

Anna M. Latawiec

Zjawisko regeneracji biologicznej a informacja strukturalna

Studia Philosophiae Christianae 18/1, 185-198

1982

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.

ANNA M. LATAWIEC

ZJAWISKO REGENERACJI BIOLOGICZNEJ A INFORMACJA STRUKTURALNA

1. Wprowadzenie. 2. Istota regeneracji. 3. Pojęcie informacji strukturalnej na tle informacji biologicznej. 4. Relacja zjawiska regeneracji biologicznej do informacji strukturalnej. 5. Uwagi końcowe.

1. WPROWADZENIE

Już pobieżna lektura literatury naukowej pozwala na stwierdzenie dużego zainteresowania z jednej strony pojęciem informacji w różnych jej aspektach i rodzajach, z drugiej zaś — różnorodnymi zjawiskami biologicznymi, w tym także zjawiskiem regeneracji. Są to jednakże zainteresowania zupełnie niezależne. Informacja jest przedmiotem badań socjologów, psychologów, matematyków, a także biologów. Rozpatrują oni informację z punktu widzenia interesujących ich nauk, zagadnień czy aspektów (np. ilości, jakości, wartości). W biologii zagadnienie informacji wiązane jest przede wszystkim ze zjawiskami dziedziczenia (informacja genetyczna), bądź porozumiewania się zwierząt. Wydaje się, że jest to zbyt jednostronne ujmowanie problemu.

W przeprowadzanych badaniach i eksperymentach szczególny nacisk kładzie się na tę problematykę, której rozwiązanie może w istotny sposób zmniejszyć np. cierpienie człowieka. Do najczęściej podejmowanych zagadnień przez biologów należą: problem raka, ochrony środowiska, możliwości przeszczepów uszkodzonych lub chorych organów oraz regeneracji brakujących części ciała. Podejmowane badania dokonywane są głównie na organizmach zwierzęcych, a częściowo i roślinnych. Ich wyniki znajdują zastosowanie głównie na obszarze medycyny.

Organizm podlegający zjawisku regeneracji traktowany jest jak „czarna skrzynka”, obserwowany jest jego stan początkowy i końcowy. Przebieg samego zjawiska jest stale jeszcze

mało znany. Podejmowane są próby wyjaśnienia jego mechanizmu przy pomocy pojęcia informacji, lecz nie jest ono związane z informacją strukturalną.

2. ISTOTA REGENERACJI

Pojęcie regeneracji zostało wprowadzone już w 1712 roku przez R. A. Reaumura¹. Sam wyraz pochodzi od łacińskiego *regeneratio* czyli budowanie na nowo, odtwarzanie. Zjawisko to jest bardzo powszechne w świecie roślinnym i zwierzęcym, lecz mechanizm jego nie jest do końca poznany.

Istnieje między innymi pogląd, że regeneracja jest reakcją przystosowania się i podlega podstawowym prawom biologicznym. Jej zewnętrznym wyrazem jest rozmnażanie komórek i wytwarzanie nowej tkanki w celu usunięcia powstałych ubytków². Natomiast zdaniem E. W. Sinnotta regeneracja to skłonność organizmu do odbudowy określonych części, które uległy oddzieleniu lub fizjologicznemu odizolowaniu, w efekcie czego następuje odtworzenie całości organizmu³. Właśnie ta skłonność do odbudowy stanowi jego zdaniem istotę regeneracji.

Procesy regeneracyjne wykazują duże podobieństwo, a nawet identyczność z normalnym procesem różnicowania. Zjawisko regeneracji często wiąże się ze zjawiskiem rozmnażania wegetacyjnego, które polega na odłączeniu od organizmu rodzicielskiego jego pewnych części, przekształcających się w organizm potomny. Części te są często specjalnie przystosowane do celu rozmnażania⁴.

Regeneracja pojawia się wśród roślin i zwierząt. Powstanie nowych organów lub tkanek w skaleczonych i odzielonych fragmentach rośliny polega na przeróżnicowaniu powrotnym komórek występujących w pobliżu rany, a następnie na nowym różnicowaniu w ten sposób powstałych komórek merystatycznych. Rośliny z reguły odznaczają się dużą zdolnością regeneracyjną⁵.

Odizolowanie fragmentu łodygi bądź innego organizmu roślinnego powoduje wznowienie procesu podziałów komórko-

¹ H. Doroszewski, *O regeneracji*, Warszawa 1972, 6.

² S. Bagiński, *Biologia kambium tkankowego*, Łódź 1958, 8.

³ F. B. Salisbury, C. Ross, *Fizjologia roślin* (tłum. z ang.), Warszawa 1975, 548.

⁴ F. B. Salisbury, C. Ross, dz. cyt., 548.

⁵ R. Kandeler, *Fizjologia rozwoju roślin*, Warszawa 1977, 108.

wych. Biologowie stawiają sobie pytanie o przyczynę takiego zjawiska. Przeprowadzane badania pozwalają wnosić, iż zranienie tkanek powoduje wyzwalenie „hormonów przyrannych” stymulujących podziały komórek (np. kwas traumatynowy). Zjawisko regeneracji ma, zdaniem wielu biologów, stanowić niezbity dowód, że proces różnicowania się w różnych typach komórek roślinnych nie jest połączony z utratą ich możliwości genetycznych⁶.

Proces regeneracji dokonuje się na różnych etapach. W przypadku roślin są to: odróżnicowanie, wytworzenie kalusa i jego różnicowanie się z wytworzeniem się nowych organów⁷.

W świecie zwierzęcym znajdujemy także szereg przykładów ilustrujących powszechność występowania zjawiska regeneracji. Zjawisko to posiada różny przebieg w przypadku różnych organizmów, lecz w efekcie zawsze prowadzi do odtworzenia brakujących części. To odtwarzanie może dotyczyć całego organizmu lub też znacznych jego obszarów bądź części.

Stojące stosunkowo nisko w systematyce gąbki posiadają zdolność regeneracji pozwalającą na zrekonstruowanie się organizmu z zupełnie odrębnych fragmentów i komórek. Stulbia może się odtworzyć nawet z 1/200 części ciała. Izolowane czułki nie posiadają tej zdolności, lecz wystarczy drobna część ścianki, by po przegrupowaniu komórek powstał nowy osobnik. U niektórych *Hydroidea* (np. *Clava*) można po roztrzcieniu ciała zwierzęcia, bez uszkodzenia komórek (co czyni się w czasie przecierania przez gazę) obserwować skupienie się poszczególnych komórek, w wyniku czego tworzy się zawiązek nowego ciała⁸.

Wyplawki można pociąć na drobne odcinki, przy czym każdy odtworzy brakujące części. Doświadczalnie udało się uzyskać pełną regenerację u *Duquesia tigrina* (*Triclada*) z fragmentów stanowiących (1/297 części długości całego ciała. W zjawisku regeneracji występuje na ogół wyraźna bieguność polegająca na tym, że część, której obcięto pewien odcinek, odtwarza tylko właściwy mu odcinek brakujący. Natomiast wstężnice (np. *Lineus ruber*) jeszcze z odcinków 0,5 cm długości odtwarzają właściwie brakujące

⁶ P. F. Wareing, I. D. J. Phillips, *Regulacja wzrostu i różnicowania u roślin* (tłum. z ang.), Warszawa 1976, 239.

⁷ *Fizjologia roślin*, pod red. J. Zurzyckiego, M. Michniewicz, Warszawa 1977, 526.

⁸ *Zoologia*, t. 2, pod red. E. Grabdy, Warszawa 1972, 163 oraz 232—233.

części, pod warunkiem zachowania zwojów mózgowych⁹.

U wieloszczetów po odcięciu przedniego fragmentu ciała, niezależnie od tego, ile segmentów zostało odciętych, regenerują wyłącznie brakujące segmenty larwalne. Po odcięciu tylnego końca ciała regeneruje tylko płat analny ze strefą wzrostu, a wytwarzanie się nowych segmentów odbywa się dalej drogą zwykłego wzrostu subterminalnego. Niektóre wieloszczety już za dotknięciem rozpadają się na szereg części, które następnie szybko odtwarzają swą poprzednią postać. Podobna łatwość regeneracyjna pojawia się w przypadku skąposzczetów¹⁰.

Wyższe organizmy posiadają mniejszą zdolność regeneracyjną. Ptaki i ssaki tej zdolności już nie mają, mogą jedynie regenerować tkanki np. przy gojeniu się ran skóry lub złamań¹¹.

Wydaje się, że pojawienie się zjawiska regeneracji należy wiązać z występowaniem w pozostałych fragmentach ciała jakiejś informacji, która dotyczy sposobu odbudowy brakujących części ciała. Może pozostałe fragmenty tak silnie oddziałują, że wymuszają proces regeneracji. Zjawisko regeneracji powoduje, że powstaje „coś z niczego”. Proces odtwarzania musi być w jakiś sposób pobudzany. Trudno przyjąć, aby to pobudzenie miało charakter zewnętrzny. O jego wewnętrznym pochodzeniu świadczyć może fakt, iż do odtwarzania brakujących elementów wymagana jest obecność określonej wielkości pozostałości macierzystej, bądź określony fragment lub też zachowanie np. zwojów mózgowych.

Te racje zdają się przemawiać za wewnętrznym pochodzeniem bodźca pobudzającego powstawanie zjawiska regeneracji. Przytoczone powyżej przykłady regeneracji zachodzącej w świecie roślinnym i zwierzęcym ilustrują jedynie skutki tego procesu, nie wyjaśniają jednakże jego przebiegu. Podejmowane są próby wiązania tego zjawiska z działaniem odpowiednich hormonów roślinnych lub zwierzęcych, z jakąś dążnością organizmu do uzupełniania braków.

Wszelkie próby wyjaśnienia przyczyny odtwarzania zniszczo-

⁹ *Zoologia*, t. 1, dz. cyt., 305.

¹⁰ *Zoologia*, t. 1, 467, 487, oraz W. N. Beklemiszew, *Podstawy anatomii porównawczej bezkręgowców*, t. 1, Warszawa 1957, 236.

¹¹ C. L. Markert, H. Ursprung, *Genetyka rozwoju* (tłum. z ang.), Warszawa 1974, omawiają zjawisko regeneracji biologicznej.

nych fragmentów ciała wydają się być w konsekwencji wprowadzone do stwierdzenia istnienia jakiegoś czynnika, który wymusza pojawienie się tego procesu. Zdaniem piszącej te słowa wydaje się, iż tym czynnikiem jest pewien typ informacji biologicznej, nazwanej w dalszej części pracy informacją strukturalną.

3. POJĘCIE INFORMACJI STRUKTURALNEJ NA TLE INFORMACJI BIOLOGICZNEJ

Przez informację biologiczną rozumieć będziemy każdy rodzaj oddziaływania (zarówno wewnętrznego, jak i zewnętrznego) na organizm (i wewnątrz niego), przebiegający na dowolnym poziomie organizacyjnym, służący organizmowi do życia i przeżycia w warunkach aktualnych i przyszłych. W tak pojętej informacji biologicznej wartości omówienia są dwa momenty: określenie pojęcia oddziaływania jako utożsamionego z samą informacją oraz zagadnienie zrelatywizowania tego oddziaływania do poziomów organizacji żywej materii, co z kolei wiąże się z pojawieniem się różnych rodzajów informacji biologicznej, w tym także i strukturalnej.

Przez oddziaływanie rozumieć należy pewną dwuczłonową relację niekoniecznie symetryczną, określoną na zbiorze wszystkich przedmiotów tzn. x oddziałuje na y (xRy). Zbiór przedmiotów może zawierać zarówno najdrobniejsze elementy składowe każdego organizmu żywego, jak i same organizmy żywe. Omawiana relacja pojmowana jest potencjalnie, co oznacza, że xRy zachodzi nie tylko wówczas, gdy oddziaływanie x na y istnieje, lecz także wówczas, gdy oddziaływanie to już zaszło, zajdzie lub może zajść. Tak pojęte oddziaływanie obejmuje wszelkie znane typy oddziaływań jak silne, słabe, elektromagnetyczne, grawitacyjne, a także wszelkie inne możliwe.

Należy mocno podkreślić odmienną naturę pojęcia oddziaływania od pojęcia działania. Działanie jest bowiem wyrazem zajęcia pewnej czynnej postawy wobec czegoś, co możliwe jest jedy-

¹² K. Klósak, „Przyrodnicze” i filozoficzne sformułowanie zagadnienia pochodzenia duszy ludzkiej, w: *Z zagadnień filozofii przyrodzności i filozofii przyrody*, pod red. K. Klósaka, t. 1, Warszawa 1976, 197, por. także J. Łukasiewicza, *Z zagadnień logiki i filozofii*. Wybór pism, Warszawa 1961, 16—21.

nie w oparciu o choćby szczątkowe poznanie¹². Działanie może więc być wiązane jedynie z organizmami obdarzonymi jakimś stopniem Życia psychicznego. Podkreśla się więc tu moment świadomości i celowości. Organizmy działające muszą znać przedmiot tego aktywnego poznania. Działanie jest więc tylko pewnym typem oddziaływania, które jest pojęciem szerszym. Oddziaływanie nie musi być celowe ani świadome. Natomiast pojawiające się wśród organizmów niższych wszelkie formy działania nie koniecznie muszą być uświadomione lub celowe.

Przyjęcie utożsamienia pojęcia informacji biologicznej z pojęciem oddziaływania nasuwa wnioski o konieczności wyróżnienia oddziaływania zewnętrznego i wewnętrznego (przez analogię do informacji biologicznej zewnętrznej i wewnętrznej). Jednakże zdarza się, że przez oddziaływanie zewnętrzne rozumie się każdą zmianę w prawach fizyki albo w wartościach podstawowych stałych fizycznych (np. g , e , m) w określonym przedziale czasu¹³. W niniejszym opracowaniu takie podejście wydaje się być za wąskie.

Związywanie pojęcia informacji biologicznej z poziomami organizacji materii żywej wymaga choćby skrótowego omówienia. Koncepcję poziomów organizacji żywej materii sformułował I. Needham¹⁴. Podał on, że cała materia żywa zbudowana jest z pewnych części, które tworząc całość, tworzą coś odmiennego niż tylko sumę tych poszczególnych części. Każdy z poziomów organizacji materii jest środowiskiem dla najbliższego poziomu.

Zaproponowany przez P. A. Weissa koncentryczny model organizacji materii żywej¹⁵ przyjmuje następujące ułożenie poziomów: gen- chromosom- jądro- cytoplazma- tkanka- organizm- środowisko. Jednakże ta propozycja nie może zadowolić przy próbie wiązania procesu oddziaływania z odpowiednim poziomem organizacyjnym. Okazuje się, że z oddziaływaniem spotykamy się już w obrębie atomów. Atomy oddziałują na siebie poprzez swoje orbitalne elektrony i wielkości jąder atomowych. Ten rodzaj oddziaływania pojawia się na poziomie submolekularnym. Przedrostek sub- oznacza coś bardzo małego, ale jednocześnie z określenia poziomu sugeruje

¹³ C. Kittel, W. D. Knight, M. A. Ruderman, *Mechanika* (tłum. z ang.) Warszawa 1973, 171.

¹⁴ D. P. de Robertis, W. W. Nowiński, F. A. Saez, *Biologia komórki*, (tłum. z ang.), Warszawa 1974, 26.

¹⁵ Tamże, 25.

się pewną odrębność procesów i struktur funkcjonujących w nim. Jest to najniższy typ oddziaływania. Wyższy poziom to poziom molekularny. Struktury tego poziomu pojawiają się w procesie łączenia się struktur poziomu submolekularnego w większe, bardziej złożone. Przy czym nie stanowią one jedynie ich sumarycznych konglomeratów. A zatem pojawiają się pewne związki atomów czyli struktury białkowe np. geny czy antygeny niosące oddziaływanie genetyczne lub immunologiczne. Kolejny poziom stanowią dalsze złożenia tych struktur, w efekcie których pojawiają się elementy komórek. Na tym poziomie dokonuje się oddziaływanie między poszczególnymi składnikami komórki; to właśnie oddziaływanie nazywamy informacją strukturalną.

Dalsze poziomy to poziom tkanek, narządów, układów, organizmów, populacji, biosystemów i biosfery. Wszystkie wymienione poziomy posiadają pewną odrębność funkcjonalną i składową. Ta odrębność polega na tym, że choć poszczególne poziomy są od siebie oddzielone, to są równocześnie uzależnione i wzajemnie ze sobą współpracują. Każdy podpoziom stanowi samodzielną organizację będąc jednocześnie elementem składowym wyższego poziomu.

Informacja strukturalna jest więc oddziaływaniem na poziomie komórkowym. Jest to oddziaływanie wzajemne struktur komórkowych będących pozostałościami z organizmu macierzystego, mające charakter wewnętrzny, służące organizmowi do odtworzenia zniszczonych lub brakujących fragmentów ciała, zapewniające przez to normalne funkcjonowanie organizmu.

W przypadku bakteriofagu f2 zbudowanego z osłony białkowej, cząsteczek białka i RNA¹⁶, działanie nań środkami dysocjującymi powoduje jego rozpad na odrębne cząsteczki białka i kwas nukleinowy. Jednakże ponowne stworzenie mu warunków normalnych umożliwia jakby samoistne złożenie białka i kwasu w cząstkę wirusa z zachowaniem jego poprzedniego kształtu oraz wszystkich poprzednich własności. W tych wyodrębnionych strukturach wirusa musi być przechowywana informacja (właśnie strukturalna) odnośnie do sposobu ewentualnego odbudowania organizmu i zachowania jego wszystkich własności. W przypadku wspomnianego wirusa mamy

¹⁶ W. Kunicki-Goldfinger, *Dziedzictwo i przyszłość*, Warszawa 1974, 182.

jego elementy, choć są one w stanie rozpadu. Odbudowa jego ciała polega na scaleniu wszystkich jego części, które są w stanie rozpadu. Te właśnie części muszą zawierać informację o planie scalenia i własnościach, to one poprzez wzajemne oddziaływanie na siebie powodują łączenie się i wiązanie w poprzednią strukturę.

W przypadku typowego zjawiska regeneracji rzecz się ma zupełnie odmiennie. Zjawisko to ma miejsce, jak wspomniano już wcześniej, na każdym poziomie żywej materii roślinnej i zwierzęcej. Regeneracja polega przecież na odtwarzaniu brakującego fragmentu organizmu. Tego brakującego elementu nie ma. Nie ma go również z czego odtworzyć. Ma on być odtworzony według jakiegoś planu, który musi być „zawarty” w pozostałych elementach organizmu. Jak wykazują doświadczenia przeprowadzane przez biologów, rozmiary tych pozostających fragmentów organizmów regenerujących muszą posiadać pewne określone wymiary, tak by proces regeneracji mógł zajść. Jest to więc kolejny „dowód” na to, że ta „jakaś” informacja o planie budowy mieści się w pozostałych fragmentach organizmu i to w jakichś określonych miejscach tych pozostałości.

Być może w zjawisku regeneracji oprócz informacji strukturalnej pojawia się także informacja genetyczna. Jak bowiem wiadomo z biologii jest to ten rodzaj informacji biologicznej¹⁷, który pojawia się już u najprostszych form żywych organizmów roślinnych i zwierzęcych, informacja genetyczna zawarta jest na poziomie molekularnym w kwasach nukleinowych. Zapisana jest przy pomocy kodu genetycznego i dotyczy instrukcji o tym, jakie białka i kiedy mogą być w komórce syntetyzowane. W tym też aspekcie informacja genetyczna prawdopodobnie bierze udział w procesie regeneracji, uzupełniając funkcje informacji strukturalnej.

Z informacją strukturalną można wiązać także pojęcie informacji tzw. pozycyjnej, której koncepcję zaproponował L. Wolpert¹⁸. Uchwycenie sensu tej interesującej koncepcji możliwe jest po przeanalizowaniu jej podstawowych tez. Na

¹⁷ Tych rodzajów informacji biologicznej można wymienić kilka, choć nie wszystkie są jednakowo przyjmowane. Wyróżnić można informację atomową, immunologiczną, strukturalną, genetyczną, ekologiczną i typu komunikacji.

¹⁸ L. Wolpert, *Pattern Formation in Biological Development*, Scientific American, 238(1978) nr 4, 124—136, zwięzły opis tej koncepcji można znaleźć w pracy *Biologia molekularna. Informacja genetyczna*, pod red. Z. Lassoty, Warszawa 1980, 487—490.

określenie zespołu różnicujących się komórek, wykazujących pewną przestrzenną prawidłowość względem tych samych punktów odniesienia wprowadzono pojęcie pola morfogenetycznego (samo pojęcie pola rozwinął P. A. Weiss). Wspomnianymi punktami odniesienia mogą być granice pola, specjalne punkty na jego granicy lub w obrębie pola. Przy założeniu, że pole posiada dwa wymiary i w swej początkowej sytuacji stanowi pojedynczą warstwę komórek przyjęto, iż pole z jednym punktem odniesienia nazwane będzie polem morfogenetycznym jednobiegunowym. Okazuje się jednak, że w przyrodzie obserwuje się pola dwubiegunowe. Są to pola, w których występują dwa jakościowo różne punkty odniesienia. Tymi punktami są początek i koniec układu. Przestrzenne zróżnicowanie powstające między punktami układu się wzdłuż osi między biegunami.

Bieguny oddziałują, zdaniem L. Wolperta, na sąsiednie komórki pola, stanowiąc źródło informacji dla danej komórki o jej położeniu względem jednego z biegunów. A zatem najistotniejsza jest informacja o położeniu, o pozycji danej komórki względem określonego punktu odniesienia. Tę właśnie informację o położeniu komórki przyjęto nazywać informacją pozycyjną (*positional information*). Każda komórka posiada zdolność odbierania, pamiętania (tj. przechowywania) i przekazywania informacji pozycyjnej. Z powyższego nasuwa się wniosek, że komórki otrzymują informację pozycyjną i odpowiadają na nią przez różnicowanie się w odpowiedni sposób. Odbieranie i przekazywanie informacji pozycyjnej wykazuje kierunkowość, która wyraża się w polaryzacji układu względem jego punktów odniesienia. Polaryzacja ta może być promieniasta (w polu jednobiegunowym) lub osiowa (w polu dwubiegunowym). Jedną z ogólniejszych cech pól pozycyjnych jest to, że zawsze są małe, a także fakt, iż czas potrzebny do ich wytworzenia jest długi. Pola pozycyjne mają mniej niż 100 komórek tj. około 1 mm długości, a bardzo często są znacznie mniejsze, natomiast czas wymagany do ich wytworzenia sięga rzędu godzin.

Zróżnicowanie komórkowe jest tylko jednym aspektem rozwoju. Różne formy charakteryzujące dorosłe zwierzę są wynikiem różnorodnych procesów. Jeśli zastanowimy się nad budową np. ramienia i nogi (kończyny górnej i dolnej), to stwierdzimy, że zawierają one te same typy zróżnicowanych komórek (tworzących mięśnie, tkankę łączną itp.), lecz przestrzennie zorganizowanych odmiennie. Zdaniem L. Wolperta,

ta właśnie przestrzenna organizacja komórek jest istotą tzw. formowania wzoru (*pattern formation*)¹⁹. Biologowie rozpoznali około 200 typów komórek w ciele ludzkim. Okazuje się, że u szympansa pojawiają się dokładnie te same typy komórek; różnica między człowiekiem a szympansem jest różnicą przestrzennej organizacji tych komórek. Wśród strunowców można zauważyć pewną różnorodność typów komórek, lecz klucz do różnej organizacji tych wszystkich form leży nie w komórkach jako takich, ale w tym, jak te podstawowe jednostki tworzące organizm są rozmieszczone przestrzennie podczas rozwoju. Wiedza o tym, jak poszczególne narządy i tkanki różnicują się, niewiele może nam powiedzieć o tym, w jaki sposób pięć palców uzyskuje swój kształt.

Zarówno regulacja wzorców, jak i regeneracja utraconych struktur u dorosłego osobnika może być opisana terminami informacji pozycyjnej. Regeneracja i regulacja wymagają zastąpienia utraconych wartości pozycyjnych przez nowe wartości reinterpretowane przez komórki. Dokonuje się to na dwa sposoby. Jeden to *morphallaxis* polegający na wytworzeniu się nowego rejonu granicznego na powierzchni cięcia chirurgicznego, oraz na specyfikacji nowej wartości pozycyjnej z uwzględnieniem tej nowo wytworzonej granicy. Drugi sposób to *epimorphosis*, gdzie regenerowane struktury powstają poprzez wzrost, a nowe wartości pozycyjne są tworzone w nowej tkance.

L. Wolpert²⁰ uważa, że pojęcie informacji pozycyjnej dostarcza użytecznej konstrukcji, w ramach której może być zrozumiany rozwój biologicznych wzorców i ich regulacja. Komórki posiadają zdolność odpowiadania (*corresponding*) na ich wartość pozycyjną.

Pola morfogenetyczne posiadają zdolności regulacyjne. W procesie zmiany granic pola, usunięcia lub zmiany położenia biegunów mogą spowodować zmianę regulacji gradientów i regionów pola w stosunku do nowych punktów odniesienia.

Sami autorzy koncepcji informacji pozycyjnej (L. Wolpert, P. J. Bryant, S. V. Bryant, V. French) wiążą ją ze zjawiskiem regeneracji zarówno sztucznej czyli spowodowanej przez zabiegi chirurgiczne, jak i naturalnej czyli pojawiającej się po przypadkowych uszkodzeniach organizmów żywych. Dokonują oni szeregu doświadczeń i obserwacji na roślinach i zwierzętach. Twierdzą, że odkrycie praw rządzących zachowaniem

¹⁹ L. Wolpert, dz. cyt., 124—125.

²⁰ Tamże, 135.

komórek z różnych rejonów pola dostarcza wiedzy na temat regeneracji i przestrzennej organizacji np. odnoży karaluchów i traszek. Komórki z różnych poziomów odnoża karalucha posiadają pozycyjną informację. Wyniki eksperymentów sugerują, że komórki różnią się swymi pozycyjnymi wartościami zgodnie z ich pozycjami obwodowymi (*circumferential positions*), bez względu na ich wzajemne położenie (oddalenie lub bliskość). Współdziałanie komórek o różnych wartościach pozycyjnych w obwodzie np. kończyny prowadzi do miejscowej stymulacji wzrostu ²¹.

Wydaje się, że przedstawiona skrótowo koncepcja informacji pozycyjnej (stałe jeszcze rozbudowywana i precyzowana) nie stoi w sprzeczności z zaproponowaną koncepcją informacji strukturalnej. Istnieje między tymi dwiema koncepcjami pewna zbieżność. I tak w przypadku informacji pozycyjnej jej nośnikami byłyby komórki z zakodowaną informacją o ich położeniu; podobnie w przypadku informacji strukturalnej takimi nośnikami są również komórki, ich skupiska. Wystarczy bowiem czasami zwykle skupisko komórek, by odregenerowany został cały organizm; czasami zaś wymagana jest pewna wielkość brakującego organu lub też konkretny jego fragment.

Mimo tego podobieństwa wydaje się, że koncepcja informacji pozycyjnej nie jest pełna. Jeśli odwołamy się do doświadczenia z przetartym przez gazę organizmem zwierzęcia, to okaże się, iż całe komórki zatraciły porządek swego występowania w organizmie. Jest to naturalny efekt procesu przecierania. Okazuje się, że te komórki wykazują tendencję do ponownego łączenia się w prawidłowy organizm żywy. Nie wydaje się, iż proces tego odbudowywania organizmu z zachowanych komórek był tylko wynikiem „pamiętania” swej poprzedniej pozycji wśród pozostałych komórek. Wydaje się, iż głównym mechanizmem jest w tym procesie wzajemne oddziaływanie na siebie tych samodzielnych komórek prowadzące do prawidłowego łączenia się w ciało organizmu macierzystego. A więc jest to proces będący skutkiem działania organizmu (komórek) który otrzymał informację strukturalną o rozpadzie. Reakcją na przyjętą informację jest właśnie proces odbudowy.

Omówiony mechanizm odtwarzania wydaje się być przede wszystkim skutkiem przyjęcia informacji o rozpadzie czyli informacji, która jest oddziaływaniem wzajemnym komórek

²¹ P. J. Bryant, S. V. Bryant, V. French, *Biological Regeneration and Pattern Formation*, Scientific American, 237(1977) nr. 1, 67—77.

prowadzącym do tej odbudowy, a dodatkowo być może także skutkiem „pamiętania” przez komórki ich poprzedniej pozycji. Wydaje się jednak, że samo „pamiętanie” nie powodowałoby reakcji w postaci czynnej. Wydaje się, że bardzo ważny jest tu element dynamiki, tego oddziaływania i niejako wymuszania łączenia się komórek w postaci organizmu. Wydaje się nadto, że koncepcja informacji pozycyjnej jest koncepcją niosącą znamiona birności, zaś strukturalnej — jest koncepcją dynamiczną.

Przeprowadzone tu rozważania wydają się wskazywać, iż koncepcja informacji strukturalnej wprowadza dalsze uściślenia, rozważania te prowadzą dalej.

4. RELACJA ZJAWISKA REGENERACJI BIOLOGICZNEJ DO INFORMACJI STRUKTURALNEJ

Przedstawione przykłady regeneracji biologicznej ze świata roślin i zwierząt zdają się potwierdzać istnienie informacji w pozostałych komórkach organizmu regenerującego. Biologowie zauważyli udział jakiejś informacji w tym zjawisku. Najczęściej wiążą je jednak z informacją genetyczną i to rozumianą statycznie. Nie wydaje się, aby takie podejście było zadowalające.

Odtworzenie brakujących fragmentów ciała z zachowanego kawałka bądź z rozdrobnionych komórek świadczy o zachowaniu w tych pozostałościach informacji. Jeśli informację rozumiemy dynamicznie, tzn. jako oddziaływanie, to obecność tej specyficznej informacji (genetycznej, strukturalnej czy też pozycyjnej rozumianej dynamicznie) wywołuje tę konkretną reakcję w postaci odtwarzania braków w organizmie.

Przeprowadzona analiza koncepcji informacji pozycyjnej nasunęła nam przypuszczenie, że przynajmniej po części jest ona tym samym, co informacja strukturalna. Zasadnicza różnica, jak się zdaje, leży w statycznym pojmowaniu informacji pozycyjnej. Biologowie stwierdzają istnienie w pozostałych regenerujących fragmentach organizmu informacji, a także dostrzegają efekt odbierania jej.

Interesujące jest stwierdzenie konieczności zachowania odpowiednich wielkości organizmu, aby proces regeneracji mógł zajść. Wykonywane doświadczenia zdają się potwierdzać istnienie informacji strukturalnej w obrębie tych konkretnych fragmentów rośliny lub zwierzęcia. Okazuje się ponadto, że przegrupowanie pozostałości nie powoduje zmiany w przebiegu

regeneracji. Pocięty korzeń mniszka na cienkie kawałeczki zachowuje swą zdolność regeneracyjną. Nie ma żadnego znaczenia płaszczyzna ułożenia fragmentu korzenia. Jeśli fragment ten ułoży się płaszczyną cięcia ku dołowi, to regeneracja będzie prawidłowa, tzn. odtworzone zostaną brakujące części z liśćmi, choć w początkowej swej fazie będą rosły w dół (tj. sprzecznie z normalnym kierunkiem wzrostu tej rośliny). Sposób regeneracji określonego fragmentu tkanki nie zależy więc ani od wyjściowego położenia w nienaruszonym organie, ani od wpływu otoczenia (np. siły ciężenia), lecz istotny jest stan pozostałości²².

Jeszcze bardziej interesujące jest zjawisko regeneracji w przypadku rozdrobnionych (przetartych) komórek. Te nieuszkodzone resztki organizmu także zachowują zdolność regeneracyjną opartą jedynie o informację biologiczną. Wydaje się, że najważniejszą jest tu informacja strukturalna (czy też pozycyjna), a częściowo może i genetyczna. Warto tu zauważyć, iż występowanie równoległe dwu rodzajów informacji przy przebiegu jednego procesu biologicznego nie jest pogwałceniem praw przyrody, a tylko potwierdzeniem ogromnej złożoności i dynamiki tych procesów. W przypadku tych przetartych komórek organizmu żywego istotne jest zagadnienie, na ile te resztki stanowią nadal żywy organizm. Jeśli bowiem w organizmie żywym odetniemy jego fragment i organizm będzie w stanie ten fragment regenerować, to wiadomo, iż była zachowana ciągłość życia. Jeśli natomiast organizm żywy został przetarty, a więc niejako zniekształcony, zmieniony, to na ile pozostał on żywy. Podobne problemy nasuwają się w przypadku bakteriofagu, który wskutek działania środków dysocjujących rozpada się na swoje części składowe tj. kwas nukleinowy i oddzielne cząsteczki białka, a po stworzeniu mu jego naturalnych warunków odtwarza swą pierwotną strukturę i wykonuje swe pierwotne funkcje.

5. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione zagadnienie informacji strukturalnej jest bardzo złożone. Pierwszy problem, jaki można napotkać, to nie dostrzeganie przez wielu biologów roli informacji biologicznej w powszechnych zjawiskach życiowych. Tak się ma rzecz z informacją strukturalną pojawiającą się w procesach regeneracyjnych. Zjawisko regeneracji jest powszechne wśród roś-

²² R. Kandeler, dz. cyt., 83.

lin i zwierząt. Trudno jest je wytłumaczyć inaczej, niż przy użyciu koncepcji informacji strukturalnej. W konkretnych strukturach biologicznych — w komórkach — mieści się informacja odpowiedzialna za prawidłowe odtworzenie brakujących części organizmu.

Drugi problem napotykanym przy omawianiu zagadnienia regeneracji wiąże się z wprowadzaniem ostatnio pojęcia informacji pozycyjnej. Próbowano wykazać, że pojęcie to nie stoi w sprzeczności z zaproponowanym pojęciem informacji strukturalnej. Oba te pojęcia wzajemnie się uzupełniają. W koncepcji informacji pozycyjnej istotna jest informacja o położeniu danej komórki względem innych komórek. Natomiast w koncepcji informacji strukturalnej najważniejsze jest rozumienie informacji jako oddziaływania wymuszającego na pozostałych komórkach odtworzenie brakujących fragmentów. Oba zatem stwierdzenia wnoszą interesujące rozwiązanie problemu, regeneracji biologicznej. Biologowie mogą obserwować tempo, jakość odtwarzanych części ciała, lecz jest im uchwycić mechanizm regeneracji. Wydaje się, że dużym krokiem naprzód w próbach tłumaczenia tego zjawiska jest koncepcja informacji strukturalnej.

THE PHENOMEN OF BIOLOGICAL REGENERATION AND THE STRUCTURAL INFORMATION

In this paper is posed the problem of structural information concerning the process of biological regeneration. It is evident that the rest of the extant fragments of the living organism contains the information about the method of reconstruction lacks parts of the body. It is related to the thesis of L. Wolpert who proposed the concept of „positional information”.