tam coś się dzieje” (K. Kłósak 1973, 249—253). I dalej: „Poza światem jestestw obdarzonych jakimś życiem psychicznym nie możemy znaleźć w przyrodzie celów realizowanych od jej wnętrza, wysuwanych przez nią samą”. „Byty pozbawione wszelkiego życia psychicznego mogą być jedynie z zewnątrz — skierowane do określonych celów” (K. Kłósak 1973, 252.) Filozof krakowski zadaje sobie pytanie: czy w ramach tomistycznej koncepcji bytu można dedukcyjnie wnioskować o celowości w przyrodzie martwej lub ożywionej („pozbawionej rozumu”). Na pytanie to ks. Kłósak odpowiada negatywnie.

1.1.3. ANALIZA PROCESU DZIAŁANIA CELOWEGO

Idąc dalej za myślą tego autora zanalizujmy proces działania celowego. Oto podmiot działający celowo powinien być zdolny: 1° do poznania celu jako celu²; 2° do dążenia do celu.

Poznawanie — włączanie czegoś nowego do istniejącego przedtem w umyśle człowieka gmachu wiedzy (M. Polanyi 1962) — to czynność właściwa jedynie istotom obdarzonym świadomością oraz sprawnie działającym aparatem intelektualnym (korą mózgową).

Dążenie do celu jest wynikiem uświadomienia sobie go jako dobro (akt wartościujący rozum) oraz pożądania go (akt woli-tywny rozum).

Aby osiągnąć cel, nie wystarczy go poznać i zapragnąć, trze-

² Chodzi tu o przedstawienie sobie jakiegoś przedmiotu czy stanu, jako coś, co chcielibyśmy osiągnąć.

ba jeszcze przynajmniej trzech czynności (także intelektualnych): 1° ułożenia planu³, 2° wybrania środków, 3° przygotowania źródeł energii. Po takim przygotowaniu człowiek przystępuje do działania. Jeżeli w trakcie zaplanowanych działań zajdzie zmiana w otoczeniu albo w podmiocie działającym, to podmiot ten (człowiek) zmienia odpowiednio plan, środki, zwiększa albo zmniejsza dopływ energii tak, aby mimo zmiany warunków cel by osiągnięty. Po skończonym działaniu człowiek ocenia rezultaty: czy zadanie zostało wykonane w pełni, czy energia włożona była dobrze wykorzystana, czy użyto odpowiednich środków itp. Jeżeli ocena wypadła ujemnie, człowiek modyfikuje plan, zanim zacznie działać powtórnie.

Analiza powyższa zdaje się przesądzać sprawę; działanie celowe, jak się wydaje, jest właściwe człowiekowi i ewentualnie zwierzętom obdarzonym wyższym psychizmem, zaś w reszcie świata jedynie „coś się dzieje”.

Wobec tego przypisywanie komórce zdolności do celowego działania byłoby oczywistym antropomorfizmem. Należałoby też usunąć z języka biologii wszystkie słowa o jawnym lub ukrytym⁴ znaczeniu celowościowym.

1.2. PRZYRODNICZE PODEJŚCIE DO CELOWOŚCI

Tymczasem w miarę rozwoju nauk biologicznych pojawia się tendencja do mnożenia tego rodzaju wyrażen. Wielu uczonych mówi wprost o celowości w strukturze, w funkcjach i w rozwoju istot żywych.

1.2.1. CELOWOŚĆ ORGANIZACJI, STRUKTURY I FUNKCJI

Oto niektóre wybrane cytaty: „...każdy organizm posiada wewnętrzną celowość kierującą jego istnieniem” (A. Dauvillier 1958, 22). „... powszechne przystosowanie albo — inaczej mówiąc — „celowość” organizacji żywych istot okazuje się oczywistym faktem obiektywnym, którego nie może pominąć żaden wnikliwy badacz przyrody” (A. Oparin 1968, 14). Autor ma tu na myśli takie fakty, jak uorganizowanie, adaptacja, przystosowanie budowy do funkcji. W innej pracy tenże radziecki autor zwraca uwagę, że celowość budowy przejawia się nawet

³ Nie jest ważne, czy plan działania jest własny, obmyślony przez danego człowieka, czy jest cudzy — przyjęty od innego. Ważne jest tylko, żeby plan był dobrze uświadomiony, przemyślany i zaakceptowany.

⁴ Celowość „kryje się” m.in. w następujących zwrotach: dobór, korzyść, szkodliwość, adaptacja, struktura, funkcja, organ, organizm.

na poziomie cząsteczkowym (A. Oparin 1967, 37). „Układ żywy realizuje określone zadania i w tym celu został odpowiednio zbudowany i jego części działają w sposób harmonijny” i dalej „Celowość jest cechą wspólną dla układów budowanych przez człowieka i dla układów żywych” (L. Pluszcz 1967, 240), czyli dla obu rodzajów układów biotycznych: sztucznych i naturalnych. Inni badacze radzieccy konstatują, że „funkcje żywego układu są specyficzne, celowe, zorganizowane i twórcze” (K. S. Trinczer, 1967, 268), że „procesy celowe są zorientowane, uporządkowane dynamicznie, zorganizowane ku ściśle określonemu celowi” (W. N. Swincicki 1967, 313). „Ukształtowane w historii życia powiązanie procesów (fizykochemicznych—T. R.) jest doskonałe i celowe w organizmie jako całości ... nie sprowadza się do sumy zjawisk fizykochemicznych i jest regulowane nowymi jakościowo prawidłowościami wyższego rzędu...; ilościowe nagromadzenie i... celowe zintegrowanie podukładów sterowania doprowadziło do skokowego przejścia w nową jakość” (B. L. Astaurov 1967, 445). Jeden z radzieckich neurofizjologów pisze: „To, co żywe, zawiera elementy celowości i przystosowalności... Dla nas — fizjologów — celowość to cecha, z którą spotykamy się... co sekunde... Celowość uległa rozszyfrowaniu i stała się... zjawiskiem materialnym..., w którym przyczyny i skutki... są do końca zbadane i obiektywnie poznawalne... Celowość czyni życie stabilnym, zapewnia mu trwałość” (K. Anochin 1967, 332). W innej pracy tenże autor pisze: „Układ dąży do osiągnięcia zaprogramowanego wyniku” oraz „Układem można nazwać tylko taki kompleks redukcyjnie wprowadzonych komponent, których wzajemne na siebie oddziaływanie przybiera postać kooperacji w celu otrzymania... użytecznego wyniku” (K. Anochin 1970, 13, 19).

Znakomity polski fizyk Cz. Białobrzeski nie miał wątpliwości, że „celowość stanowi najwybitniejszą charakterystykę przyrody ożywionej”⁵. Fizjolog roślin F. Górski (1971, 601) pisze podobnie: „...nie da się zaprzeczyć, że organizm jest systemem wyróżniającym się niezwykle wysoką celowością zarówno pod względem funkcjonalnym, jak funkcyjnym”. Ewolucjonista Cz. Nowiński stwierdza: „...celowa organizacja morfo-anatomiczna i celowe funkcjonowanie w danych warunkach jest istotną właściwością świata żywego” (Cz. Nowiński 1974, 98). H. P. Cunningham w dyskusji tez J. Monoda pisze następująco:

⁵ Cz. Białobrzeski 1972 (1925) na s. 21 zaznacza, że chodzi mu o łączność „teraźniejszości z przyszłością” a więc „celowość w rozumieniu szerokim nie ograniczonym świadomością celu, jak chce H. Hartmann”.

„Wszelki żywy układ jest ‚zrodzony’ w ten sposób, że jest ukierunkowany ku jakiemuś rezultatowi... ku celowi (telos, fin) w ścisłym tego słowa znaczeniu... jest on zawsze ‚dla czegoś’... Życie jest czymś ‚pożądany’ ... Życ — to wykonywać program” (P. Cunningham 1972, 212).

1.2.2. CELOWOŚĆ WEWNĘTRZNA I ZEWNĘTRZNA

J. Kamarit (1963, 467) zwrócił uwagę na potrzebę rozróżnienia pojęć celowości zewnętrznej (operował nią np. Darwin) oraz wewnętrznej. Podobnie pisał L. von Bertalanffy (1960, 84) oraz M. I. Sietrow (1971, 126). Wszystkie przytoczone wyżej cytaty odnoszą się do celowości wewnętrznej związanej z organizacją żywego układu. Takiej celowości nie można przypisywać układom geologicznym, natomiast dla biotycznych jest ona oczywista. P. Grassé (1973, 217) rozróżnia celowość immanentną — wewnętrzną wyrażającą się w strukturach i funkcjach układu, oraz transcendentną — zewnętrzną, która działa w doborze naturalnym (ewolucja) w zdolności adaptacji do środowiska itd.⁶

Niektórzy współcześni biologowie woleliby nie używać słów „teleologia”, „finalizm” (jako w pewnym stopniu skompromitowanych, „obskuranczkich”) powiązanych z różnymi „podejrzanyymi” teoriami⁷ i zaproponowali dla celowości termin: teleonomia. Ojcem tego terminu jest C.S. Pittendrigh⁸, który wyjaśnia (w liście z 1970 r.)⁹, że termin „teleonomia może być

⁶ P. Grassé pisze: „Próby wykorzenia celowości z biologii są próżne; próżne, gdyż robione są wbrew rzeczywistości i są czynione przez ludzi, którzy nie znają faktów” (1973, 218).

⁷ E. Mayr (1974) wylicza cztery przyczyny, dla których nie należy używać języka teleologicznego: 1. stwierdzenia teleologiczne mogą być podstawą dla „niesprzedzalnych” teori teologicznych i metafizycznych, 2. przyjęcie wyjaśnienia teleologicznego tylko dla przyrody ożywionej może spowodować zaniedbanie wyjaśnień fizykochemicznych, 3. przyjęcie, że przyszłe cele są przyczyną teraźniejszych zjawisk, wydaje się nie być w zgodzie z pojęciem przyczynowości, 4. język teleologiczny wydaje się językiem antropomorficznym (ss. 83, 94). Ks. A. J. Czyżewski dodaje jeszcze piątą przyczynę: teleologiczne wyjaśnienia wydają się być „hamulcem w postępie wiedzy przyrodniczej” (udostępniony maszynopis). Mayr konkluduje: „Mimo wszystko biologowie z uporem dalej używają języka teleologicznego” (s. 94).

⁸ C. S. Pittendrigh 1958, 394. W liście do E. Mayra (26 luty 1973) pisze on, że bezpośrednią przyczyną stworzenia terminu „teleonomia” było dosadne powiedzenie Heldane’a: Teleologia jest dla biologa jak kochanka — żyć bez niej nie może, ale nie chciałby, by go widziano z nią publicznie”.

⁹ List Pittendrigha cytuje E. Mayr (1974, 115).

używany przez najczystszych mechanicystów, gdyż nie ma on nic wspólnego z arystotelesowską przyczyną celową. Układ jest teleonomiczny, jeżeli jest zorganizowany, a jako taki, wiemy, ze swej natury jest skierowany do celu¹⁰. Twórca terminu „teleonomia” zastrzega się mocno, że termin ten trzeba rozumieć czysto mechanicystycznie i odcinać od fałszywej „teleologii”¹¹. W tym sensie używają terminu „teleonomia” biologowie E. Mayr, F. Jaob, J. Monod, natomiast nie przyjęli go, o ile mi wiadomo, cybernetycy.

Dyskusję na ten temat w języku polskim utrudnia fakt, że mamy tylko jedno słowo celowość. A może to i lepiej? — Bo wiem można stanąć na stanowisku, że procesy w przyrodzie dzielą się na celowe i niecelowe. Pierwsze mają miejsce w układach uorganizowanych — biotycznych; drugie wszędzie poza takimi układami.

1.2.3. CYBERNETYCZNE UJĘCIE CELOWOŚCI

Żeby ostatecznie te sprawy wyjaśnić, trzeba podaną na wstępie definicję celowości nieco zmodyfikować (określenie pierwsze van Melsena w p. 1. 1. 2). Działaniem celowym nazwalibyśmy wszelkie działanie układu posiadającego informację wewnętrzną (zaprogramowaną we własnym „Języku”) o celu jako celu (stanie przyszłym układu) oraz zdolnego do wybierania środków (sposobów) do tego celu prowadzących.

W układach biotycznych naturalnych (komórka, organizm) informacja wewnętrzna jest dziedziczona wraz z życiem, w sztucznych zaś jest „wkładana” przez człowieka — projektanta i konstruktora. Z powyższego określenia wynika, że wszystkie istoty żywe i wszelkie mechanizmy budowane przez człowieka działają celowo.

1.3. UKŁADY UKIERUNKOWANE CELOWO I NIE UKIERUNKOWANE

Powstaje pytanie, jak jest z układami „przedzycia” (atomy, drobiny, cząsteczki, makrocząsteczki); może one są w jakimś stopniu ukierunkowane celowo? — Odpowiadamy zdecydowanie: nie. O celowym działaniu można mówić dopiero tam, gdzie

¹⁰ Pittendrigh powołuje się na autorytet J. von Neumanna, twórcy cybernetyki, który z naciskiem podkreślał, że różnica między układem zorganizowanym a uporządkowanym leży w celowości pierwszego — w ukierunkowaniu go do celu (list do E. Mayra cytowany przez adresata (1973, 115).

¹¹ W cyt. liście Pittendrigh mówi: „Haldane nie miał racji, gdyż (poza rzadkimi wyjątkami) możemy żyć bez teleologii” (M. Mayr, l. c).

jest życie, gdzie znajdujemy informację wewnętrzną — gromadzenie informacji, walkę z entropią, wzrost negentropii, porządkowanie, regulację i organizowanie, wolny wybór środków itd. Dopóki nie zaistniała pierwsza komórka otoczona błoną i zawierająca substancję (informację) dziedziczną, nie było życia, ani przedżycia.

Granica jest ostra między żywym układem (uorganizowanym) oraz tworzonymi przez człowieka układami sztucznymi (zorganizowanymi), a układami nieożywionymi, jak zewłok pozabawiony życia, kamień, rzeka. W pierwszym budowa i procesy są ukierunkowane do celu (zapisanego w substancji dziedzicznej) zaś w drugim sposób złożenia oraz zmiana, ruch są wynikiem przypadkowych zdarzeń wewnątrz i zewnątrz układu. Układ nieożywiony nie realizuje żadnego planu, jest rządzony przypadkiem. Natomiast w układzie biotycznym przypadek zazwyczaj jest źródłem jakiejś nieprawidłowości, czynnikiem psującym porządek; istota żywa przeciwstawia się przypadkowi.

Wróćmy jeszcze do ks. Kłósaka. Zaznacza on, w omawianej już pracy, że filozof, w oparciu o dane nauk doświadczalnych (biologicznych) mógłby próbować wyprowadzić aposteriorycznie celowość bytów ożywionych (K. Kłósak 1973, 241, 242).

Niestety, zadanie to, jak dotąd, nie pociągnęło filozofów przyrody. Nie wchodząc w kompetencje filozofów spróbujmy przedstawić zagadnienie działania celowego z czysto przyrodniczego punktu widzenia. Ucieknijmy się w pierwszym rzędzie do cybernetyki i teorii układów.

Otoczające nas układy można łatwo zakwalifikować do zbiorów: układy geologiczne lub biotyczne; dalej wśród biotycznych odróżniamy układy naturalne lub sztuczne. Można by wymienić szereg cech, po których rozpoznajemy, czy układ jest martwy — geologiczny czy żywy (lub będący owocem, przedłużeniem życia) — biotyczny. Omawiając te sprawy w książce „Porządek i organizacja w przyrodzie przedstawiłam argumenty za twierdzeniem, że istotna różnica między obu typami układów leży w sposobie złożenia elementów (T. Ryłska 1974, 21, 60). W kamieniu, w rzece (układy geologiczne) elementy są ułożone przypadkowo, chaotycznie¹², podczas gdy w komórce, w organizmie czy maszynie (układy biotyczne) elementy stanowią części uorganizowanej całości. Z dalszych rozważań wynika, że uorganizowanie jest istotną cechą żywych układów

¹² Zdarzają się układy geologiczne uporządkowane (np. kryształy), porządek tu jest czysto statyczny, a układ nie ma cech całościowości (bryła krystalu kształt swój zawdzięcza przypadkowemu dołączeniu się elementów).

(T. Rylska 1974, 56—59). Gdy mamy mówić o żywych układach, wydaje się niezbędne scharakteryzowanie procesu zwanego życiem.

1.3.1. ŻYCIE JAKO PROCES ORGANIZOWANIA SIĘ

Życie można ująć jako proces nieustannego organizowania się układów¹³, przez które płynie strumień informacji, materii i entropii; proces życia jest jeden, ciągły, ekspansywny, negentropijny, celowy i postępowy. Układy żywe posiadają informację wewnętrzną (o celu i sposobach życia w ogóle oraz danego układu w szczególności), przyjmują informacje z zewnątrz (czasem je zapamiętują), samosterują się i komunikują z innymi układami; są one całościowe, dyskretne (ograniczone w przestrzeni i czasie), ustrukturalizowane, złożone hierarchicznie z uporządkowanych podukładów; pobierają z zewnątrz materio-energię¹⁴, przerabiają ją i użytkują; są one dynamiczne (wykonują pracę), utrzymują swe środowisko wewnętrzne w stanie równowagi (homeostaza) i odnawiają się nieustannie; są zdolne do wzrostu, rozmnażania się, różnicowania się i przystosowywania do otoczenia (adaptacja) a także do rozwoju i do ewolucji¹⁵.

Zyjące obecnie układy tworzą jeden gigantyczny układ. Jest to piramida hierarchiczna obejmująca szereg poziomów złożoności: komórki są podukładami organizmu — osobnika; osobniki jednego gatunku składają się na populację; populacje różnych gatunków tworzą biocenozę; biocenozy wszelkich środowisk tworzą nadukład dokoła ziemski — biosferę (ryc. 1).

Gdy już wiemy, że życie jest procesem organizowania się, możemy zapytać, czy rzeczywiście wszelkie organizowanie jest działaniem celowym. Gdybyśmy spytali o proces porządkowania, łączenia się, to odpowiedź byłaby przecząca. Drobiny (np. NaCl) łączą się w uporządkowaną bryłę (kryształ soli kuchennej) bez żadnego celu. Ruch, zmiana, jakie tu mają miejsce są zwykłym dzianiem się a formowanie się kryształu jest wynikiem szeregu przypadków. Inaczej jest z organizowaniem się.

¹³ Już Jędrzej Śniadecki w swej *Teorii jestestw organicznych* (1804) pisał, że „życie jest sposobem egzystowania materii” (s. 7) oraz, że „życie... ma miejsce tylko w istotach (układach-T. R.) „uorganizowanych” (s. 9) i dalej: „Siła organizująca (proces organizowania się -T. R.) odkąd po raz pierwszy materię w postać organiczną przelała (uorganizowała tworząc pierwsze istoty żywe), dotąd trwa i zachowuje się nienaruszenie” (s. 12).

¹⁴ Materio-energia — termin wprowadzony przez J. G. Millera (1969)

¹⁵ Por. wcześniejsze określenie „życia”: T. Rylska 1974. 184.

Piętro	Poziom złożo- ności	Liczba nukle- onów	Układ				
III. MEGA- KOSMOS	16	1×10^{81}	A				
	15		Wszechświat				
	14		Gromada galaktyk				
	13		Super galaktyka				
	12		Galaktyka				
II. MAKRO- KOSMOS	11	6×10^{51}	Planeta (Ziemia)				
		Piony:	A. Geologiczny (chaos, przypadek)	B. Biotyczny (organizacja, celowość)			
			Piony II rzędu: 1. Naturalny				
				Ω			
				2. Sztuczny			
			Piony III rz.:	a) społeczny	b) komunalny	c) techniczny	
	10	$4 \times 10^{38*}$	GEOSFERA	BIOSFERA ↗	NOOSFERA ↗	ERGOSFERA ↗	TECHNOSFERA ↗
	9		Kontynent, ocean	Biocenoza kontynentalna ↗	Wspólnota kontynentalna ↗	Kontynent zorganizowany ↗	Przemysł kontynentalny ↗
	8	$2 \times 10^{36*}$	Kraina, morze	Biocenoza krajinna ↗	Naród ↗	Państwo ↗	Przemysł państwowy ↗
	7	$5 \times 10^{29*}$	Góra, rzeka	Populacja ↗	Spółeczność ↗	Osiedle, wieś ↗	Fabryka, spółdzielnia ↗
	6	$1 \times 10^{28*}$	Skała, strumyk	Grupa, stado ↗	Rodzina ↗	Dom rodzinny ↗	Warsztat, farma ↗
5	$1 \times 15^*$	Kamień, źródło	Osobnik ↗			Ludzie	
4		Ziarno piasku, kropla wody	Komórka ↗ A				
I. MIKRO- KOSMOS	3	2×10	Drobina chemiczna				
	2	1×10	Atom				
	1	1	Cząstka elementarna				

Ryc. 1. HIERARCHIA I ZMIENNOŚĆ UKŁADÓW WSZECHŚWIATA

* Liczba nukleonów odnośnie pionu biotycznego — społecznego (noosfera... osobnik, komórka)

↑ — Wzrost masy i złożoności układów; wzrost uporządkowania statycznego

↓ — Wzrost uporządkowania dynamicznego (rotacja cykliczna)

↗ — Ewolucja — wzrost stopnia uorganizowania (układy naturalne) lub zorganizowania (układy sztuczne)

Można by tak sparafrazować znane zdanie Arystotelesa o poruszaniu się: „Cokolwiek organizuje się, organizuje się dla jakiegoś celu”.

Czymże bowiem jest organizowanie? Jest to „zespalanie w całość (układ) różnorodnych strukturalnie i funkcjonalnie elementów (podukładów) współdziałających w sposób skoordynowany, harmonijny i ekonomiczny dla osiągnięcia zaplanowanych celów” (T. Rylska 1974, 59).

Jeżeli układ jest organizowany przez człowieka (układ biotyczny sztuczny), cel jego jest znany jedynie ludziom; natomiast sposób działania, program musi być „znany” podukładom — elementom (czy to będą ludzie, czy maszyny). Informację o sposobach działania sztucznego układu konstruktor „wkłada” w części budowanego układu (np. kółka w zegarku są tak uformowane, żeby każde z nich pełniło określoną rolę w całościowym mechanizmie).

W przypadku organizowania się ludzi zarówno sposoby działania, jak cel stowarzyszenia są znane zazwyczaj wszystkim członkom. Jeżeli czasami cele są ukryte przed pewnymi członkami społeczności, to z pewnością są one w pełni znane inicjatorowi jak i kierownikowi. Społeczność taka jednak nie jest „zdrowa” i może działać na szkodę niektórych swoich członków.

W układach biotycznych naturalnych informacja o celu jest zakodowana w ośrodku informacyjno-sterowniczym, a więc w jądrze komórki, zaś u kręgowców w mózgu, w ośrodku układu nerwowego.

1.3.2. INFORMACJA O CELU W OŚRODKU UKŁADU

Trzeba zaznaczyć, że w żywym układzie nie zdarza się, żeby któryś z podukładów (element) nie był poinformowany o całości układu (o jego celach i sposobach życia). Pełna informacja o indywidualnym organizmie jest zawarta w każdej komórce organizmu, pełna informacja o biocenozie jest zawarta we wszystkich żyjących przedstawicielach (osobnikach) wszystkich populacji wchodzących w jej skład. Miejscem zakodowania tej informacji jest znowu jądro komórkowe. Analogicznie można powiedzieć o informacji w biosferze.

Doszliśmy w ten sposób do ciekawego wniosku, że w jądrze komórkowym znajduje się pełna informacja o życiu w ogóle: o sposobach organizowania się komórki, osobnika, populacji, biocenozy i całej biosfery. Trzon substancji dziedzicznej komórki stanowi zespół genów podstawowych, które można by nazwać

„geny życia”¹⁶, (liczba ich jest rzędu kilkuset). Niosą one tę część informacji o życiu, która jest wspólna wszystkim gatunkom. Prawdopodobnie wśród genów życia znajdują się geny ewolucji; warunkowałyby one pojawienie się co pewien czas makromutacji (jednorazowe przeorganizowanie substancji dziedzicznej — powstanie nowego gatunku). Jeżeli by wielka mutacja szła w kierunku postępowym (np. przez dodania nowych genów, lub dodanie nowego piętra w hierarchicznej ich strukturze), to mielibyśmy do czynienia z ewolucją pionową — powstałby gatunek o wyższym stopniu uorganizowania. Jeżeli zaś mutacja ogranicza się do przemieszczenia, przeorganizowania istniejących genów, byłby to akt ewolucji poziomej — nowy gatunek pozostałby na tym samym stopniu uorganizowania, na jakim jest uplasowany gatunek macierzysty. Ewolucja pozioma dawałaby różnorodność gatunków tego samego rodzaju, rodzajów tej samej rodziny itd.

Jeżeli fakty potwierdzą taki właśnie dwukierunkowy przebieg ewolucji, trzeba by na nowo przeanalizować zagadnienie celowości jej procesów.

Pozostawmy na razie to zagadnienie otwarte i zajmijmy się zgromadzeniem faktów mówiących o celowości układu komórkowego.

2. CELOWOŚCIOWE UORGANIZOWANIE KOMÓRKI

Układ komórkowy jest tak bardzo złożony, że ujęcie całości jego organizacji musiałoby mieć znacznie większe rozmiary, niż są dopuszczalne dla artykułu. Wobec tego podamy organizację komórki jako takiej tylko w zarysie, a zatrzymamy się dłużej na uorganizowaniu jądra, które uważa się za najważniejszy i najbardziej skomplikowany podukład orgu¹⁷ komórkowego.

2.1. WSTĘPNE WIADOMOŚCI O KOMÓRCIE

2.1.1. OKREŚLENIE KOMÓRKI

Komórka jest najmniejszym układem żywym¹⁸, elementarnym orgiem, jednostką strukturalną, funkcjonalną i cybernetyczną organizmu. Układ ten jest złożony z wielu różnorodnych

¹⁶ Geny życia — termin autorki; Grassé nazywa je archeogenami.

¹⁷ Org — skrót wyrażenia: układ zorganizowany (R. W. Gerard).

¹⁸ Odnosi się do niej wszystko, co powiedziano o żywym układzie w podanym wyżej określeniu życia.

i nie przypadkowych elementów (podukładów) a przy tym stanowi integralną całość.

Pojedyncza komórka — zygota (zapłodnione jajo) daje początek organizmowi¹⁹. Można powiedzieć, że w komórce jest ukryty potencjalnie cały organizm; jest w niej pełna informacja o całości wielokomórkowego, wysoce złożonego układu. Liczba komórek w organizmie człowieka jest cyfrą astronomiczną — rzędu 10^{14} .

2.1.2. ZASADY I ROZMIARY KOMÓREK

Układ komórkowy zależy od swej funkcji i od swego położenia w organizmie przybiera najrozmaitsze kształty. Najczęściej spotykany jest u zwierząt kształt kulisty lub jajowaty, u roślin forma sześcianu lub prostopadłościanu wydłużonego; obok tego spotykamy komórki — wrzeciona, dyski, gwiazdy itd.; często mają one dłuższe lub krótsze wypustki, kosmki, włókniki itp.

W różnych tkankach komórki osiągają bardzo rozmaite rozmiary. Za przeciętną wielkość dojrzałej komórki zwierzęcej uważa się $25 \mu \times 50 \mu \times 50 \mu$, roślinnej $40 \mu \times 40 \mu \times 50 \mu$; najmniejsze komórki zwierzęce mające średnicę 4μ , największe do kilku cm (żółtko strusiego jaja) a długość nawet do 1 m (neuron ssaka z aksonem), najmniejsze roślinne mają średnicę rzędu kilku μ , największe do 0,5 mm — ogromne komórki miększu niektórych owoców. Komórki bakteryjne są nieporównanie mniejsze; rozmiary ich są rzędu $0,5 \mu$ do 5μ a najdrobniejsze mają średnicę $0,15 \mu$ (160 mm) (*Mycoplasmatales*).

Normalna komórka roślinna albo zwierzęca jest układem niezmiernie małym. Jedną z zasad życia jest miniaturyzacja — rozmieszczenie na niewielkiej przestrzeni ogromnej liczby różnych struktur, urządzeń, makrocząsteczek. W prostej komórce bakteryjnej o objętości $2\text{--}3 \mu^3$ (*Bacillus pycnoticus*) obliczono złożoność organizacji strukturalnej na 10^{13} bitów (H. Linschiz 1953, 256). Jest to zawrotna cyfra informacji w stosunku do zajmowanej przestrzeni. Urządzenia komunikacyjne podobnego typu jak w komórce budowane przez człowieka mają rozmiary przerastające powyższe o kilka rzędów wielkości; odnosi się to

¹⁹ W niektórych tylko wypadkach, np. przy rozmnażaniu wegetatywnym organizm rozwija się z wielokomórkowej części organizmu macierzystego (np. z ząbka czosnku wyrasta cała roślina); pełna informacja o życiu osobnika danego gatunku jest zawarte w jądrze każdej z komórek rozmnożki.

nawet do aparatów miniaturyzowanych, np. budowanych przy użyciu najmniejszych tranzystorów.

2.1.3. MORFOLOGIA KOMÓRKI

Komórka to „grudka plazmy z jądrem” — protoplast. Głównymi jej składnikami są: jądro, cytoplazma i błona komórkowa. Na cytoplazmę składają się: matriks cytoplazmatyczna i umieszczone w niej organelle. Sama matriks ma bogatą strukturę; wyróżniamy w niej siateczkę endoplazmatyczną (reticulum) szorstką i gładką, mikrotubule i mikrofibryle²⁰. W komórkach Eucaryota znajdują się następujące organelle: rybosomy, mitochondria, centriole, aparat Golgi'ego, lizosomy, peroksyzomy; u roślin poza tym plastydy (ryc. 2 A i 2 B).

Poza wymienionymi, spotyka się w komórkach różnych tkanek szereg innych organelli (rzęski, plamka oczna itd).

Strukturę jądra, matriks cytoplazmatycznej oraz organelli przedstawi się kolejno w związku z ich funkcjami — celowym działaniem.

2.1.4. POCZĄTEK I KRES ŻYCIA KOMÓRKI

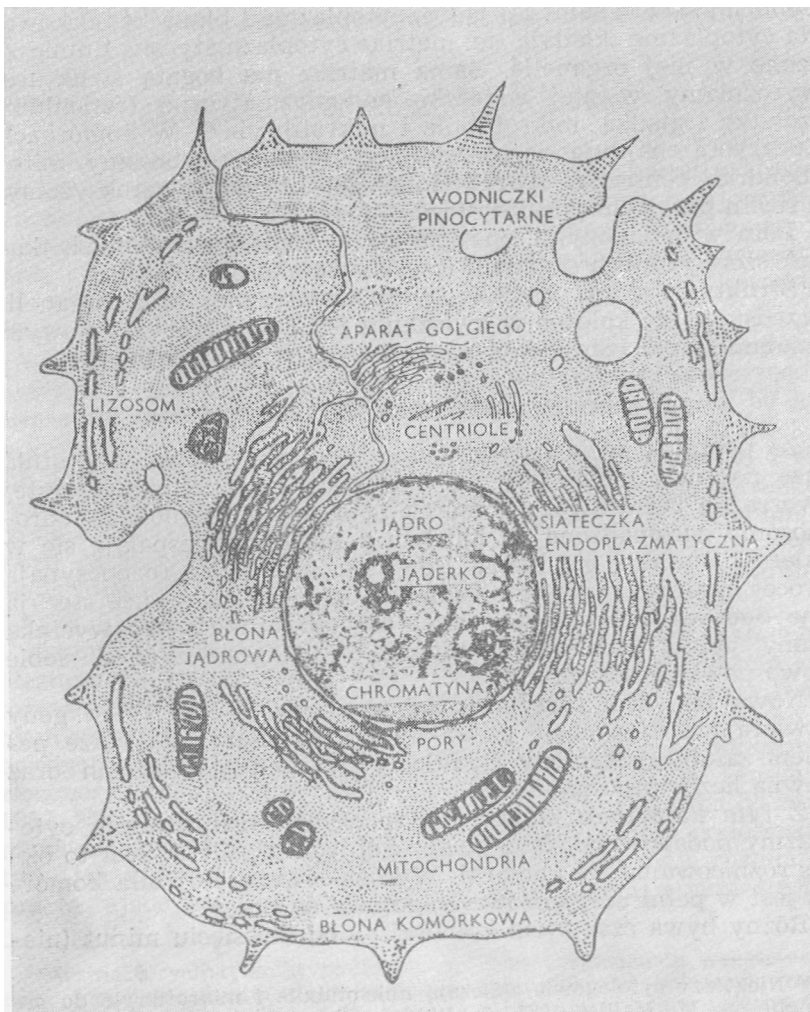
Za początek życia indywidualnej komórki uważamy ostatnią fazę podziału jądra, gdy na biegunach komórki macierzystej tworzą się jądra dwóch komórek potomnych. Mianowicie chromosomy zgromadzone na każdym z biegunów zespala się w całość i otaczają się błoną. Powstałe dwa jądra rozpoczynają proces organizowania cytoplazmy; w pierwszym rzędzie sterują one budową błony komórkowej (ściślej: brakującego wycinka błony jednej i drugiej komórki), aby odgraniczyć od siebie nowo powstałe komórki.

Nowa komórka otrzymuje od macierzystej nie tylko geny zawierające informację gatunkową i osobniczą, ale także pewien zasób materiałów budulcowych i energetycznych oraz pewną liczbę proorganelli.

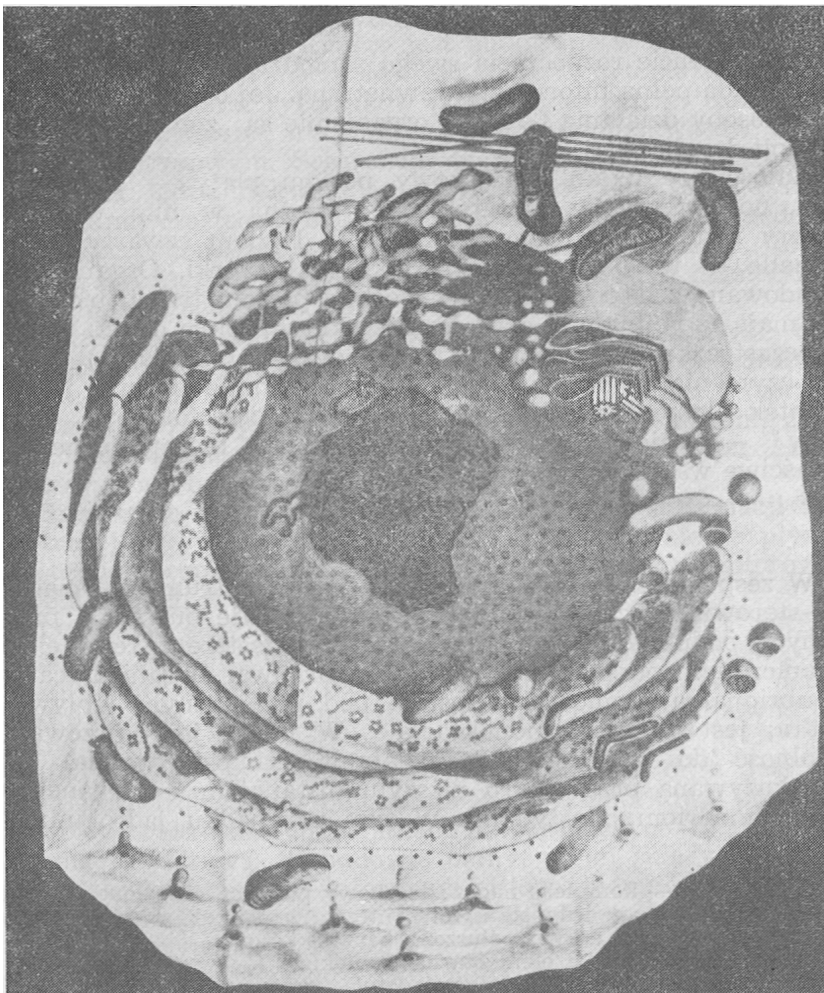
Z tym kapitałem komórka rozpoczyna organizowanie cytoplazmy podstawowej oraz poszczególnych organelli. Jest to okres różnicowania się komórki. Wyróżnicowana, dojrzała komórka jest w pełni uorganizowana, gotowa do pracy.

Różny bywa czas życia komórki — od dziesięciu minut (nie-

²⁰ Niektórzy cytologowie zaliczają mikrotubule i mikrofibryle do organelli np. M. Maillet 1977, 4). Wydaje się słuszniejsze jednak organellami nazywać całościowe podukłady komórki, posiadające określone kształty i granice.



Ryc. 2A. Schemat budowy komórki zwierzęcej (wg Markowa)



Ryc. 2B. Schemat plastyczny komórki zwierzęcej (wg Markowa)

które bakterie w warunkach optymalnych) do stu kilkudziesięciu lat (komórki nerwowe ssaków). Kresem życia komórki jest albo śmierć (ustanie procesów organizowania się na skutek starości lub przypadku) albo podział komórki. Komórka dzieląca się — macierzysta — nie traci życia, lecz przekazuje je dwóm komórkom potomnym; sama przestaje istnieć jako układ.

2.1.5. ZARYS UORGANIZOWANIA KOMÓRKI

W momencie rozpoczęcia swego samodzielnego życia komórka posiada pełną informację wewnętrzną. Jej ostateczny kształt, jej sposoby działania i rola w organizmie są „zapisane” w substancji dziedzicznej.

Całościowy układ komórkowy poziom piąty — najwyższy jest uorganizowany hierarchicznie; można w nim wyróżnić cztery instancje (poziomy złożoności). Poziom czwarty to organelle — wysoko złożone podukłady komórki. Organelle są zbudowane z biotektonów²¹ — jest to poziom trzeci; biotektony mają za podukłady makrocząsteczki — poziom drugi. W makrocząsteczkach (np. kwasu nukleinowego, lub białka) mamy do czynienia z uorganizowaniem na poziomie drobin, jonów, cząstek elementarnych, kwantów (najczęściej fotonów), fononów²² — poziom pierwszy. Uorganizowanie hierarchiczne jest właściwe wszelkim żywym układom.

2.1.5.1. Poziom komórkowy

W zespole genów w jądrze upatrujemy centrum informacyjno-sterownicze całości komórki. Jądro steruje budową i pracą innych podukładów w podległej sobie przestrzeni, terenie odgraniczonym od otoczenia błoną komórkową. Organizująca się (embrionalna) komórka pozostaje pod przemożnym wpływem jądra; jest to ścisła monokracja²³. W miarę jej dojrzewania zdolność do samodzielnego działania (samosterowania) jest przekazywana przez jądro niższym instancjom — organeliom (mitochondriom, plastydom). W tym przypadku jądro udziela

²¹ Biotekton — kompleks nadcząsteczkowy pełniący określoną funkcję, np. kwantosom — jednostka fotosyntezy, w której skład wchodzi białka strukturalne, enzymy, tłuszcze, barwniki itp.

²² Fonon — jednostka elementarna dźwięku.

²³ Monokracja — ustrój jednowładztwa; przeciwieństwem jest polikracja czyli ustrój demokratyczny, gdzie władza jest rozłożona na wielu.

na stałe części swojej informacji budowanym strukturom. Po okresie ścisłej centralizacji władzy następuje decentralizacja. Realizowana tu decentralizacja jest jedną z zasad dobrej organizacji: tworzenie niższych instancji i usamodzielnianie ich, gdy tylko są do tego przygotowane.

Początkowe działanie komórki to organizowanie się wewnętrzne na wszystkich poziomach — budowanie makrocząsteczek, biotektonów i organelli. Wszystkie struktury mają podłoże białkowe, stąd pierwsze akty sterowania jądrowego odnoszą się do syntezy białka. Białko jest budowane w specjalnych organellach — rybosomach. Jest ich wiele w cytoplazmie i w jądrze. Podjednostki rybosomów powstają w jądrze. Każde białko jest specyficzne, ma inną sekwencję aminokwasów w łańcuchu peptydowym. Sekwencja ta jest dyktowana każdorazowo przez jądro. Sekwencja aminokwasów determinuje strukturę danej cząsteczki białka od pierwszo- do czwartorzędowej, własności chemiczne i fizyczne, specyfikę działania (funkcję enzymatyczną) oraz sposób łączenia się z innymi cząsteczkami w struktury nadcząsteczkowe — biotektony.

Wszelkie struktury cytoplazmatyczne mają zapewne urządzenie do przyjmowania informacji płynących od jądra, jednocześnie powinny by przekazywać do jądra raporty (sprzężenie zwrotne) o wykonaniu zleconych im zadań. Mechanizm jednego i drugiego przekazu nie jest nam znany. Przypuszcza się raczej drogę fizyczną niż chemiczną.

Sprzężenie zwrotne, to jeden ze strumieni informacji zewnętrznej przyjmowanej przez jądro, inne strumienie płyną z otoczenia bezpośrednio albo za pośrednictwem receptorów umieszczonych w błonie komórkowej.

Opierając się na pełnej informacji wewnętrznej i jak najszerszej zewnętrznej jądro (odpowiednie geny) może podjąć prawidłową decyzję o dalszym działaniu. W rezultacie decyzji jądro nadaje impulsy uczynniające albo hamujące pewne procesy.

Jednym z warunków sprawnego działania orgu jest jego względna izolacja od otoczenia. Błona komórkowa pełni rolę granicy o określonych wejściach i wyjściach — zgodnie z informacją jądrową. W budowie błony, w jej składzie chemicznym tkwi duża ilość informacji. Błona bierze czynny udział w transporcie materio-energii, działa w sposób aktywny, wybiórczy, zużywając przy tym energię ATP.

Gatunkowa informacja wewnętrzna dotyczy m.in. doboru materiałów nadających się na budulec struktur komórkowych. Zasadą ekonomiki jest, żeby surowce były tanie (łatwo dostep-

ne), lekkie, wytrzymałe (nie rozkładające się np. pod wpływem światła) itd.

Z takich materiałów komórka buduje niewiele tylko rodzajów elementów — monomerów (zgodnie z zasadą standaryzacji), z których składa (według paru ogólnych schematów) ogromną liczbę polimerów różniących się tylko w szczegółach swej struktury, ale za to zasadniczo różnych w działaniu.

Poszczególne biotektony, enzymy itd. wymagają różnych warunków środowiska (pH, stężenie soli mineralnych itp); można powiedzieć, że wymagają specjalnych pomieszczeń (kompartymentyzacji). Na tę potrzebę odpowiada jądro, sterując tworzeniem w cytoplazmie osobnych kompartmentów (kanalików wodniczków, cystern, przedziałów w siateczce endoplazmatycznej itp). Dzięki temu, w tej samej komórce można działać jednocześnie wiele różnych urządzeń, wiele enzymów, każdy o innych wymaganiach.

Inną sprawą niezmiernie wagi dla organizacji komórki jest sposób zaopatrywania jej w energię użyteczną. Komórka pobiera energię w różnej formie, tymczasem do wykonywania różnych prac w komórce potrzebna jest z reguły energia użyteczna w postaci ATP²⁴. Wobec tego cytoplazma pod kontrolą jądra buduje urządzenia do transformowania energii chemicznej lub promienistej na energię magazynowaną i przenoszoną w ATP. ATP ładowane jest energią (powstaje) w mitochondrium na koszt energii zwykłych wiązań chemicznych; energii wyzwalającej się przy spalaniu różnych substancyj (np. glikozy). Wydajność energetyczna (mierzona liczbą utworzonych cząsteczek ATP na koszt utlenienia jednej gramcząsteczki glukozy (spalenia węgla w mitochondrium) wynosi ok. 66% (Lehninger). Skuteczność i ekonomiczność tego rodzaju urządzeń jest godna podziwu.

Prace komórki są z reguły związane z tworzeniem jakiegoś porządku statycznego lub dynamicznego. Procesy budowy, przetwarzania energii chemicznej na wyższe formy, (mechaniczną, elektryczną, świetlną itd), utrzymywanie wszelkiego typu potencjałów — to zorganizowane działania negentropijne.

2.1.5.2. Poziom organelli

Mitochondrium, rybosom, chloroplast i inne organelle zbudowane są z podukładów — biotektonów, które są jednostka-

²⁴ ATP — adenozynotrójfosforan jest to substancja zawierająca duży ładunek energii rzędu 10 Kcal/mol, czyli kwanty o mocy 0,43 eV, a więc niesie ok. 10 × więcej energii, niż kwant energii cieplnej — wibracyjnej.

mi struktury i funkcji. Organella stwarza warunki dla sprawnego działania tych kompleksów, uaktywnia je lub przyhamowuje, zależnie od nakazów przychodzących z jądra, lub pod wpływem bezpośrednich impulsów z otoczenia. Budowa i rozkład biotektonów może się odbywać tylko wewnątrz organelli.

2.1.5.3. Poziom biotektonów

Kompleks nadcząsteczkowy skupia pewną liczbę makrocząsteczek, które wbudowane weń tracą swą swobodę. Umożliwia to dokonywanie różnych złożonych procesów. Substancja jakaś (np. substrat oddechowy — glikoza) poddana działaniu odpowiedniego biotektonu w mitochondrium jest „obrabiana” w określonej kolejności przez kilka lub kilkanaście enzymów aż do zaprogramowanego końca. Jest to urządzenie „taśmowe”.

2.1.5.4. Poziom makrocząsteczek

Makrocząsteczka to polimer złożony z wielu monomerów. W skład protoplazmy wchodzi kilka polimerów: kwasy nukleinowe, białka, lipidy, barwniki, wielocukry. Są one długimi łańcuchami podobnych do siebie elementów. Właściwości chemiczne i fizyczne makrocząsteczki zależą od następstwa monomerów — następstwa zakodowanego (dla każdego rodzaju danej substancji) w DNA jądrowym. Na przykład dla określonego białka — albuminy krwi — zapis leży w genie, który posiada właściwy wzorzec. Monomery w czasie życia komórki „z używają się” i są wymieniane na nowe; przy tym struktura cząsteczki pozostaje nienaruszona (naprawianie „w biegu”).

2.1.5.5. Poziom drobin, rodników, atomów i cząstek elementarnych

Dopiero w ostatnich dziesiątkach lat zdano sobie sprawę z tego, że uorganizowane procesy życia sięgają poziomu submolekularnego (A. Szent-Györgyi 1968). Makrocząsteczka wchodzi w związki z drobinami (np. tworzenie się płaszczyk wodnych dokoła cząsteczek białka), z atomami (np. barwnik hemoglobiny krwi wiąże atom miedzi, chlorofil — atom magnezu itd.). Atomy metali warunkują czynność fizjologiczną makrocząsteczki. Idąc dalej w dół stwierdza się, że własności fizyczne i chemiczne makrocząsteczki zależą od umiejscowienia w niej atomów, rodników, elektronów itd. Chodzi tu zwłaszcza o prawdopodobieństwo zagęszczenia elektronów w ich „chmurce” dokoła cząsteczkowej lub innym atomie cząsteczki.

Już na poziomie cząstek elementarnych wszelkie ruchy, przesunięcia, zmiany nie są przypadkowe, tylko najściślej sterowane. Na przykład barwa substancji zależy od tego, jakiej długości fali światło jest przez nią pochłaniane, czyli jakie kwanty promieniowania elektromagnetycznego zdolne są przesunąć elektron z cząsteczkowego poziomu podstawowego do pierwszego wzbudzonego (z najwyższego poziomu zapełnionego — walencyjnego na pierwszy poziom pusty — wzbudzony). Zdolność cząsteczki do wzbudzenia zależy od struktury cząsteczki, od sekwencji w niej monomerów.

Przyjmowanie, transformacja i przekaz informacji i energii z wyjątkiem przekazu chemicznego odbywa się na poziomie cząstek elementarnych. Mechanizm tych procesów jest przedmiotem badań współczesnej biofizyki z jej poddziałami, jak: bioelektronika, fotobiologia, bioenergetyka itd. Biofizyka spodziewa się wielu wyjaśnień w związku z rozwojem fizyki ciała stałego (zjawiska elektryczne, półprzewodnictwo, stany magnetyczne, piezoelektryczne itd.). W protoplazmie wszelkie zmiany na poziomie najniższym są sterowane tak jak w kryształach znajdującym się pod działaniem pola elektrycznego, magnetycznego, elektro-magnetycznego, akustycznego, grawitacyjnego itd. Kwanty energii, fotony, fonony mają swe przebiegi ustalone w strukturach protoplazmy.

2.1.6. EWOLUCJA ORGANIZACJI KOMÓRKI

Istnieje wiele gatunków, gdzie pojedyncze komórki są całym organizmem; nazywamy je jednokomórkowcami w przeciwstawieniu do później powstałych ewolucyjnie wielokomórkowców. Wśród jednokomórkowych jedne (zapewne bardzo pierwotne) mają stosunkowo prostą organizację; ich jądro — substancja dziedziczna stanowi jedną podwójną wstęgę DNA zwinętą w pierścień. To prymitywne jądro nie ma postaci obłonionego pęcherzyka i nie posiada jąderka; zostało ono poznane dopiero niedawno. Ten typ organizmów nazywamy Prokaryota — nie posiadające obłonionego jądra (dawniej „bezzjadrowe”). Do Prokaryota należą bakterie, sinice i wirusy²⁵. Istotom tym, oprócz błony jądrowej brak jest szeregu organelli

²⁵ Obecnie zapewne większość biologów uważa wirusy za żywe istoty; jeżeli przyjmiemy za kryterium życia zdolność do organizowania się, to nie trudno kwestię życia wirusów rozstrzygnąć, ich działalność wyraża się właśnie w tym jednym — w pomnażaniu siebie samych — w organizowaniu według własnego wzoru materiałów znajdujących w komórce gospodarza.

komórkowych, m.in. mitochondrii. Ważny proces energetyczny — oddychanie odbywa się w t.zw. mezosomach — wpukleniach błony komórkowej. Organizacja komórki u Prokaryota jest na stosunkowo niskim poziomie.

Wraz z ewolucją organizmów (postępem w ich uorganizowaniu osobniczym) postępowała ewolucja komórki. Jeszcze na etapie jednokomórkowców komórka zyskała obłonione jądro, jąderko i mitochondria. Powstały pierwsze, prymitywne Eukaryota (organizmy, posiadające obłonione jądro), jak grzyby, zielenice, pierwotniaki.

Wielokomórkowce składają się z wysoko uorganizowanych — eukariotycznych komórek.

W stosunku do wielkiego skoku w organizacji komórki, jaki miał miejsce przy przejściu od Prokaryota do Eukaryota, cała dalsza ewolucja na poziomie komórkowym wydaje się niewielka. Dotyczy ona z jednej strony coraz lepszej organizacji samego podłoża — cytoplazmy (zwłaszcza przy różnicowaniu się, specjalizacji komórek w tkankach jak np. tworzenie skomplikowanego aparatu sarkoplazmy w komórkach mięśnia), z drugiej — doskonalszych rozwiązań w budowie poszczególnych organelli (np. ewolucja chloroplastu).

Wzrostowi stopnia uorganizowania komórki towarzyszy zwiększanie się jej wymagań od środowiska; komórka wyspecjalizowana potrzebuje bardziej ustalonych warunków, a więc określonych materiałów odżywczych, dostatku wody, określonego poziomu tlenu, odpowiedniej, stałej kwasowości, optymalnej temperatury itd. Takie warunki może znaleźć komórka jedynie w organizmie zwierzęcia stałocieplnego, gdzie środowisko dla komórek stanowią płynny ustrojowe o bardzo stałych właściwościach: krew i limfa.

2.2. CELE ŻYCIA KOMÓRKI

2.2.1. CEL WEWNĘTRZNY I ZEWNĘTRZNY

Układy żywe są ukierunkowane celowo. Przejawia się to zarówno w ich budowie (w statyce) jak i w działaniu (w dynamice.)

Cele układu są dwójakiego rodzaju: wewnętrzne i zewnętrzne. Celowi wewnętrznemu odpowiada słowo angielskie purpose, zewnętrznemu — goal (J. G. Miller 1971, 71).

Celem wewnętrznym komórki („purpose”) jest podtrzymywanie życia — stanu uorganizowania i negentropii. Komórka realizuje ten cel przez pobieranie pokarmów, przerabianie ich,

pochłanianie energii i jej transformowanie, utrzymywanie homeostazy, naprawianie i odnawianie niezbędnych struktur (rybosomów, mitochondrii, siateczki endoplazmatycznej itd.).

Cel wewnętrzny jest jednakowy dla wszystkich komórek a jego realizacja jest warunkiem ich życia. Ustanie negentropijnych procesów organizowania się jest jednoznaczne ze śmiercią komórki.

Inaczej jest z celem zewnętrznym; celów tych jest tak dużo, jak wiele jest różnych tkanek w organizmie. Celem takim może być i rozmnażanie — podział komórki (w tkance embrionalnej), wytwarzanie jakiejś substancji odżywczej (np. skrobi w miększu zieleniowym liścia) lub regulującej (np. insuliny w trzustce) jak i pochłonięcie bakterii chorobotwórczej (przez fagocyt, leukocyt) itd.

Zazwyczaj cel wewnętrzny jest postawiony przed komórką zaraz po podziale. Wtedy bowiem zapada decyzja, jakie zadania w organizmie będą dane komórce powierzone. Zależy to w pierwszym rzędzie od miejsca w zarodku, w jakim się znajduje nowonarodzona komórka. Wtedy jądro młodej komórki odbiera informację z zewnątrz (zapewne od starszych komórek już uprzednio poinformowanych) o zadaniach, do jakich jest przeznaczona. W ten sposób ustala się cel życia (zewnętrzny) danej komórki. Zewnętrzny impuls aktywizuje te geny, które przekażą cytoplazmie informację, jakie mianowicie struktury mają się w niej wykształcić. W przypadku komórki mięśnia będzie to skomplikowany układ sarkoplazmy²⁶; w razie komórki nerwowej — układ wypustek (akson i dendryty); w komórkach miększu liścia — precyzyjnie zbudowane chloroplasty itd.

W gatunkowej substancji dziedzicznej zawartej w jądrze każdej komórki jest zapisana szczegółowa informacja o sposobach realizacji wszelkich możliwych dla komórek danego gatunku celów zewnętrznych.

Konkretny cel wyspecjalizowanej komórki może być w trakcie jej życia anulowany i podstawiony przez inny. Najczęściej dzieje się to na skutek jakiegoś wypadku. Np. zranienie liścia powoduje przestawienie się (zmianę celu) szeregu komórek miększu zieleniowego (leżących w sąsiedztwie rany) na elementy tkanki twórczej (tzw. kallus); te szybko się mnożą i zasklepiają ranę.

²⁶ Sarkoplazma — cytoplazma komórek włókien mięsnych, w której makrocząsteczki białka (aktyna i miozyna) oraz ATP tworzą niezwykle uporządkowany układ warunkujący sprawne i szybkie kurczenie się włókna.

Każda komórka jest od swej dojrzałości gotowa do realizacji nałożonego jej zadania, ale to nie znaczy, żeby od tej pory stale pracowała. Bywają dłuższe lub krótsze okresy „prze-stojów”, kiedy komórka czeka w pogotowiu. Aktywizacja jej następuje każdorazowo na skutek impulsu z zewnątrz. Impuls ten może być fizyczny (np. światło czyni aparat fotosyntezy w chloropląście) lub chemiczny (np. nadmiar glikozy w krwi jest impulsem dla aparatu produkującego insulinę w komórce trzustki).

Obecnie człowiek jest w stanie sztucznie zmieniać cel zewnętrzny dla dowolnej komórki przez wszczepienie jej odpowiedniego genu (DNA) z innego gatunku. Komórka bakterii pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*) po wszczepieniu jej genu syntezy insuliny (wyizolowanego z genu komórki trzustki) zaczyna syntetyzować insulinę — enzym, którego nigdy nie wytwarzała²⁷.

Podstawą specyficznego działania komórki jest sprawnie przebiegający w niej proces życia (realizacja celu wewnętrznego).

2.2.2. INFORMACJA WEWNĘTRZNA O CELACH KOMÓRKI

Wiemy już, że informacja o celach komórki jest zapisana w substancji dziedzicznej — w genach — w jądrze komórki. Komórka dziedziczy ją wraz z życiem. Powiedziano wyżej, że celem wewnętrznym każdej komórki jest podtrzymywanie własnego życia. Informacja o tym celu musi być tak złożona, jak złożony jest proces życia komórki. Najgłębszy trzon substancji dziedzicznej to zespół genów „życia”; te geny są przekazywane nie zmienione z komórki do komórki przy każdym podziale komórkowym, odkąd zaistniała pierwsza żywa istota.

Komórka poza podstawową informacją „jak żyć” posiada bogatą informację o wszelkich, możliwych u danego osobnika celach zewnętrznych. Geny gatunkowe niosą więc informacje o różnorodnych kształtach, rozmiarach, o czasie życia komórek różnych tkanek, o uorganizowaniu wewnętrznym (o strukturach i funkcjach) i o działaniu, pracach wykonywanych przez różne tkanki, organy, narządy. W gatunkowej substancji dziedzicznej znajduje się, jak widzimy, wiele planów życia i działania różnych komórek.

²⁷ Wykonanie techniczne tego typu zabiegu jest bardzo skomplikowane i żmudne, jak cała inżynieria genetyczna. Istnieją jednak poważne nadzieje, że niedługo będzie w handlu insulina syntetyzowana przez bakterie.

Zazwyczaj tylko jeden z tych planów, jak mówiliśmy, jest przez komórkę realizowany, inne są tylko w potencji. Pełne poinformowanie komórki o całości organizmu zapewne służy sprawniejszemu wykonaniu przydzielonego jej zadania.

2.3. CELOWOŚCIOWE UORGANIZOWANIE JĄDRA

Im jest bardziej złożona struktura organelli, tym skuteczniejsze jej działanie, tym szybciej i sprawniej osiąga ona swe cele. Znajomość celu, jaki życie stawia przed jądrem komórkowym pomoże do rozszyfrowania jego złożonej, pięciopoziomowej organizacji.

2.3.1. ROLA STEROWNICZA JĄDRA W KOMÓRCIE

Już Robert Brown (który opisał jądro jako stały element komórki skórki storczyka i trzykrotki w roku 1833), gdy zapoznał się z pracami twórców teorii komórkowej (Schleiden i Schwann 1839), doszedł do wniosku, że jądro jest stałym i bardzo ważnym elementem komórki.

Potwierdzeniem przypuszczeń Browna było odkrycie przebiegu podziału jądra (kariokineza) w latach siedemdziesiątych²⁸.

W chromosomach, które wylaniają się z jądra w pierwszej fazie podziału umiejscowiono już u schyłku XIX wieku hipotetyczną substancję dziedziczną.

W drugiej połowie XIX wieku rozpoczęto doświadczenia mikrokirurgiczne nad rolą jądra w komórce. Dzielono pierwotniaka (amebę) oraz jednokomórkową zieleńcę na część z jądrem i bez jądra. Część z jądrem zazwyczaj odtwarzała (regenerowała) pełny organizm i normalnie się dzieliła, druga po krótszym lub dłuższym czasie ginęła. Nigdy nie zaobserwowano podziału komórki pozbawionej jądra.

W latach trzydziestych naszego stulecia badania nad rolą jądra podjął J. Hämmerling i jego uczniowie. Za obiekt doświadczalny służyły im różne gatunki zieleńcy — *Acetabularia*.

Jeżeli młodą roślinkę przetniemy poprzecznie na część ryzoidową z jądrem i trzonek bez jądra, to z pierwszej regeneruje trzonek i wyrasta na nim kapelusz. Bezjądrowy trzonek wegetuje jakiś czas i ginie.

²⁸ Kariokinezę u zwierząt opisał po raz pierwszy polski lekarz Wacław Mayzel w Gazecie Lekarskiej w 1874 r., u roślin polski botanik Edward Strasburger w 1878 r.

Rozmiary roślinki i kształty „kapelusza” są cechami gatunkowymi. Hämmerling stosując szczepienie trzonka (części bezjądrowej) jednego gatunku na podstawę z ryzoidami (część z jądrem) drugiego gatunku stwierdził, że kształt „kapelusza” jest indukowany przez jądro znajdujące się w dolnej części roślinki a nie przez cytoplazmę trzonka, z której bezpośrednio „kapelusze” wyrasta.

Z wyników wielokrotnie powtarzanych tego typu krzyżówek Hämmerling wysnuł wniosek, że jądro wytwarza substancje morfotyczne²⁹ (kształtotwórcze), czyli że jądro właśnie kieruje procesami budowy w komórce.

Mamy jeszcze inne dane świadczące o zaangażowaniu jądra w procesach życiowych. Na przykład fakt, że w komórkach skórki korzenia jądro znajduje się z reguły nie w środku komórki a przy końcu cieniutkiego włosnika. Wiemy, że cała działalność takiej komórki jest ześrodkowana na powierzchni chłonnej włosnika: tu się odbywa selektywne pobieranie wody, powietrza i soli mineralnych z roztworów glebowych, tu są wydzielane kwasy ułatwiające rozpuszczanie skalnego podłoża; to też jądro — centrum posiadające informację o potrzebach całości — ośrodek sterujący — lokuje się tam, gdzie praca jest szczególnie intensywna.

Podobne zjawisko obserwujemy, gdy zranimy liść np. trzykrotki. Po pewnym czasie (około 30 minut od zranienia) okazuje się, że jądra komórek sąsiadujących z komórkami uszkodzonymi przemieściły się i znajdują się przy ściankach najbliższych miejscu zranienia. Proces regeneracji, zablizniania rany wymaga wzbudzenia obfitej sekracji pewnych substancji (t. zw. przyranych) przez zdrowe, otaczające komórki. Jądra ich kierujące syntezą i transportem wytworzonych substancji umiejscawiają się tak, aby być blisko miejsca uszkodzonego.

Przytoczone przykłady wystarczają, żeby wnioskować, że jądro a nie cytoplazma steruje procesami komórkowymi.

2.3.2. DNA JĄDROWY — NOSICIEL INFORMACJI

Druga zasadnicza rola jądra — przenoszenie informacji gatunkowej z pokolenia na pokolenie komórek — stała się jasna, gdy w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku opisano podział jądra komórkowego.

Stwierdzono już wtedy, że podział komórki zaczyna się od podziału jądra. Jedynie chromosomy wyróżnione z jądra do-

²⁹ W pracy wykonanej wspólnie z T. Krzywacką (1960) zaproponowałam nazwę „morfogen” dla tego typu substancji.

prowadzają w procesie kariokinezy do bardzo równego rozdziału substancji chromatynowej do dwóch komórek potomnych.

Chemicy już wcześniej (Miescher 1869) wyizolowali z komórek substancję jądrową barwiącą się intensywnie barwnikami zasadowymi. Substancję tę nazwano „nukleiną”, a później „chromatyną”. W końcu XIX wieku wyodrębniono z komórek zwierzęcych i roślinnych oba kwasy nukleinowe: t.zw. tymonukleinowy czyli dezoksyrybonukleinowy — DNA i zymonukleinowy — rybonukleinowy — RNA. Stwierdzono następnie (Caspersson i Brachet) w latach czterdziestych naszego wieku, że oba kwasy nukleinowe są stałymi składnikami każdej komórki.

Równoległe badania biochemiczne wykazały, że głównym składnikiem jądra są nukleoproteidy — związki białka z kwasami nukleinowymi (Miescher 1869). Dopiero w roku 1939 Caspersson i Brachet niezależnie od siebie stwierdzili, że kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA) występuje tylko w jądrze, zaś rybonukleinowy (RNA) i w jądrze i w cytoplazmie.

Wykazano także, że chromosomy — nosiciele substancji dziedzicznej — są zbudowane głównie z dezoksyrybonukleoproteidów. Jeszcze nie było pewne, czy właściwą substancją dziedziczną jest białko czy DNA. Krzyżowe doświadczenia wykonał Avery ze współpracownikami w roku 1944. Wykazał on, że transformacja³⁰ u bakterii zachodzi tylko wtedy, gdy do komórki gatunku „X” wnika DNA z gatunku „Y”, a nie, gdy wprowadzi się odłączone od tegoż DNA białko.

Rozdziału kwasu nukleinowego i białka dokonano wkrótce potem u wirusów. Znowu okazało się (na drodze łączenia RNA i białka — różnych szczepów, a nawet różnych gatunków wirusów), że cechy dziedziczne są przenoszone przez kwas nukleinowy, a nie przez białko.

Obecnie nie ma żadnej wątpliwości, że powszechnym materiałem genetycznym jest DNA³¹. Badania poszły więc w kierunku rozszyfrowania budowy i własności tej substancji chemicznej oraz poznania jej rozmieszczenia i dynamiki w jądrze w okresie między podziałami, jak i w czasie podziału.

Gdy doszliśmy na podstawie badań morfologicznych, che-

³⁰ Transformacja — proces przemiany substancji dziedzicznej (wzbogacenie o nowy gen) na skutek wprowadzenia do komórki dezoksyrybonukleotydu (genu) pochodzącego z innego gatunku. Pierwsze transformacje u bakterii przeprowadził Griffith w 1928 r.

³¹ Wyjątek stanowi tylko nieliczna grupa wirusów roślinnych, u których informacja dziedziczna zawarta jest w RNA; wirusy te nie zawierają DNA.

micznych i genetycznych do wniosku, że DNA zawarte w jądrze jest odpowiedzialne za przechowywanie substancji dziedzicznej jak i za sterowanie procesami komórkowymi, możemy rozpatrzeć rolę jądra w świetle cybernetyki.

2.3.3. JĄDRO — SIEDLISKO INFORMACJI WEWNĘTRZNEJ

Rolę jądra w komórce można porównać do roli mózgu w organizmie człowieka. Podobnie bowiem jest to najważniejszy z podukładów, mający „władzę” nad całością.

Podstawą do sprawowania funkcji sterowniczych jądra jest posiadanie informacji wewnętrznej zakodowanej w jądrowej substancji dziedzicznej. Informacja ta dotyczy m.in. planu uorganizowania i sposobów życia danej komórki, organizmu, populacji, gatunku, nawet biocenozy i całej biosfery.

Jądrowa substancja dziedziczna jest zbiorem wzorców i praw, a jednocześnie jest obdarzona władzą do realizowania swych programów. Stąd jądro steruje (bezpośrednio albo pośrednio) innymi podukładami i całością procesów komórkowych.

Ustrój (org), w którym jeden z podukładów sprawuje władzę, jest nazywany układem monokratycznym; do tej kategorii układów można zaliczyć zarówno organizm z mózgiem, jak komórkę z jądrem.

Władza monokratyczna nie musi być scentralizowana³². Jeżeli chodzi o komórkę, to można zauważyć, że w miarę ewolucyjnego postępu w uorganizowaniu tego układu następuje decentralizacja: organelle uzyskują coraz większą samodzielność, rozwija się układ hormonalny sterujący szeregiem procesów itd. Sterowanie bezpośrednio ustępuje częściowo pośredniemu. Trzeba jednak pamiętać, że dotyczy to tylko bardzo ograniczonych terenów i funkcji, a w szczególności procesów zautomatyzowanych.

Procesy wzrostu, różnicowania się, rozmnażania, ruchu, transportu przez błonę, komunikacji międzykomórkowej podlegają z reguły bezpośrednio sterowaniu jądrowemu.

To prawda, że procesy te są stymulowane lub hamowane przez substancje wytwarzane w cytoplazmie komórki własnej (np. enzymy), lub innej (np. hormony). Jednak działanie tego typu substancji będzie efektywne tylko wtedy, gdy będzie ono przyjęte przez jądro jako informacja (zewnętrzna). W jądrze bowiem zapada decyzja o działaniu cytoplazmatycznego efektora.

³² System władzy jest nazywany centralistycznym, jeżeli wszelkie (nawet szczegółowe) decyzje należą do najwyższej instancji.

2.3.4. HIERARCHICZNA ORGANIZACJA JĄDRA

2.3.4.1. Organizacja jądra jako całości

Najwyższy stopień uorganizowania osiągnęło jądro u Eukaryota; wyraziło się to m.in. w utworzeniu błony jądrowej. W młodej komórce, zaraz po podziale, zanim rozpocznie się sterowanie procesami cytoplazmatycznymi (jak budowa struktur, różnicowanie się itd) wytwarza się podwójna błona dookoła „zbitych” w jedną grudkę chromosomów. Do niedawna sądzono, że ma ona tylko znaczenie bierne, ochronne; obecnie kiedy poznano pewne szczegóły jej budowy, nasuwa się przypuszczenie, że jest ona wysoce aktywna; zwłaszcza w przeprowadzaniu nośników informacji z jądra do cytoplazmy i odwrotnie.

Tuż pod wewnętrzną częścią błony jądrowej jest warstewka zbitej chromatyny; dawniej brano ją za błonę jądrową (mówiło się, że wewnętrzna część błony jest chromatynowa); obecnie sądzi się, że są to te części chromosomów, które są aktualnie aktywne w produkowaniu kwasów rybonukleinowych (r—RNA, m—RNA, t—RNA), które mają być przekazane do cytoplazmy.

Transport wody, małych cząsteczek i jonów odbywa się zapewne przez wewnętrzną błonkę jądrową, która graniczy z przestrzenią wypełnioną płynem „okołojądrowym”. Przestrzeń ta ma bezpośrednie połączenia z kanałami siateczki endoplazmatycznej. Natomiast makrocząsteczki wędrują zapewne przez pory.

W błonie jądrowej są liczne, regularnie rozmieszczone pory (w odległości od siebie ok. 1300 Å albo wielokrotność tej liczby); otwór pory z obu stron jest otoczony pierścieniem ośmiu okrągłych granул białkowych (średnica granuli ok. 200 Å), do których są jakby przyłączone zwinięte nici chromatynowe. Pierścień ten może się rozszerzać lub zaciskać przez ujęcie albo dodanie granул białkowych. W środku pory, jakby zawieszony na bezkształtnej przesłonie, znajduje się ciało centralne (średnica ok. 250 Å) o charakterze rybonukleoproteidu nazywane „strażnikiem pory”.

Na zewnętrznej powierzchni błony jądrowej leżą gęsto rybosomy (synteza białka). Przestrzeń błony łączy się miejscami bezpośrednio z przestrzenią kanałów szorstkiej siateczki endoplazmatycznej, której ścianki w pobliżu jądra są usiane rybosomami.

Jądro jest wypełnione pozornie płynną i homogenną plazmą jądrową zwaną nukleoplazmą albo karioplazmą. Na nukleoplaz-

mę składają się substancje chromatynowe³³ (euchromatyna i heterochromatyna) i słabo barwiący się płyn jądrowy (kariolimfa). Sieć nici chromatynowych jest tu tak delikatna, że dotąd nie została uwidoczniiona (nawet w mikroskopie elektronowym). Widoczne są tylko (i to nie zawsze) skupienia heterochromatyny: chromocentry³⁴ (kariosomy), warstewka wyściełająca od wewnątrz błonę jądrową oraz jedno (lub więcej) duże ciało zwane jąderkiem — *nucleolus*.

Rybosomalny kwas rybonukleinowy r-RNA, wytwarzany przez odpowiednie geny na drodze transkrypcji, skupia się w jąderku; część jego wchodzi w skład rybosomów jądrowych, a część przechodzi przez pory błony jądrowej do cytoplazmy, gdzie jest budulcem rybosomów cytoplazmatycznych.

Jądro buduje swoje białko niezależnie od cytoplazmy. Natomiast zależne jest energetycznie; nie posiada bowiem własnych mitochondriów. Aby jądro wykonywało swe prace potrzebuje stałego dopływu ATP z cytoplazmy. Praca jądra nigdy nie ustaje. Jest ono m.in. miejscem syntezy kwasów nukleinowych.

2.3.4.2. Poziom biotektonu — organizacja chromosomu

Podukładami jądra są chromosomy, jąderko i błona jądrowa. Chromosomy są widoczne (jako chromatynowe pałeczki) jedynie w czasie podziału komórkowego; jąderko zaś (jako kula chromatynowa) oraz błona jądrowa są obserwowane jedynie w nie dzielącym się jądrze. Wydaje się jednak pewne, że struktury chromosomalne nie „rozpływają się” w okresie telofazy, tylko rozpulchniają tak dalece, że stają się nieuchwytnie dla stosowanych dotąd przyrządów optycznych.

Chromosom sam w sobie stanowi bardzo skomplikowaną strukturę. Morfologicznie odróżniamy w nim centromer (przewężenie) i dwa ramiona: jedno z ramion miewa na końcu satelitę. Satelita jest oddzielony od ramienia chromosomu dłuższym przewężeniem zwanym wtórnym, w którym znajduje się rejon jąderkotwórczy. U człowieka każdy z 23 chromosomów charakteryzuje się właściwym sobie położeniem centromeru, długością jednego i drugiego ramienia oraz obecnością lub nieobecnością przewężenia wtórnego.

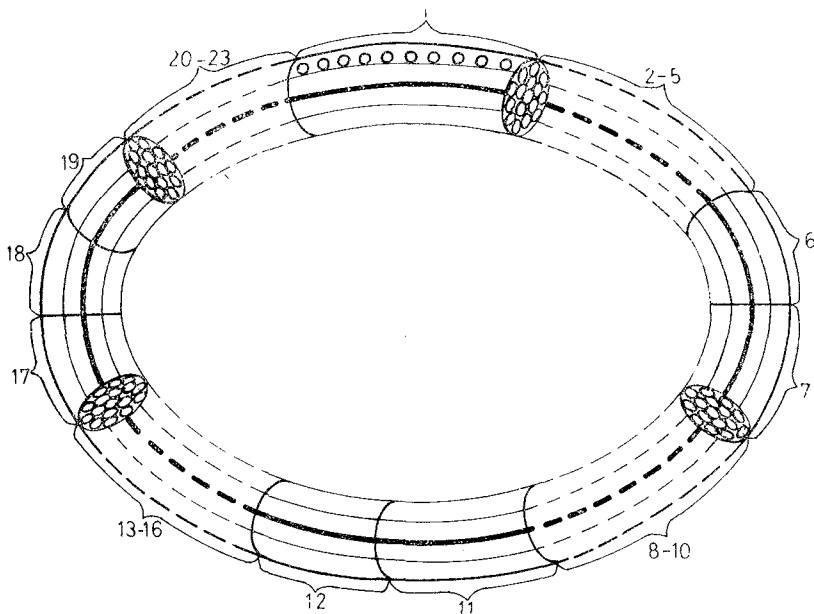
Opisany tu kształt chromosomu obserwuje się u organizmów

³³ Chromatyna — substancja barwiąca się na czarno barwnikami zasadowymi; w skład jej wchodzi kwasy nukleinowe i białka.

³⁴ Liczba chromocentrow odpowiada liczbie chromosomów gatunku.



Ryc. 3. Hierarchiczny układ genów w chromatydzie gatunku wysoko



Ryc. 4. Schemat modelu genomu haploidalnego: gen życia, gen królestwa..... rodzaju, gatunku, o o o geny strukturalne; liczby 1—23 oznaczają numery kolejne chromosomów.

eukariotycznych; chromosom (genom) u bakterii (Procaryota) jest jedną (do czterech) podwójną wstęgą DNA zwiniętą w pierścień.

Im wyżej stoi gatunek na drabinie ewolucji, tym lepiej wykształcone są chromosomy i tym więcej heliksów DNA wchodzi w skład pałeczki. Na przekroju chromosomu ludzkiego można się doliczyć 32 wstęg DNA (16 w każdej chromatydzie).

Powyższy fakt stał się punktem wyjścia dla sformułowania hipotezy odnośnie hierarchicznej struktury substancji dziedzicznej w chromosomie*. Najbardziej prymitywne gatunki mikroorganizmów (zarazem najstarsze) miałyby całą informację zakodowaną w jednym łańcuchu nukleotydów (liczba cistro-

* Tę hipotezę przedstawiono szczegółowo w artykule dotąd nie publikowanym: Rylska -(SciBOR) T. *Hierarchiczna organizacja substancji dziedzicznej a mechanizmy ewolucji*. Lublin 1977.

nów rzędu tysięcy), a wysoko uorganizowane (rośliny nasienne, owady, ssaki) miałyby szereg genów równoległych, z których pierwszy byłby genem „życia” niosącym informację bardzo ogólną, wspólną dla wszystkich istot żywych, następnie leżałby gen królestwa zawierający generalny plan budowy i zasady przemiany materii i energii, dalej gen typu itd., aż w końcu gen gatunku i na nim ułożone paciorki cistronów. Pragatunek prymitywnego typu (np. pierwotniaków) miałby tylko gen życia, królestwa, typu i od razu gen gatunku i cistrony.

W miarę różnicowania się typu na gromady, gromad na rzędy, rzędów na rodziny, rodzin na rodzaje przybywałoby w genomie pragatunku genów pośredniczących w regulacji procesów życia coraz wyżej uorganizowanych osobników. Geny dla nowych jednostek taksonomicznych (gromady, rzędy itd) byłyby wbudowane między genem typu i genem gatunku, powiększając liczbę genów podłużnych. Plan ogólny (typu) trwałby niezmienny a byłby dopełniany planami coraz bardziej uszczegółowionymi.

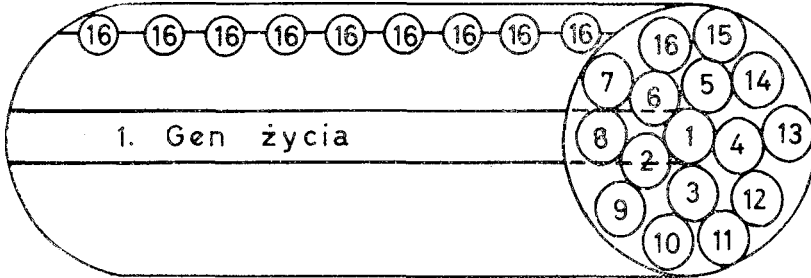
Na ryc. 3 przedstawia się schemat tak pomyślanej struktury hierarchicznej chromosomu któregoś z gatunków wysoko uorganizowanych (np. ssaka — człowieka).

Model hierarchiczny może być uzupełnionym modelem przestrzennego rozmieszczenia genów podłużnych w chromatydzie. Wyobrażenie takiego modelu podano na ryc. 4.

Gen życia leżałby pośrodku chromatydy w ramieniu chromosomu i rozpoczynałby szereg genów regulujących niższego rzędu; szereg ten układałby się w spiralę widoczną na przekroju poprzecznym. Gen gatunku i ułożone na nim cistrony zakańczyłyby spiralę. Geny strukturalne leżące najbardziej zewnętrznie byłyby najsilniej narażone na działanie czynników mutagenicznych. W miarę posuwania się do środka spirali stałość genów powinna wzrastać. Najłatwiej może ulec reorganizacji gen gatunku, najtrudniej gen królestwa, natomiast gen życia nigdy nie mutowałoby. Powstawanie wyższych jednostek taksonomicznych byłoby więc możliwe tylko u bardzo prymitywnych gatunków, u których np. geny typu leżą jeszcze zewnętrznie, w bezpośrednim sąsiedztwie genu gatunkowego.

Trzeba się jeszcze zastanowić, jaką strukturę miałyby cały genom złożony (jak postulowano) z chromosomów łączących się w pierścień końcem do końca. Mamy tu na myśli genom w okresie międzypodziałowym. Schemat modelu struktury genomu gatunku wysoko uorganizowanego podano na ryc. 5.

Jak przedstawiono na ryc. 5 poszczególne geny podłużne two-



Ryc. 5. Schemat budowy chromatydy (oryg.) 1-gen życia; 2-gen królestwa; 3-gen podkrólestwa..... 13-gen rodziny; 14-gen rodzaju; 15-gen gatunku; 16-geny strukturalne.

rzą w genomie cieniutkie pierścienie; w środku pierścienia genomu biegłby gen życia, a zupełnie na zewnątrz gen gatunkowy i na nim cistrony jak paciorki.

Tego typu model pozwala zrozumieć skoordynowane działanie genomu jako integralnej całości.

2.3.4.3. Poziom makrocząsteczki — organizacja DNA

Podukładami chromosomu są cząsteczki DNA, RNA i białek. Jak wiemy, są to wysokie polimery, łańcuchy o bardzo zróżnicowanej sekwencji monomerów. Ich własności (chemiczne i fizyczne) zależą w pierwszym rzędzie od struktury trzeciorzędowej, od kształtu dokołocząsteczkowej chmurki elektronów. Makrocząsteczki znajdują w chromosomie środowisko odpowiednie dla utrzymania swej struktury.

2.3.4.3.1. Struktura kwasów nukleinowych

Kwasy DNA i RNA są najważniejszymi substancjami protoplazmy — jako generatory, magazyny, detektory i przekazniki informacji. Rola ich w życiu komórki, w jej organizowaniu się jest kluczowa. Zasadniczo oba kwasy nukleinowe są produkowane w jądrze na drodze replikacji; większa część ich pozostaje na stałe w jądrze jako podstawowa substancja chromosomów i jąderka, pewna zaś ilość wędruje do cytoplazmy. Duże ilości RNA znajdują się w rybosomach, a bardzo niewielkie w innych organellach: w błonie komórkowej i prawdopodobnie we wszystkich utworach błoniastych cytoplazmy.

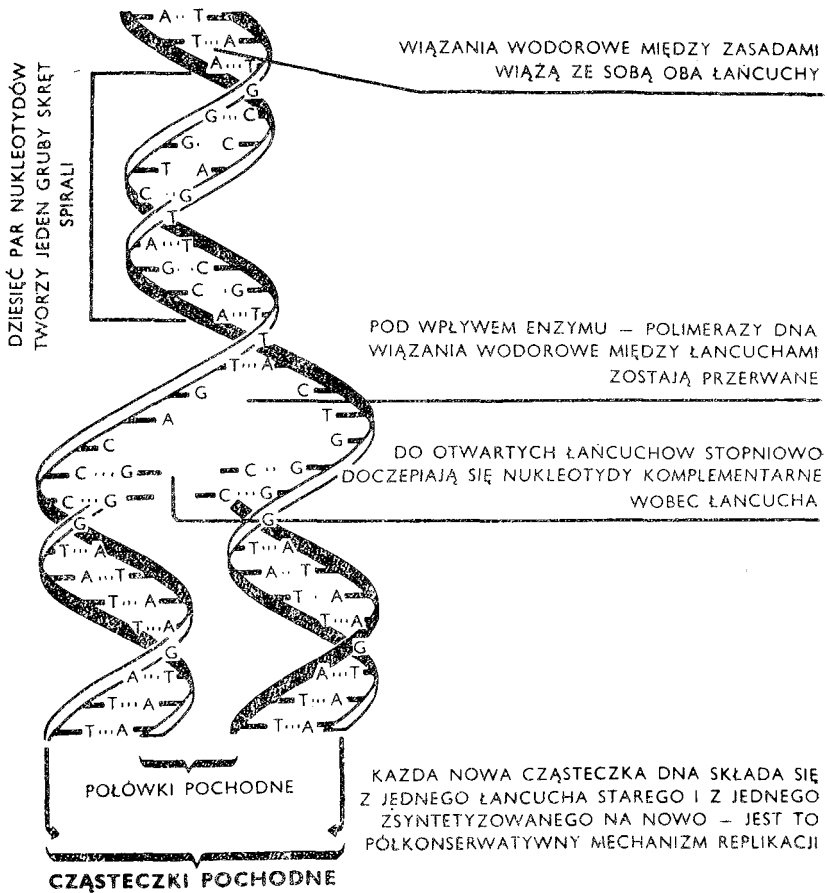
Makrocząsteczka kwasu nukleinowego to szereg powiązanych kowalentnie nukleotydów, od kilkudziesięciu do ponad tysiąc. Nukleotyd składa się z pierścieniowej zasady azotowej i z cząsteczki kwasu fosforowego (H_3PO_4) połączonych cząsteczką cukru — pentozy. Łańcuch tworzy się w ten sposób, że P jednego nukleotydu łączy się z cukrem (przez węgiel 5' pentozy) drugiego nukleotydu; tenże cukier (przez węgiel 3' pentozy) łączy się z P trzeciego nukleotydu itp. Zasada jest zawsze wiązana przez węgiel 1' pentozy. W każdym łańcuchu kwasu nukleinowego powtarzają się tylko 4 różne nukleotydy; różnią się one zasadami azotowymi. W nukleotydach DNA są związane dwie zasady purynowe: adenina (A) i guanina (G) oraz dwie zasady pirymidynowe: cytozyna (C) i tymina (T); w RNA trzy pierwsze zasady są takie same (A, G, C) a zamiast tyminy jest uracyl (U); cukier — pentoza to dezoksyryboza w DNA; ryboza — w RNA. Nukleotydy oznaczamy literami według ich zasad: A, G, C, T, U. Struktura przestrzenna DNA jest inna niż RNA. Makrocząsteczka DNA składa się z dwóch łańcuchów nukleotydów skręconych wokół jednej osi (ryc. 6).*

Łańcuchy łączą się przez szereg mostków wodorowych po 2 albo 3 między każdą parą nukleotydów; mianowicie nukleotyd adeninowy łączy się z nukleotydem tyminowym dwoma wiązaniami. W rezultacie sekwencja nukleotydów w łańcuchu I (α) wyznacza konieczną sekwencję w łańcuchu II (β). Dlatego mówimy, że w genie informacja jest zawarta w sekwencji par nukleotydów. Różnych par jest w DNA cztery: A—T, T—A, G—C, C—G. Nie ma żadnych reguł co do następstwa, a więc np. identyczna para może się powtarzać raz po raz wiele razy, jak i za każdym „krokiem” w łańcuchu może być inna para.

Kwasy rybonukleinowe są zasadniczo pojedynczymi łańcuchami nukleotydów o bardzo różnej długości. Istnieją trzy ich rodzaje: 1. informacyjny (posłańcowy — messenger) m-RNA o łańcuchach odpowiadających długością odcinkom DNA, na których jest zbudowany, 2. transportowy (przenośnikowy) t-RNA, który podprowadza aminokwas w odpowiednie miejsce tworzącego się łańcucha peptydowego — ten liczy zaledwie kilkadziesiąt nukleotydów, 3. rybosomalny r-RNA stanowiący trzon rybosomu i masę jąderka. Wszystkie rodzaje RNA powstają w jądrze na odpowiednich wzorcach DNA.

* Model budowy cząsteczki DNA podali w roku 1953 Watson i Crick. W ostatnich latach ukazały się krytyki tego modelu i inne propozycje.

PODWÓJNA SPIRALA CZĄSTECZKI MACIERZYSTEJ



Ryc. 6. Podwójna spirala DNA i jej replikacja (wg Markowa)

2.3.4.3.2. Rozmieszczenie elektronów w DNA

W latach 60-tych została nieco poznana struktura elektroniczna DNA. Właściwości fizyczne i chemiczne kwasów nukleinowych, tak jak i innych związków chemicznych (drobin, cząsteczek, makrocząsteczek), zależą ostatecznie od rozłożenia i energii elektronów.

Zarówno w atomie, jak i w cząsteczce mamy „stały trzon” składający się z jądra i elektronów leżących na wewnętrznych orbitach (w wewnętrznej części chmury) oraz labilne elektrony powłoki zewnętrznej. Gdy atom (cząsteczka) pochłania energię, zazwyczaj tylko elektron (lub elektrony) zewnętrznej powłoki ulegają przesunięciu na orbity puste (dalsze od jądra), albo wchodzi na orbitę (najwyższą zapełnioną) innego atomu (tworząc wiązanie kowalentne), albo są wyrzucane poza atom (jonizacja); dany atom lub cząsteczka staje się wtedy kationem. Przyłączenie elektronu wolnego albo związanego z innym atomem zachodzi tylko na powłoce zewnętrznej — wchodzi on na najwyższą zapełnioną orbitę.

Wobec tego, że własności chemiczne oraz wiele fizycznych (magnetyczne, elektryczne, optyczne itd) zależą od miejsca zajmowanego przez elektrony oraz od ich przesunięć, wystarczyłoby dla scharakteryzowania cząsteczki obliczenie funkcji falowych dla elektronów zewnętrznej powłoki (A. Pullman 1965, 82).

Pullmanowie oraz ich współpracownicy od lat zajmują się obliczaniem funkcji falowych dla poszczególnych ważnych biologicznie cząsteczek oraz sprawdzaniem wynikających stąd własności na drodze eksperymentalnej. Zwłaszcza szerokie badania podjęto odnośnie kwasów nukleinowych, białek, barwników, substancji rakotwórczych itd. Obliczenia robiono dla stanu nie wzbudzonego par zasad. Każda para zasad ma 24 elektrony na orbicie cząsteczkowej. Wyliczenie struktury elektronicznej modelu mini-DNA pozwala nie tylko określić miejsca reakcji wcześniej już znanych (np. miejsce tworzenia chelałów — związków metaloorganicznych), ale także przewidzieć szereg nie znanych dotąd właściwości DNA. Niektóre z tych przewidywań zostały już potwierdzone eksperymentalnie. Do takich należą np: większa stabilność pary C—G aniżeli T—A i stąd oczywiście wyższa stałość DNA bogatszego w C—G niż w T—A; także łatwiejsze spontaniczne mutacje w parze C—G niż w T—A; poza tym potwierdziło się przewidywanie o lepszym półprzewodnictwie DNA zawierającego więcej C—G niż T—A (B. Pullman 1965, 182).

Już z tych paru przykładów widzimy, jak cennym narzędziem w badaniach właściwości cząsteczek ważnych dla życia okazała się mechanika kwantowa.

2.3.4.3.3. DNA — magazyn informacji dziedzicznej

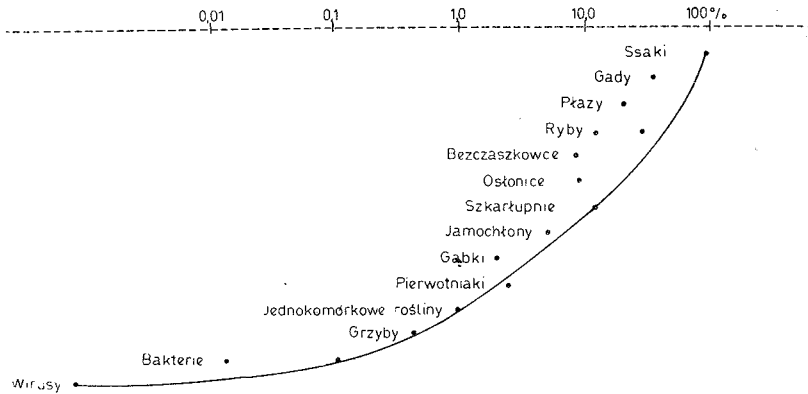
Badania biologii i genetyki molekularnej wykazały, że nośnikiem informacji wewnętrznej w komórce jest zespół chromosomów, a poszczególne informacje są zapisane w sekwencji nukleotydów makrocząsteczek DNA — genów. Można więc powiedzieć, że generalnym magazynem informacji komórkowej jest jądro zawierające geny — nosiciele informacji.

Za poszczególne cechy organizmu odpowiedzialne są pary genów leżące w określonych odcinkach chromosomu (locus). Geny mogą być oddzielnymi cząsteczkami DNA, albo odcinkami jednej ogromnej cząsteczki. Gen jest jednostką informacji dziedzicznej. Geny nie występują w jądrze jako gołe cząsteczki DNA, są one z reguły związane z mniejszą lub większą ilością cząsteczek białka, tworząc dezoksyrybonukleoproteidy. Białka wiążące się z kwasami nukleinowymi to białka zasadowe — histony i protaminy, w których powtarzają się często aminokwasy o dwóch grupach aminowych — arginina i lizyna. Przypuszcza się obecnie, że główną rolą histonów w chromosomie jest „blokowanie” czyli represja genów. Odwrotnie uczynienie (aktywacja) genu byłoby uwarunkowane odszczepieniem histonu (A. Przełęcka 1973, 60).

Gdy weźmiemy pod uwagę, że zwykły gen składa się z około tysiąca par nukleotydów, to przy użyciu czteroliterowego (4-nukleotydowego) alfabetu i trójliterowych (trójnukleotydowych) wyrazów jako pojedynczych bitów informacji, można zapisać liczbę bitów rzędu 10^{50} , czyli praktycznie liczbę nieskończoną. DNA okazuje się więc idealnym materiałem na substancję dziedziczną, znacznikiem niosącym na minimalnej przestrzeni ogromną ilość informacji. W rzeczywistości okazało się, że trzy pary nukleotydów w DNA kodują jeden konkretny aminokwas w budowanym białku (badania Nirenberga).

Ilość zmagazynowanej w jądrze informacji (liczba bitów) jest jednakowa we wszystkich komórkach osobników danego gatunku; możemy ją w przybliżeniu określić oznaczając masę DNA i stąd liczbę nukleotydów w jednym jądrze.

Okazało się, że są ogromne różnice w ilości DNA w komórkach różnych gatunków. Oto, w miarę postępu ewolucji, wzbogaca się gatunkowa informacja wewnętrzna, czego odbiciem



Ryc. 7. Procentowa zawartość kwasów nukleinowych w jednym jądrze (lub nukleoidzie) w stosunku do tejże u ssaków (100%) w miarę postępu ewolucji (wg Gatlin, zmodyfikowana)

jest wzrost masy substancji dziedzicznej — zawartości DNA w jednym jądrze (ryc. 7). Widzimy, że ilość zakodowanej w DNA informacji wzrasta od bakterii do ssaka ok. 10 000 -krotnie.

Nie należy jednak sądzić, że wszystka informacja zapisana w DNA dostarcza wzorów do syntezy białka. Temu celowi służy zapewne 5 do 15 % DNA genomu³⁵, reszta powinna być źródłem informacji innego rodzaju (np. regulacja działania genów lub sterowania procesami komórki na drodze przekazu fizycznego).

W haploidalnym³⁶ genomie muszki owocowej *Drosophila* znajduje się około 5 000 genów — cistronów niosących wzór dla poszczególnych białek. Tymczasem całkowita, stała ilość DNA w genomie tej muszki wystarczyłaby żeby zakodować 100 000 genów. Stosunek „wykorzystanego” do „nieczynnego” DNA byłby tu jak 1:20. Podobnie jest u innych organizmów z tym, że u form wyższych ewolucyjnie „nadmiar” DNA jest jeszcze większy.

³⁵ Watson wyliczył, że ok. 85% DNA jest nieczynne przy syntezie białka; według Cricka cyfra ta przewyższa 90%.

³⁶ Genom haploidalny znajduje się w plemniku albo w jajeczku i składa się z połowy liczby chromosomów genomu diploidalnego z komórki ciała.

Spróbujmy objąć myślą całość informacji o życiu, zachowaniu i rozwoju osobnika; zakodowana musi być każda cecha począwszy od najbardziej ogólnych kończąc na zupełnie szczegółowych. Wiele genów potrzeba, żeby z komórki embrionalnej wyróżnicowała się komórka mięsna albo nerwowa. Każdy szczegół budowy i organizacji funkcjonalnej wszelkich typów komórek, wszelkich organów wymaga odpowiedniej informacji. Pełna informacja, jak wiemy, znajduje się w każdym jądrze. Wydaje się, że suma genów, ilość DNA potrzebna do zakodowania informacji gatunkowej (niezmiennej) powinna być nieporównanie większa niż ilość DNA wystarczająca do zaprogramowania syntezy białka. Niestety, cała ta masa DNA stanowiąca niezmienny trzon informacji gatunkowej pozostaje, jak dotąd, nieuchwytna dla badań genetycznych (geny gatunkowe zasadniczo nie mutują).

Whyte mówi: „Mikro-hierarchia układu genetycznego ujawnia się w makro-hierarchii dojrzałego organizmu. Genom jest więc hierarchicznie zorganizowany” (L. L. Whyte 1965, 73).

Zważywszy całą złożoność organizacji istoty żywej i to, że każdy szczegół struktury czy funkcji oraz wzajemnych relacji elementów układu musi być „zapisany” w substancji dziedzicznej, nie widzimy bynajmniej nadmiaru DNA w jądrze. Pełna informacja wewnętrzna o rozwoju i trwaniu osobnika, a także o organizowaniu się populacji i biocenozy wymaga ogromnej ilości znacznika, którym jest w wypadku informacji biologicznej — wstęga nukleotydowa.

Trzeba sobie zdać sprawę, że zaledwie ułamek całościowej informacji wewnętrznej dotyczy powierzchniowych, zmiennych cech organizmu. Ta część informacji zawarta jest w genach strukturalnych — cistronach. Cistrony ulegają różnorodnym mutacjom, które są źródłem zróżnicowania osobniczego, rodowego, populacyjnego, rasowego a jednocześnie umożliwiają badania genetyczne. Możemy powiedzieć, że tę część substancji dziedzicznej, o tyle, o ile, znamy. Wiemy, że cistrony są ułożone „jak paciorki” wzdłuż chromosomu, dla wielu z nich określono nawet miejsca (loci) co pozwoliło na konstruowanie tzw. map chromosomowych. W złożonej, polinemicznej chromatydzie geny strukturalne odpowiadałyby najbardziej zewnętrznej podwójnej wstędze DNA. Od czasów badań Mendla wiemy, że współgra dwóch alleli (z dwóch bliźniaczych chromatyd) dostarcza informacji dla jednej cechy.

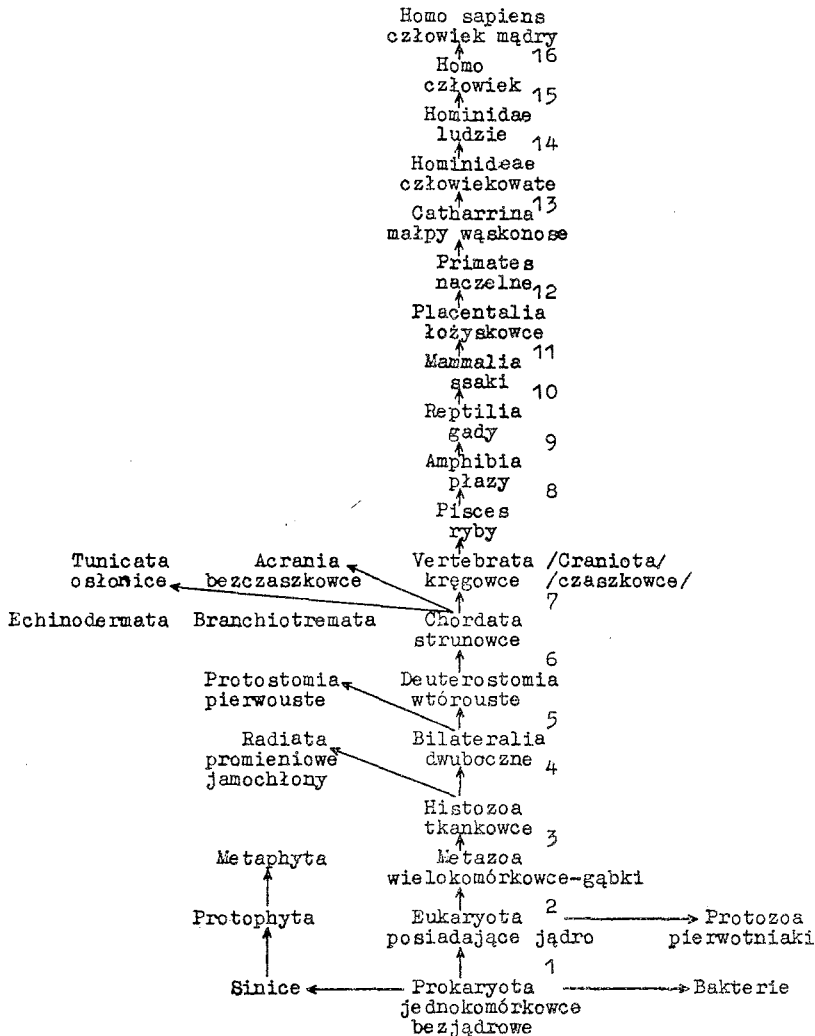
W 32 podwójnych wstęgach DNA, jakie znajdują się w chromosomie (16 w chromatydzie) ssaka, mielibyśmy w każdym

„locus” chromosomu ilość znacznika wystarczającą dla zapisu nie dwóch a trzydziestu dwóch alleli danego genu. Zjawisko redundacji (tzn. powtarzania się jednakowego genu) dotyczyłoby każdego, a nie tylko pewnych genów. Taki nadmiar powtarzającej się informacji jest z jednej strony nieprawdopodobny z punktu widzenia ekonomii układu zorganizowanego, z drugiej zaś uniemożliwiłoby ujawnienie się mutantów. Nasuwa się wniosek, że znana, mutująca i poddająca się badaniom mendlowskim informacja genetyczna jest zawarta w 1/32 zaledwie DNA chromosomalnego czyli 1/16 chromatydowego. Pozostałe 15 wstęg w chromatydzie mogłoby być znacznikiem dla reszty informacji gatunkowej. Wstęgi te — spiralnie skręcone cząsteczki DNA — leżące wzdłuż ramienia chromosomu byłyby genami wyższego rzędu regulującymi działanie cistronów. Możemy przypuszczać, że geny operatory i regulatory wchodzi w skład pierwszego genu podłużnego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie genów strukturalnych. U najniższych gatunków — należących do Schizophyta (rozprątka) cistrony i geny regulujące leżą obok siebie w jednej podwójnej nici DNA.

U pierwotniaków mamy wstęg więcej niż jedna, tak że funkcje regulujące spełniałyby odrębne wstęgi DNA biegnące wzdłuż chromosomu.

Najbliższy cistronów gem regulujący nazwalibyśmy „gatunkowym”. Gen ten oprócz informacji o czasie aktywowania genów strukturalnych powinien zawierać wiele innych informacji niezbędnych dla życia i rozwoju osobnika (np. informacje dotyczące morfologii, metabolizmu, energetyki, recepcji informacji z zewnątrz oraz komunikowania się z innymi osobnikami, sposobu pobierania pokarmów, poruszania się itd.).

W miarę postępu ewolucji, czyli osiągania przez nowe gatunki wyższych stopni uorganizowania osobniczego (bardziej złożonej regulacji) powinno przybywać genów podłużnych w strukturze substancji dziedzicznej, czyli wstęg DNA w chromosomie. Na ryc. 8 w schemacie przebiegu ewolucji pionowej ku człowiekowi zaznaczono cyframi 1 do 16 prawdopodobne przejścia ku wyższemu uorganizowaniu z dobudowaniem nowej nici DNA w chromosomie. Ciekawe jest, że liczba skokowych przejść w szeroko rozumianej antropogenezie zgadza się z liczbą nici stwierdzonych mikroskopowo u człowieka.



Ryc. 8. Antropogeneza. Linia pragatunków prowadząca do człowieka.

2.3.4.4. Przepuszczalny mechanizm działania chromosomu

Genom jako całość zawiera wzór gatunkowy — informację wewnętrzną o życiu osobnika. Na tę całościową informację składa się wielka liczba wiadomości szczegółowych (bitów in-

formacji) zakodowanych w „języku” genetycznym, czyli w sekwencji par nukleotydów w łańcuchach DNA. Im wzór dotyczy wyżej uorganizowanego układu, tym bardziej złożona powinna być struktura tego wzoru. Jeżeli jedną z cech orgu jest jego hierarchizacja, a jedną z miar jego uorganizowania liczba pięter (instancji), to należy się spodziewać, że sam wzór jest hierarchiczny. Geny wyższego piętra niosą informację bardziej ogólną, podstawową (ważniejszą), ich aktywność może się odnosić bezpośrednio do każdego elementu układu (np. komórki) a nawet może wychodzić poza układ. Może to być także aktywność pośrednia poprzez sterowanie genami niższego piętra. Sterowanie to polega na uczynnieniu lub hamowaniu działania podległych genów. Spośród genów sterujących w ontogenezie uczynniają się najpierw geny życia (w stadium zygoty), potem geny typu, gromady, rzędu itp., na końcu dopiero gatunkowe i osobnicze. Który gen będzie uczynniony i w jakim momencie to się stanie, zależy najczęściej od decyzji genu wyższego piętra. Decyzja ta jest wynikiem konfrontacji informacji wewnętrznej z informacją przyjętą aktualnie z zewnątrz. Gdy chodzi o procesy rozwoju układu komórkowego decyzje zapadają na najwyższym piętrze genów i są stopniowo uszczegóławiane aż do najniższego piętra; ujawniają się uczynnieniem odpowiednich cistronów. Im wyżej uorganizowany układ, tym większa autonomia, tym szersze możliwości decyzji mają jego elementy. Geny każdego piętra mają pewien stopień autonomii a więc pewną swobodę w podejmowaniu decyzji. Każdy gen — nosiciel informacji jest zdolny do przyjmowania informacji z zewnątrz. Informacja z zewnątrz bywa trzech rodzajów: 1) od genu leżącego powyżej w hierarchii — sterowanie; 2) od genów leżących poniżej — sprzężenie zwrotne; 3, od otoczenia genomu (cytoplazma, środowisko układu) — bodźce.

Zapewne przyływ informacji z któregośkolwiek z tych trzech źródeł może bezpośrednio uaktywnić gen, ale w wypadku informacji napływającej równocześnie z paru źródeł potrzebna jest decyzja. A ta, jak mówiliśmy, zapada w wyższej instancji, a więc zależy od informacji wewnętrznej. Cybernetycy współcześni na ogół pomijają informację wewnętrzną; w opisywanych przez nich układach komunikacyjnych nie ma na nią wprost miejsca (H. Drischel 1976). Nie uwzględniając roli wzoru gatunkowego (głównego składnika informacji wewnętrznej) nie można stworzyć adekwatnego, pełnego modelu układu żywego. Trzeba wiedzieć, jasno, że tylko część przekazów informacji, mających miejsce w organizmie, jest wynikiem bodź-

ca — informacji przychodzącej z zewnątrz. Weźmy pod uwagę np. rozwój embrionalny ssaka; zarodek jest izolowany od otoczenia w wysokim stopniu; jest to m.in. warunkiem jego normalnego rozwoju; jednocześnie w każdej chwili życia w każdej komórce płynie strumień informacji mający swe źródło w substancji dziedzicznej. U człowieka z upływem czasu coraz bardziej przybiera na wadze informacja zewnętrzna, odbierana zmysłami; to nie znaczy jednak, żeby przekaz wewnętrznej informacji się umniejszał.

W żywym układzie, który jest z reguły układem komunikacyjnym, pewne informacje są nieustannie przyjmowane, inne przekazywane. W każdym momencie życia komórki dokonuje się w jej genomie ogromna liczba aktów komunikacji — to jest czynności przyjmowania bodźców, podejmowania decyzji i nadawania sygnałów.

2.3.4.5. Przekaz chemiczny informacji

Głównym zadaniem jądra komórkowego jest przyjmowanie i transformowanie informacji z zewnątrz oraz sterowanie czynnościami w komórce. Jedno i drugie to akty przekazu informacji.

O drogach przekazu informacji w komórce wiemy jeszcze bardzo mało. Rozszyfrowano jedynie drogi chemiczne umiejscowione w jądrze — przenoszenie informacji o budowie DNA (proces replikacji) oraz o syntezie białka (proces transkrypcji i translacji). Nośnikiem informacji w obu przypadkach jest substancja chemiczna — makrocząsteczka kwasu nukleinowego.

Poza tym został nieco zbadany przekaz chemiczny od cytoplazmy do jądra i między komórkami. Przenośnikami informacji są tu hormony.

Poznanie wszystkich tych procesów jest wielkim osiągnięciem biologii molekularnej, ale nie powinno to hamować poszukiwań innych dróg przekazu informacji zarówno w genomie, jak i w komunikacji między genomem i cytoplazmą oraz międzykomórkowej.

2.3.4.5.1. Przekaz informacji w cyklu życiowym komórki

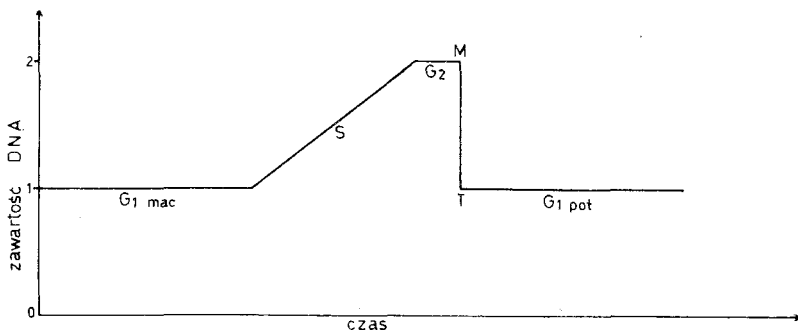
W ciągu ostatnich dwudziestu lat badania podjęte w wielu ośrodkach ujawniły mechanizmy chemiczne przekazu informacji. W życiu komórki embrionalnej (dzielącej się) odróżniamy

dwie fazy powtarzające się cyklicznie: interfaza i mitozy (ryc. 9)

Interfaza „G₁” to okres właściwego życia, organizowania się i działania komórki. Jądro jest wówczas bardzo czynne; poszczególne geny przekazują informację do cytoplazmy za pośrednictwem m-RNA (transkrypcja DNA → m-RNA). Posłańcowy kwas nukleinowy (m-RNA) wędruje do cytoplazmy przez porę w błonie jądrowej, wbudowuje się w rybosomy, gdzie stanowi wzorec dla budującej się cząsteczki białka w procesie zwanym translacją.

W okresie mitozy produkcja m-RNA (i białka) w cytoplazmie zostaje wstrzymana. W promitozie — fazie przygotowawczej do mitozy („S”) ma miejsce transkrypcja m-RNA (wzorca dla białek chromosomalnych) oraz podwajanie się wszystkich genów.

Po zakończeniu fazy „S” rozpoczyna się profaza mitozy („G₂”) podczas której, tak jak i w czasie samej kariokinezy (fazy „M” i „J”) żaden przekaz chemiczny nie ma miejsca. Zaczyna się on od nowa dopiero w fazie „G₁” komórki potomnej. Czy w okresie mitozy nie ma w ogóle przekazu informacji, jest raczej wątpliwe. Procesy kariokinezy to szereg ruchów



Ryc. 9. Przekaz informacji w cyklu życiowym komórki (wg Germana, zmodyfikowany)

G_{1mac} — interfaza — transkrypcja: DNA → m-RNA

S — pro-mitotyz — replikacja DNA

G₂ — profaza mitotyz — brak przekazu chemicznego

M — metafaza i anafaza mitotyz — rozdział chromosomów do komórek potomnych

I — teleofaza mitotyz — formowanie się jądra komórki potomnej

G_{1pot.} — interfaza komórki potomnej — transkrypcja: DNA → m-RNA

chromosomów ruchów kierunkowych i zsynchronizowanych. Odbywają się one w niezmienny dla gatunku sposób, co zdaje się świadczyć o sterowaniu całego procesu przez gatunkową substancję dziedziczną. Ponieważ przekaz informacji na drodze chemicznej jest w okresie mitozy wykluczony, trzeba go poszukiwać na innych drogach.

2.3.4.5.2. Replikacja DNA — przekaz informacji dziedzicznej

Replikacji ulega cały DNA — wszystkie geny. Model budowy makrocząsteczki DNA — podwójny heliks — spirala w której wstęgi łączą się mostkami wodorowymi (między dwiema sparowanymi zasadami) pozwala przewidzieć, jak jest budowany nowy łańcuch nukleotydów.

Wystarczy, żeby od jednego końca DNA zerwały się mostki wodorowe, aby obie wstęgi rozwinęły się i oddzieliły od siebie. Enzym nazwany polimerazą DNA podprowadza ufosforylowane nukleotydy w oznaczone miejsca i wiąże je między sobą w łańcuch. Drugi enzym — ligaza DNA wiąże poszczególne nukleotydy nowego łańcucha poprzez ich zasady (tworząc mostki wodorowe) z nukleotydami łańcucha wzorcowego (starego). Inna ligaza wiąże nowy i stary łańcuch między sobą. Dzięki zasadzie wiązania się mostkami nukleotydu adeninowego (A) z tyminowym (T), a cytozynowego (C) tylko z guaninowym (G) i odwrotnie, nie zachodzi tu pomyłka. Nowy łańcuch okazuje się lustrzanym odbiciem starego.

Proces ten nazwano semikonserwatywnym, gdyż nowo powstały heliks składa się z połowy jednego łańcucha wstęgi starej i z drugiego całkowicie nowego łańcucha.

Replikacja zaczyna się zawsze od końca 5' (połączenie dezoksyrybozy z kwasem fosforowym poprzedniego nukleotydu następuje przez węgiel 5') a kończy się na węglu 3' (połączenie z następującym nukleotydem poprzez węgiel 3 drugiej cząsteczki dezoksyrybozy). Wobec tego tylko na jednej z dwóch wstęg dobudowuje się nowa wstęga. Replikacja drugiej wstęgi może następować „z dołu do góry” w krótkich odcinkach rozwiniętego heliksu. Trudność ta wymaga wyjaśnienia, na które musimy jeszcze poczekać.

Replikacja DNA nie zachodzi równocześnie we wszystkich chromosomach. Znamy na przykład kolejność replikacji DNA w chromosomach człowieka. Rozpoczyna się ona od czwartej pary, przez parę pierwszą, drugą i trzecią (duże chromosomy), a kończy się w chromosomach najmniejszych dwudziestej do

dwudziestej drugiej pary. W poszczególnych chromosomach odcinki euchromatynowe (o rozwiniętych, luźnych chromosomach) tworzące ramiona chromosomu replikują się wcześniej, heterochromatynowe leżące blisko centromeru później. Replikacja zaczyna się z reguły od końca każdego z ramion chromosomu i kończy się na centromerze.

Nasuwa się przypuszczenie, że w heterochromatynowych odcinkach chromosomu znajdują się centra sterowania ruchami związanymi z samą replikacją; przekaz informacji musiałby się odbywać w tym przypadku na drodze fizycznej.

Zapoczątkowanie replikacji DNA może być powodowane przez czynnik chemiczny — przez jakąś substancję mitotyczną, np. przez hormon wzrostowy (T. Terasima 1968) albo też przez czynnik fizyczny, np. pochłonięcie przez jądro niewielkiej liczby kwantów promieni tzw. mitogenetycznych (A. Gurwicz 1959, T. Rylska 1948, S. Koniew 1965). O mechanizmie działania „mitotycznego” obu wymienionych czynników niewiele wiemy.

2.3.4.5.3. Transkrypcja DNA na m-RNA — sterowanie syntezą białka

W okresie międzypodziałowym geny zawarte w euchromatynowych odcinkach chromosomu (które, jak wspomniano, leżą w sąsiedztwie błony jądrowej) mogą się uczynniać (co wyraża się rozwinięciem podwójnego heliksu) i tworzyć na jednej ze wstęg (zaczynającej się od 5') makrocząsteczkę posłańcowego kwasu rybonukleinowego (m-RNA). Jest on lustrzanym odbiciem danego odcinka DNA, z tym, że nukleotydy wchodzące w skład nowej wstęgi wiązane są cukrem rybozą (nie dezoksyrybozą) oraz że nukleotyd adeninowy jest wiązany z nukleotydem uracylowym a nie tyminowym.

Przy tworzeniu łańcucha m-RNA współdziała enzym polimeraza RNA. Uformowany łańcuch m-RNA odłącza się od genu i wędruje przez porę do cytoplazmy — ściślej do przestrzeni retikulum endoplazmatycznego, gdzie wchodzi między dwie podjednostki rybosomalne, powodując ich zamknięcie się (utworzenie całościowego rybosomu). Tutaj następuje akt, proces przełożenia translacji informacji zapisanej w „języku” nukleotydowym w m-RNA na „język” aminokwasowy w białku. Sekwencja nukleotydów w m-RNA koduje sekwencję aminokwasów w łańcuchu peptydowym przy użyciu kodu trójkowego — trójka nukleotydów koduje jeden aminokwas (np. UUU lub UUC koduje aminokwas fenyloalaninę). Przy translacji

współdziałają dwa inne (obok m-RNA) kwasy rybonukleinowe; mianowicie: transportowy (t-RNA) oraz rybosomalny (r-RNA). Pierwszy doprowadza aminokwasy z cytoplazmy na właściwe miejsce w rybosomie (np. fenyloalaninę ustawia naprzeciw trójki nukleotydów UUC). Drugi (r-RNA) stanowi niezbędne środowisko dla procesu syntezy białka w rybosomie.

2.3.4.5.4. Inne chemiczne przekaźniki informacji

Ostatnio wykryto substancję pośredniczącą w przekazie informacji przychodzącej czy to z cytoplazmy do jądra, czy to z zewnątrz do komórki. Jest nią cykliczny adenozylo-monofosforan (cAMP). Związek ten ma bezsprzeczny wpływ na syntezę białek poprzez aktywowanie odpowiednich genów. W jaki sposób zachodzi ten proces — nie wiadomo. Przypuszcza się, że działa on przez aktywowanie pewnych enzymów.

cAMP może także wzmacniać informację przyniesioną do błony komórkowej przez hormony. Mianowicie hormon (nie wchodząc do komórki) powoduje aktywację cAMP, znajdującego się w błonie; cyklaza adeninowa z kolei aktywizuje inny enzym.

W błonie znajdują się różne cyklazy — cAMP posiadające miejsca receptorowe dla różnych hormonów. Stężenie aktywnego cAMP w błonie wielokrotnie przewyższa stężenie hormonu, który spowodował jego syntezę; w ten sposób informacja odbierana przez błonę jest wzmacniana.

Innym przekaźnikiem informacji są niektóre jony. Np. Ca^{2+} jest niezbędne dla działania cAMP w takich procesach, jak lipoliza — rozkład tłuszczów (E. Wasilewska-Dziubińska 1973, 187). Podobnie rolę informacyjną przy skurczu mięśnia może odgrywać wzrost stężenia jonów Ca^{2+} . Jon ten jest uwalniany z siateczki entoplazmatycznej na skutek impulsu z neuronu. Ca^{2+} w obecności ATP powoduje skurcz włókienka mięsnego. Jest to proces bardzo skomplikowany i dotąd częściowo tylko wyjaśniony.

2.3.5. POZIOM DROBIN, JONÓW, CZĄSTEK ELEMENTARNYCH

W jądrze, tak samo jak w cytoplazmie, organizacja sięga poziomu cząsteczek elementarnych. Uporządkowane struktury wyższych poziomów umożliwiają kierunkowe przemieszczanie się ekscytonów, fotonów, elektronów, protonów itd.

Gdyby na najniższym poziomie układu panował chaos, nie

byłoby możliwe życie a w szczególności fizyczny przekaz informacji.

Kasha (1960, wg Polonsky 1964, 485) na podstawie ujawnionej przez mechanikę kwantową struktury elektronicznej DNA, białek i lipidów wyróżnia cztery możliwe sposoby recepcji lub generowania w komórce kwantów energii — potencjalnych przenośników informacji:

- 1) przenoszenie się ekscytonów, nośników wzbudzenia rezonansowego; oto elektron π przyjmując energię ekscytonu wylatuje na orbitę pustą, dalszą od jądra i po bardzo krótkim czasie wraca na swoją orbitę podstawową, przy czym oddaje rezonansowo ekscyton następnej cząsteczce; warunkiem wędrówki rezonansowej ekscytonu jest wielkie zbliżenie cząsteczek (rzędu dziesiątków angstromów);
- 2) przenoszenie ładunków elektrycznych (współdziałanie donora i akceptora elektronów); elektron π jest wtedy wyrzucony poza najwyższą pustą orbitę, czyli poza cząsteczkę;
- 3) przenoszenie elektronów i dziur — półprzewodnictwo w strukturach uporządkowanych — w quasi-kryształach organicznych (zwłaszcza w obecności wiązań sprzężonych).

Eigen M. podał czwarty możliwy mechanizm (1960, wg Polonsky s. 484):

- 4) przenoszenie informacji i energii przez szybkie protony płynące poprzez powtarzające się periodycznie mostki wodoro-we oraz przez struktury parakrystaliczne płynnej wody. W ramach pierwszego sposobu — ekscytonowego — mógłby się przekazać informacja na drodze pochłaniania i emisji światła nadfioletowego i widzialnego. Ta droga wydaje się być najbardziej prawdopodobna. Inne — wyżej wymienione — przesunięcia, jak prąd elektryczny, półprzewodnictwo, strumień protonów, nie działają specyficznie i przez to nie mogą mieć zastosowania w przekazie zróżnicowanej informacji. Raczej trzeba by ich rolę w komórce upatrywać w przenoszeniu energii.

2.3.5.1. Przekaz fizyczny informacji

O przekazie informacji na drodze fizycznej wiemy jeszcze mniej niż o chemicznej. Jedyny lepiej poznany — przekaz elektryczny — ma miejsce w aksonie komórki nerwowej. Naszego tematu dotyczy natomiast trojaki przekaz, wspólny dla wszelkiego typu komórek 1) wewnątrzjądrowy, 2) od jądra do cytoplazmy i odwrotnie oraz 3) między jądrami sąsiadujących komórek.

Wiele przesłanek wskazuje, iż przekaz taki istnieje i że powinien się odbywać na drodze fizycznej. Poza tym zgromadzone nieco danych o właściwościach fizycznych substancji jądrowych, które predysponują je do porozumiewania się na drogach fizycznych

W jakiej formie fizycznej DNA przyjmuje lub przekazuje informację możemy się domyślać, stawiać hipotezy, ale nic pewnego nie wiemy.

2.3.5.2. Recepcja sygnałów z zewnątrz

Nie zajmujemy się tutaj wyspecjalizowaną komórką receptorową zmysłów (np. pręcik w siatkówce oka), lecz jedną z wielu komórek ciała. Informacja z zewnątrz, jak wspomniano, może być przyjmowana bezpośrednio przez jądro, albo pośrednio przez urządzenia receptorowe w błonie.

Jądro może odbierać tylko takie sygnały, które nie byłyby pochłaniane przez błonę i cytoplazmę, jedynie przez kwasy dezoksyrybonukleinowe. Warunkiem tym odpowiada promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu nadfioletu ($\lambda = 180 - 360$ nm). Każdy gen jest wzbudzany nieco inną długością fali tego promieniowania. Zakres pochłaniania dla DNA stanowi pasmo od 250 nm do 270 nm (zaś białka od 270 nm do 290 nm).

Sygnałem może być także światło widzialne ($\lambda = 360 - 700$ nm) lub podczerwone ($\lambda = 700 - 1200$ nm). Kwasy nukleinowe są dla tych fotonów przezroczyste, zaś pochłaniają je wszelkie substancje barwne cytoplazmy (m.in. enzymy). Pigmenty — receptory światła — są bogato reprezentowane w błonie komórkowej i w cytoplazmie.

Przypuszcza się, że cząsteczki barwników mają zdolność kumulowania dwóch lub więcej kwantów światła widzialnego lub podczerwonego. Skumulowana energia mogłaby być emitowana przez barwnik w formie kwantu UV³⁷. Kwant taki pochłonięty przez DNA w jądrze byłby właściwym, specyficznym sygnałem.

2.3.5.3. Wewnątrzjądrowy przekaz informacji

Im bardziej jest złożona gatunkowa substancja dziedziczna, tym większą rolę odgrywają akty regulacji genetycznej czyli wewnątrzjądrowy przekaz informacji.

³⁷ Hipotezę dwufotonowego wzbudzenia cząsteczki barwnika (czyli kumulacji kwantów) podano w pracy T. Rylskiej (1969).

Regulacja u najprostszych organizmów (bakterii) odbywa się na drodze chemicznej — aktywatory lub represory genów są tu tylko w postaci cząsteczek specyficznych białek. Tego typu regulacja nie jest ani szybka, ani ekonomiczna. Prostsza i „tańsza”, a przy tym o wiele szybsza byłaby regulacja fizyczna. Pojedyncze kwanty UVV, wysyłane i pochłaniane przez poszczególne geny, mogłyby pełnić rolę wewnątrzjądrowych przekazników informacji.

2.3.5.4. Przekaz informacji z jądra do cytoplazmy i odwrotnie

Poza znanym procesem sterowania syntezą białka na drodze transkrypcji i translacji, niewątpliwie płynie nieustannie z jądra do cytoplazmy strumień impulsów sterowniczych, które kierują wszelkim ruchem i zmianą w komórce. Impulsy te mogłyby mieć formę kwantów nadfioletu oraz światła widzialnego, jako że jedne i drugie mogą być generowane przez DNA. Z kolei kwasy nukleinowe i barwniki znajdujące się w organelach byłyby receptorami jądrowych „rozkazów”.

Rozszyfrowanie mechanizmów wewnątrzkomórkowej komunikacji na drodze fizycznej wymaga wielu jeszcze badań.

Natomiast udział nadfioletu w komunikacji międzykomórkowej — tzw. promieniowanie mitogenetyczne Gurwicza (1926, 1945, 1969; T. Ryłska 1948) jest faktem bezspornym, potwierdzonym eksperymentalnie przy użyciu aparatury fizycznej (m. in. S. Koniew 1965, 1966).

Na tym kończy się szkicowe zaprezentowanie celowości uorganizowania komórki. Obecnie przechodzi się do analizy komórki jako układu ukierunkowanego celowo.

3. ANALIZA PROCESU DZIAŁANIA CELOWEGO KOMÓRKI

W oparciu o wiadomości o organizacji całościowej układu komórkowego, a w szczególności jego podukładu sterowniczego — jądra, przeprowadzi się poniższą analizę. Komórkę będzie się przy tym traktować jako podmiot działający celowo.

3.1. ZDOLNOŚĆ DO POZNAWANIA CELU JAKO CELU

Mówiliśmy, że młoda komórka (zaraz po podziale komórki macierzystej) ma postawione przed sobą dwa cele: wewnętrzny i zewnętrzny. Całkowita informacja o celu wewnętrznym (którym jest, najogólniej mówiąc, podtrzymanie życia) jest za-

warta w zespole genów „życia”. Komórka jest w sposób pełny poinformowana, posiada ogólny program (wzorzec) życia, który będzie konsekwentnie realizować.

Informacja o wszelkich możliwych celach zewnętrznych komórki jest również zapisana w substancji dziedzicznej — mianowicie w genach „gatunkowych”. W ten sposób komórka jest poinformowana o sposobach działania komórek wszystkich tkanek — całego organizmu. Czyli, można powiedzieć, każda komórka ma „zapisany” szereg programów (wzorców) działania. Który z tych wzorców stanie się celem zewnętrznym dla danej komórki zależy od impulsów (przekazów informacji) przychodzących od komórek ją otaczających. A więc, zależnie od miejsca młodej komórki w zarodku, ten albo inny wzór będzie będzie przez nią respektowany.

Komórka nie dosłownie „poznaje” swoje cele, ona jest o nich poinformowana, posiada wzorce zapisane szyfrem, który potrafi odczytać.

3.2. ZDOLNOŚĆ DAŻENIA DO CELU

Uorganizowanie komórki służy realizacji jej celów. Żeby żyć, trzeba działać. Działanie to musi obejmować całość układu — wszystkie jego instancje — poziomy złożoności.

Na przykładzie jądra ukazano, jak są wzajemnie powiązane poziomy: organelli, biotektonów, makrocząsteczek, drobin i cząstek elementarnych. Działaniem kieruje ośrodek poinformowany o celu i przyjmujący informacje z zewnątrz. Ośrodek ten uaktywnia geny w określonej z góry kolejności, aby każdy ruch, każda zmiana prowadziła całość układu do celu.

3.3. CZYNNOŚCI SŁUŻĄCE OSIĄGNIĘCIU CELU

Człowiek przed rozpoczęciem działania układa plan, wybiera środki i gromadzi energię.

Komórka nie układa planu. Ona dziedziczy informację o sposobach działania, tak jak informację o celu swego życia. Struktury i funkcje podukładów służą realizacji celu.

Program życia komórki jest „opracowany” od góry do dołu, od ogólnego zarysu do najdrobniejszych szczegółów — od morfologicznego różnicowania podukładów komórkowej całości do kształtów chmurek elektronowych wokół poszczególnych genów (cząsteczek DNA) lub dokoła cząsteczek specyficznego białka.

Do produkowania czegoś, do pracy potrzebne są odpowiednie narzędzia (aparaty) i materiały (środki). Komórka sama tworzy swe aparaty działania (np. mitochondria) ściśle według planu zawartego w zespole genów gatunkowych. W tychże genach zapisana jest informacja, jakich należy użyć materiałów. Komórka pobiera takie a nie inne surowce z otoczenia, wybierając je spośród wielu. Gdy jednak jądro odbierze informację, że zwykły surowiec się wyczerpał, przestawia się na inny, znajdujący się aktualnie w otoczeniu. Do obróbki nowego surowca potrzebne są inne kompleksy enzymów, toteż przed rozpoczęciem produkcji jądro uaktywnia geny będące wzorcem dla tych właśnie enzymów.

Możemy powiedzieć, że w ostatnim przypadku komórka zachowuje się „inteligentnie” w swym konsekwentnym dążeniu do celu, mimo zaistniałych przeszkód.

Wszelka praca wymaga przepływu informacji i nakładu energii. Struktury komórkowe (jądrowe i cytoplazmatyczne) są tak zbudowane, żeby mogły odbierać i przekazywać informację; jest to warunkiem ich sprawnego działania. Upatruje się tu miejsce dla fizycznego przekazu informacji, szczególnie w formie promieniowania UV.

Praca może się odbywać na koszt energii użytecznej; dostarcza jej przede wszystkim ATP. Komórka generuje nieustannie nowe cząsteczki ATP przez wiązanie wysokoenergetyczne ADP z cząsteczką kwasu fosforowego. Odbywa się to w mitochondriach (na koszt energii zwykłych wiązań między atomami cząsteczek organicznych) oraz w chloroplastach (na koszt pochłanianej energii świetlnej — słonecznej). Przed rozpoczęciem jakiejś poważniejszej pracy (jak podział komórki, synteza hormonu itp.) uczyniają się geny sterujące aparatami fosorylacji i wzmaga się produkcja ATP.

3.4. SPRĘŻENIE ZWROTNE I KOREKCJA DZIAŁANIA

Jądro jest informowane w sposób ciągły o wykonywanym zadaniu w procesie informatywnym zwanym sprzężenie zwrotne (*feed back*). Jeżeli proces nie przebiega prawidłowo, nie jest dostatecznie natężony, jądro reaguje przesyłając dodatkowe informacje do aparatu działającego. Korekcja następuje jeszcze w czasie działania, zanim odchylenie wyrządzi większe szkody.

4. PODSUMOWANIE

Istotą życia jest organizowanie się; nie znamy organizacji bez celu; stąd działanie celowościowe jest właściwością każdego żywego układu.

Zdolność do takiego działania jest uzależniona od dwóch czynników: informacji o celu i uorganizowania wewnętrznego. Informacja o celu jest „zapisana” w kodzie „zrozumiałym” dla podukładów i nieustannie im jest przekazywana. W rezultacie budowa i działanie podukładu jest ściśle podporządkowane celowi układu jako całości.

Uorganizowanie jest hierarchiczne, wielopoziomowe. W przypadku komórki (która jest, po organizmie, najsprawniej działającym układem żywym) na szczycie hierarchii znajduje się podukład informacyjno-sterowniczy — jądro. Jest ono środkiem informacji, organizacji i działania.

W zespole genów jądrowych (w genomie) jest ześrodkowana informacja wewnętrzna komórki; upatruje się w nim centrum hipotetycznego „pola biotycznego” (A. Gurwicz 1944). Zgodnie z teorią pola poszczególne geny wyznaczałyby zarówno kształty anizotropowej figury protoplazmy, jak i strukturę i sposób działania każdego podukładu (od góry do poziomu cząstek elementarnych włącznie) oraz czas jego aktywizacji. Działanie aktualne genu (lub kilku genów) na jakiś układ (np. makrocząsteczkę białka) znajdujący się w danym wycinku (miejscu) protoplazmy można by wyrazić w postaci wektora. Kierunek strzałki wyznaczałby ukierunkowanie ruchu układu, zaś długość jej — siłę (energię jakiej dany układ potrzebuje, aby zlecony ruch wykonać). Strzałkę taką nazwalibyśmy „wektorem informacyjnym”.

Ośrodek pola sterowałby zmieniającymi się nieustannie wektorami, a więc wszelkim ruchem (zmianą w układzie) oraz zaopatrywałby zaangażowane podukłady w potrzebną energię.

Komórkowe pole biotyczne pokrywałoby się w przestrzeni z zasięgiem płynących od jądra informacji, a więc obejmowałoby nie tylko całość komórki ale wychodziłoby daleko poza jej granice (stąd możliwość międzykomórkowego przekazu informacji — komunikacji międzykomórkowej).

Sterowanie polowe wymaga nieomal ciągłego przekazu informacji. Ze względu na pochłanianie kwasów nukleinowych i innych substancji protoplazmy oraz biorąc pod uwagę wymagane cechy nośnika informacji (szybkość, wybiórczość) przy-

puszcza się, że takim generalnym „nośnikiem” informacji w żywym układzie jest promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu nadfioletu. Starano się to wykazać szczegółowo w poprzednim rozdziale.

Analiza różnych działań komórki (zwłaszcza jądra) ujawniła istnienie w tym mikroskopijnym układzie wszystkich czynników i urządzeń informacyjnych oraz energetycznych zapewniających sprawne, ekonomiczne i celowe działanie. Działanie człowieka może być celowe lub niecelowe, skuteczne albo nieskuteczne; komórka zaś działa celowo i skutecznie od swych narodzin aż do śmierci. Naruszenie jej całościowych aparatów powoduje chorobę, a nawet przerwanie życia.

Człowiek myśli, planuje, dobiera, sprawdza przy pomocy swego centralnego układu nerwowego — mózgu. Mózg składa się z wielu miliardów komórek. Celowościowe procesy przebiegające w neuronach są podstawą działania intelektualnego mózgu jako całości. Gdyby neurony nie były uorganizowane i nie działały celowo, zgodnie ze swą informacją wewnętrzną, niemożliwy byłby proces myślenia.

Najdziwniejsze jest to, że życie zostało zaprogramowane w sposób tak oryginalny tak — można powiedzieć — przemysłny bez udziału jakiegoś programującego intelektu — samo z siebie. Zwłaszcza, że stało się to jeden jedyny raz, a od tego momentu przez ok. 3 miliardy lat niezmienny program życia trafia do każdej nowotworzącej się komórki.

LITERATURA

1. Anochin K. P., *Problemy modelowania procesów życiowych a fizjologia mózgu*, w: *O istocie życia*, tłum. A. Bednarczyk, Warszawa 1967, 331—42.
2. Anochin K. P., *Teoriya funkcjonalnoj sistemy*, w: *Obszczije woprosy fizjologiczeskich mehanizmow*, red. P. K. Anochin, Moskwa 1970, 6—43.
3. Astaurow B. L., *Istota życia a niektóre problemy rozwoju osobniczego i dziedziczności*, w: *O istocie życia*, tłum. A. Bednarczyk, Warszawa 1967, 436—448.
4. Bertalanffy L. von, *The theory of open systems in physics and biology*, „Science”, 111 (1950) 23—29.
5. Bertalanffy L. von, *Problems of life*, London 1952.
6. Białobrzeski Cz., *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego* (zakończenie), „Studia Philos. Christ.”, 8 (1972) 1, 5—23.
7. Britten R. J., E. H. Davidson, *Repetitive and non-repetitive DNA sequences and a speculation on the origins of evolutionary novelty*, „The Quart. Rev. Biol.”, 46 (1971) 2, 11—138.

8. Cunningham H. P., *Négation de la négation. A propos de Hasard et de Nécessité*, Québec 1972.
9. Dauvillier A., *L'origine photochimique de la vie*, Paris 1958.
10. Deisol M., *Hasard. ordre et finalité en biologie*, Québec 1972.
11. Douzou P., *Reversible molecular reactions and biochemical mechanisms*, w: *Electronic aspects of biochemistry*, ed. by B. Pullman, New York 1964, 347—364.
12. Douzou P., *The study of transient molecular configuration in some biophysical problems*, w: *Molecular biophysics*, ed. by B. Pullman, M. Weissbluth, New York—London 1965, 239—268.
13. Driesch H., *Le vitalisme*, „Scientia”, 7 (1924) 13—22.
14. Drischel H., *Podstawy biocybernetyki*, Warszawa 1976.
15. Gatlin L. L., *Information theory and the living system*, New York 1972.
16. Glaser R., *Wstęp do biofizyki*, tłum. z niem., Warszawa 1975.
17. Górski F., *Filozofia roślin*, w: *Biologia XX wieku*, Warszawa 1971, t. I 563—603.
18. Grassé P. P., *L'évolution du vivant*, Paris 1973.
19. Gurwicz A., *Das Problem der Zellteilung physiologisch betrachtet*, Berlin 1926.
20. Gurwicz A., *Teorija biologiczeskogo pola*, Moskwa 1944.
21. Gurwicz A., Gurwicz L. D., *Mitogeneticzeskoje izluczenije*, Moskwa 1945.
22. Gurwicz A., Gurwicz L. D., *Die mitogenetische Strahlung*, Jena 1959.
23. Jacob F., *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris 1970.
24. Kamarit J., *Die Dialektik der Natur und das Problem organische Zweckdienst*, Wiss. Z. Humboldt Univ., Berlin 1963.
25. Klószak K., *Zagadnienie sfinalizowania przyrody a koncepcja bytu*, w: *Z zagadnień kultury chrześcijańskiej*, T. N. KUL. Lublin 1973, 241—54.
26. Klószak K., „Przyrodnicze” i filozoficzne sformułowanie zagadnienia pochodzenia duszy ludzkiej, w: *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody*, pod red. K. Klósaka 1976, t. I, 191—236.
27. Kochański Z., *Problem celowości we współczesnej biologii*, Warszawa 1966.
28. Koniew S. W., *Elektronno-wozbuzdennyje sostojanie biopolimerow*, Minsk 1965.
29. Koniew S. W., Łyskowa T. G., Nisenbaum G. D., *K woprosu o swierchstaboj bioluminescenciji kletok w ultrawioletowej oblasti spektra i jej biologiczeskoj roli*, „Biofizika”, 11 (1966) 2, 361.
30. Krzywacka T., Rylska T., *Badania nad fotoperiodyzmem pachnotki*

- Perilla ocimoides* L., 1. Zmiany morfologiczne roślin pod wpływem przedłużania nocy, „Acta Soc. Bot. Pol.”, 29 (1960) 1, 11—56
31. Kunicki-Goldfinger W., *Dzieńdzictwo i przyszłość*, Warszawa 1974.
 32. Linschiz H., *The information content of a bacterial cell*, w: *Information theory in biology*, ed. by. H. Quastler, Urbana 1953, 251—256.
 33. Maillet M., *Cytologie*, Paris 1977.
 34. Mayr E., *Cause and effect in biology*, „Science”, 134 (1961) 1501—6.
 35. Mayr E., *Teleological and teleonomic: a new analysis*, w: *Methodological and historical essays in the natural and social sciences*, eds R. S. Cohen, M. W. Wartofsky, Dordrecht — Boston 1974.
 36. Melsen A. G. van, *Evolution und Philosophie*, Köln 1966.
 37. Meyer-Abich A., *Organismen als Holismen*, „Acta Biotheoretica”, 11 (1953) 85—106.
 38. Mayer-Abich A., *Die Idee des Holismus*, „Scientia” 7 (1935) 18—29.
 39. Miller J. G., *Systemy żywe*, tłum. z ang., „Prakseologia”, 34 (1960) 3—264.
 40. Miller J. G., *Living systems*, „Currents in Modern Biology”, 4 (1971) 55—256.
 41. Monod J., *Chance nad Necessity*, New York 1971.
 42. Monod J., and Jacob F., *General conclusion: teleonomic mechanisms in cellular metabolism, growth and differentiation*, w: *Cold Spring Symposia on Quant., Biology*, t. 26: *Cellular regulatory mechanisms*, New York 1961, 389—401.
 43. Nagel E., *Teleology revisited. Goal directed processes in biology*, „Journal of Philosophy”, 74 (1977) 261—301.
 44. Nejfach S. A., *Mechanizmy integracji przemian komórkowych* tłum. z ros., Warszawa 1973.
 45. Nowiński Cz., *Pojęcie doboru naturalnego*, w: *Ewolucja biologiczna* pod red. Cz. Nowińskiego, Wrocław 1974, I, 39—124.
 46. Oparin A., *Żizn, jeje priroda, proischozhdienie i razwitie*, Moskwa 1968.
 47. Pittendrigh C. S., *Behavior and evolution*, New Haven 1958.
 48. Pluszcz L. N., *Życie jako walka z entropią*, w: *O istocie życia*, tłum. z ros. A. Bednarczyk, Warszawa 1967, 228—250.
 49. Polanyi M., *Personal knowledge*, London 1962.
 50. Polonsky J., *Information generators of very low temperature*, w: *Electronic aspect of biochemistry*, ed. by B. Pullman, New York 1964, 481—502.
 51. Prat H., *Le champs unitaire en biologie*, Paris 1954.
 52. Przełęcka A., *Synteza RNA w chromatynie jądrowej*, w: *Ultrastruktura i funkcja komórki*, pod red. J. Kawiaka, Z. Osuchowskiej, A. Przełęckiej, Warszawa 1973, 58—71.

53. Pullman A., *The description of molecules by the method of molecular orbitals*, w: *Molecular biophysics*, ed. by B. Pullman, M. Weisbluth New York—London 1965, 81—116.
54. Raven C. P., *The formalisation of finality*, „Folia Biotheoretica”, 5 (1960) 1—27.
55. Robertis E. D., Nowinski W., Saez F. A., *Biologia komórki*, tłum. z ang., Warszawa 1974.
56. Rylska T., *Promieniowanie tzw. mitogenetyczne pączkujących drożdży i narośli rakowatej ziemniaka*, „Ann. U. M. C. S.”, sec. C, 3 (1948) 13, 355—417.
57. Rylska T., *Hipoteza dwufotonowego wzbudzenia cząsteczki barwnika przy zjawiskach uczulenia na światło*, „Fol. Soc. Sci. Lub. Sec. B”, 9 (1969) 93—104.
58. Rylska T., *The presumed role of pigments in the living cell*, 1970 (praca nie publikowana).
59. Rylska (Ścibor-) T., *Problemy życia i organizacji. Porządek i organizacja w przyrodzie*. Warszawa 1974.
60. Sietrow M. I., *Organizacja biosystem*, Leningrad 1971.
61. Steffensen D., *A Comparative view of the chromosome*, „Brockhaven Symp. Biol.”, 12 (1959) 103.
62. Swincicki W. N., *Celowość a funkcjonowanie układów cybernetycznych*, w: *O istocie życia*, tłum. A. Bednarczyk, Warszawa 1967, 310—330.
63. Szent-Györgyi A., *Wstęp do biologii submolekularnej*, tłum. z ang. Warszawa 1968.
64. Szumiel I., Zajdel M., *Udział adenozy-no-3'5'-monoosforanu w regulacji czynności genów u zwierząt*, w: *Ultrastruktura i funkcja komórki*, Warszawa 1973, 181—190.
65. Śniadecki J., *Teoria jestestw organicznych*, 1, Rafałowicz, Wilno 1938.
66. Teilhard de Chardin P., *Le phénomène humain (Oeuvres, 1)* Paris 1956.
67. Teilhard de Chardin P., *La place de l'homme dans la nature*, Paris 1956.
68. Terasima T., Fujiwara Y., Tanaka S., *Synchronous culture of L cells and initiation of DNA synthesis*, Proc. Int. Conf. Tissue Cult, w: *Cancer Res.*, (1968).
69. Trinczer K. S., *Granice stosowalności fizyki w biologii*, w: *O istocie życia*, tłum. A. Bednarczyk, Warszawa 1967, 251—269.
70. Wasilewska-Dziubińska E., *Budowa i funkcja rybosomu*, w: *Ultrastruktura i funkcja komórki*, Warszawa 1973, 173—180.

71. Whyte L. L., *Internal factors in evolution*, London 1965.
72. Wojciechowski T., *Przypadek i celowość w ewolucji biologicznej*, w: *Z zagadnień filozofii przyrodznawstwa i filozofii przyrody*, pod red. K. Klósaka, Warszawa 1976, t. I, 321—351.

LA FINALITÉ DANS LA VIE DE LA CELLULE

(Résumé)

La première partie de l'article est consacrée au problème de la finalité du point de vue de la philosophie et des sciences. On y parle d'un part du finalisme, de la téléologie, de la téléonomie et de l'autre part du mécanicisme. On y analyse aussi l'action finalisée de l'homme.

On constate enfin, que la structure et la fonction des systèmes biotiques donnent la preuve de leur finalité. La vie (qui est un procès d'organisation) semble être finalisée par sa nature même.

Dans la seconde partie on parle de la cellule et de son noyau comme les exemples des systèmes organisés et finalisés. On discerne deux genre de buts de la cellule: la fin interne (purpose) et la fin externe (goal).

La role informatique (cybérmatique) du noyau est analysée, aussi bien que les modalités de son transfert. On trouve qu'à côté du transfert chimique existe un transfert physique beaucoup moins connu. Le rayonnement ultra-violet pourrait être utilisé dans la cellule comme le moyen du transfert d'information. Une analyse de l'action d'un système biotique montre qu'elle est dirigée vers la fin. En liaison avec cela on fait aussi une allusion à la théorie du champs biotique.