

PIOTR LENARTOWICZ SJ

TOTIPOTENCJALNOŚĆ – KLUCZOWE POJĘCIE BIOLOGII ROZWOJU

Opublikowano w: *NAUKA – RELIGIA – DZIEJE*
V seminarium Interdyscyplinarne w Castel Gandolfo,
6-9 sierpnia 1990, pod redakcją J. A. Janika
Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1992, pp. 87-118.

Totipotencjalność, czyli całościowość i potencjalność – to samo jądro filozoficznego sporu pomiędzy monizmem a pluralizmem ontycznym. W biologii ten spór ma inną nazwę – jest to spór pomiędzy mechanicyzmem a witalizmem (por. Woodger, 1967/205; Mayr, 1982). Nie istnieje też pod słońcem lepsza od dynamiki biologicznej ilustracja pojęć całości i potencjalności. Tak myślał Arystoteles – przynajmniej ja myślę, że on tak myślał wtedy, gdy pisał swoje księgi „O rodzeniu” i „O duszy”. Dlatego uważam, że przedstawienie problemu totipotencjalności będzie interesujące nie tylko ze ściśle biologicznego punktu widzenia.

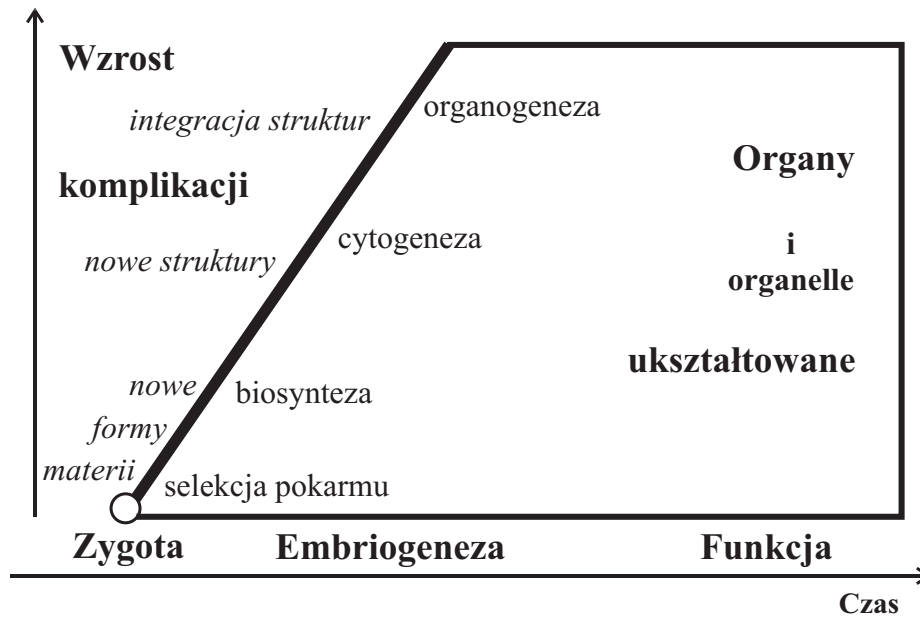
Ten tekst składa się ze wstępu i trzech części. W pierwszej opowiem o kilku fundamentalnych obserwacjach i eksperymentach ilustrujących zjawisko totipotencjalności. W drugiej części omówię starsze i nowsze teorie usiłujące wyjaśnić to zjawisko. W trzeciej ukażę, jak pluralistyczna koncepcja organizmu biologicznego była wielokrotnie odkrywana, na nowo proponowana; postaram się też ukazać sens lub bezsens krytyki, jakiej poddawano tę koncepcję.

Wstęp

Totipotencjalność

Totipotencjalność (*totipotency, full genomic potential, multiple presumptive fates, multipotency*) nie ujawnia się w dowolnym zjawisku biologicznym, a tylko w niektórych dynamizmach *biologii rozwoju*. Co to jest biologia rozwoju? Z grubsza rzecz biorąc istnieją trzy główne dziedziny biologii (por. Ryc. 1):

- (1) biologia funkcji (np. anatomia, fizjologia),
- (2) biologia rozwoju (np. embriologia, biologia molekularna),
- (3) patologia (nauka o zaburzeniach funkcji i rozwoju).



Ryc. 1. Cykl życiowy. Cykl życiowy to wchłanianie wyselekcjonowanych z otoczenia form materii i energii, a następnie przekształcanie ich w różnorodne molekularne, komórkowe, tkankowe układy funkcjonalne. Cykl życiowy rozpoczyna się zawsze od poziomu pojedynczej komórki. Kończy się z chwilą powstania drugiej komórki wyposażonej w pełny zespół organelli (u organizmów jednokomórkowych) lub wykształcenia wielokomórkowej postaci rozmnóżalnej (u organizmów tkankowych).

Cała reszta to bądź rekonstrukcje (jak paleontologia i teoria ewolucji), bądź aplikacje (jak medycyna, genetyka hodowlana) oparte na tamtych trzech głównych dziedzinach.

BIOLOGIA ROZWOJU – upraszczając – to:

- (a) problem genezy systemu funkcjonalnego (synergetycznego w sensie – biologicznym – ale nie w sensie Hakena (1978) i Janika (1988),
- (b) problem genezy systemów sygnalizacyjnych (stanowiących element niektórych układów funkcjonalnych).

Termin *synergia* (współdziałanie) oznacza przynajmniej trzy różne pojęcia i trzy różne, odpowiadające tym pojęciom, rzeczywistości:

- (1) W farmakologii mówi się o synergii wówczas, gdy dwa różne leki, podane równocześnie, dają efekt zdecydowanie wyższy, niż efekt podania każdego z nich osobno. W neurologii synergia nazywa się mechanizm koordynacji i adiustacji ruchów angażujących wiele różnych grup mięśni (por. *Dorland's Med. Dictionary*, 1974). Nazwijmy to pojęcie synergią W (współdziałaniem).
- (2) Synergią nazywam też (por. Lenartowicz, 1986) taki dynamizm biologiczny, w którym energia jest przekazywana z jednej struktury na drugą przy minimalnym

rozproszeniu energii, czyli w porcji „progowej”, minimalnie przewyższającej porcję „podprogową”. Taka porcja energii wystarcza zatem do wywołania efektu, ale bez „nadmiaru”, który prowadziłby do podwyższenia temperatury otoczenia. Dynamizmy zwane „fizjologicznymi” tak właśnie przebiegają – patologia przejawia, m.in. się wzrostem bezużytecznego (w kontekście organizmu) wydatku energetycznego. Synergia w sensie „oszczędności energetycznej” wymaga niezwykle precyzyjnego dopasowania jakości materiału, liczby, kształtu, odległości i orientacji przestrzennej struktur oraz synchronizacji pewnych działań. Takie pojęcie synergii nadaje się do opisu pewnych układów technicznych (np. silników, przekładników energii). Nazwijmy to pojęcie synergią E (ekonomią energetyczną).

- (3) Synergia w sensie Hakena (por. Janik, 1988) oznacza pewien rodzaj prawidłowości strukturalnej lub dynamicznej, ale nie zawiera warunku „progowego” przekazu energii ze struktury na strukturę. Nazwijmy to pojęcie synergią R (regularnością).

Pojęcie synergii E jest zatem szczególnym wypadkiem pojęcia synergii R. Istotna różnica pomiędzy nimi polega na tym, że według Hakena czynnik porządkujący, który rządzi zachowaniem się części składowych systemu wykazującego synergię R, jest produktem części składowych tego układu. Natomiast układ cechujący się synergią E (ekonomią energetyczną), choć nie wymaga „czynnika porządkującego” do swojego *działania*, to jednak do swego *powstania* wymaga odpowiedniego zespołu różnorodnych „ścieżek” rozwojowych, biosyntetycznych, a ich integracja w przestrzeni i czasie wydaje się postulować istnienie proporcjonalnego czynnika integrującego.

Powtarzalność i precyzja zjawisk funkcjonalnych (cechujących się synergią E) i rozwojowych sięga od poziomu behawioralnego i anatomicznego „w głąb” – aż poniżej poziomu molekularnego.

Przykładowo w procesie fotosyntezy istotną rolę odgrywa precyzja przemieszczeń pojedynczych elektronów oraz precyzja struktur magazynujących i dozujących energię fotonów. Poza tym – a raczej dzięki temu – zjawiska funkcjonalne i rozwojowe charakteryzują się maksymalną fizycznie oszczędnością energetyczną i materiałową (wydajność energetyczna elementarnych dynamizmów biomolekularnych wynosi *in vivo* ponad 90%!). W zupełnie innej skali, precyzję rozwoju biologicznego ujawnia fakt, że organizm składa się ze ściśle określonej liczby komórek, w każdym etapie rozwoju powstaje ściśle określona liczba komórek, ściśle określonego rodzaju, a ściśle określone komórki ulegają dezintegracji (por. np. Wood, 1988).

PATOLOGIA bada i opisuje wszelkie możliwe odchylenia od tej powtarzalności, precyzji i ekonomii. Różnorodność dynamizmów i stanów patologicznych jest praktycznie nieskończona, ale ich powtarzalność – w porównaniu z rozwojem i funkcją – jest niewielka.

Po tych wstępnych wyjaśnieniach przejdźmy do sedna sprawy. Teoria rozwoju ma za zadanie „wytłumaczyć” powtarzalność i precyzję genezy systemów funkcjonalnych.

„A major unknown [of modern biology – PL] is the mechanism of differentiation of a fertilized egg into cells and organs” (Prosser, 1986/112).

„The central problem in developmental biology remains: How does the fertilized egg develop into an embryo with the correct spatial pattern of cellular differentiation?” (Smith, 1988).

„The ... question, which is the *raison d'être* for the field of developmental biology, asks what the underlying mechanisms are by which a single undifferentiated cell (the zygote) develops into a multicellular organism containing many differentiated cells that are organized into exact patterns in time and space” (Atchley, 1989).

Teorii rozwoju nie należy mylić z rekonstruowaniem (redeskrpcją) jakiegoś fragmentu procesu rozwojowego na tym lub innym piętrze złożoności organizmu. Teoria rozwoju to – jak dotąd – mętna plama na mapie współczesnych pojęć biologicznych, coś, co na pewno będzie miało kiedyś jakąś treść, ale na razie nie wiemy, jaką. Wprawdzie zgromadzony materiał empiryczny dotyczący procesów rozwoju i znajomość subtelnych mechanizmów biosyntezy zwiększyły się w ostatnim półwieczu kolosalnie, jednak do zarysu sensownej teorii rozwoju jest dziś tak daleko, jak było sto lat temu (por. Maclean, 1977; Holtfretter, 1988). Ten tekst, być może, pozwoli choć z grubsza wyjaśnić przyczyny tego dziwnego stanu rzeczy.

Część I – Przejawy totipotencjalności

Pojęcie totipotencjalności to rodzaj uogólnienia wyprowadzonego z konkretnych obserwacji i konkretnych eksperymentów. Obserwacje dotyczą tzw. polimorfizmu i normy reakcji, natomiast eksperymenty – zjawiska regeneracji.

Polimorfizm i norma reakcji

Co to jest polimorfizm? U pewnych gatunków potomstwo tego samego organizmu rodzicielskiego może się bardzo różnić od siebie pod względem funkcji organów. Wyróżnić można:

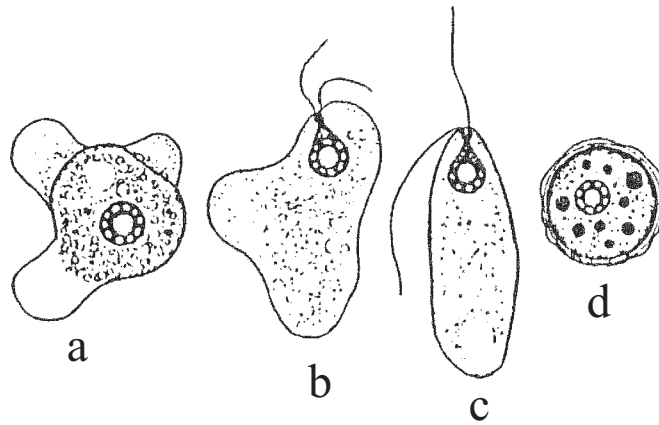
- (a) polimorfizm ilościowy (różnice wielkości ciała lub proporcji rozwoju organów, przy niezmienionej zasadniczo ich funkcji).

Nas interesuje przede wszystkim:

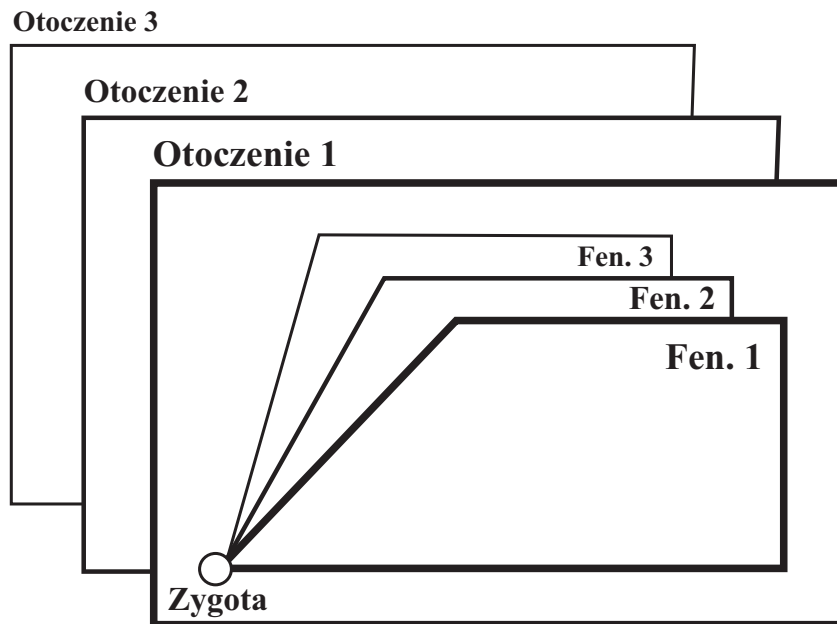
- (b) polimorfizm jakościowy (różnice w systemie lokomocji, różnice płci, zjawiska metamorfozy – czyli zmiany w samych zasadach funkcjonowania danego organu).

Przejsie od jednej do drugiej formy funkcjonalnej w ramach tego samego gatunku, może się dokonywać z różną szybkością: czasem bardzo szybko, w okresie kilkunastu minut, nawet wielokrotnie w ramach tego samego cyklu życiowego, czasem bardzo wolno, stopniowo, na przestrzeni wielu pokoleń. W obu wypadkach zmiany są odwracalne i powtarzalne.

Różnice pomiędzy fenotypami w ramach tego samego gatunku mogą dotyczyć mechanizmu lokomocyjnego, systemu obronnego, systemu wydalania, systemu asymilacji itd. Na przykład u *Naegleria gruberi* pewne formy poruszają się za pomocą nibynóżek, jak ameba, ale mogą się w ciągu kilkunastu minut przekształcić w formy poruszające się za pomocą wici, jak wiciowiec (por. Ryc. 2A). Jeden okaz rośliny konkretnego gatunku może korzystać z systemu fotosyntezy C₃, a roślina bratnia tego samego gatunku – z systemu fotosyntezy CAM lub C₄ (por. P. Moore, 1981). Wadsworth i Riddle (1989) opisują pojawianie się, w warunkach niedoboru pokarmu, szczególnej formy larwalnej (*dauer larva*) u *Caenorhabditis elegans*. Szczególnie wymowny jest przykład salamandry amerykańskiej (*Ambystoma mexicanum*), która rozmnaża się w dwu zupełnie różnych funkcjonalnie fenotypach (por. J. W. Saunders Jr., 1970).



Ryc. 2A. Polimorfizm. Trzy formy morfologiczne tego samego gatunku *Naegleria gruberi*: a – postać ameby; b – stadium przejściowe do formy wiciowcowatej; c – postać wiciowcowata; d – postać przetrwalnikowa (wg Kühna, 1971/79).



Ryc. 2B. Polimorfizm. Schemat potencjału rozwojowego gatunku polimorficznego. W zależności od fizyczno-chemicznych cech otoczenia (1, 2 lub 3) organizm buduje postać optymalnie funkcjonalną. Norma reakcji to pełny zakres możliwych do zrealizowania (potencjalnych) postaci, czyli fenotypów (fen. 1 + fen. 2 + fen. 3 ... + fen. n)

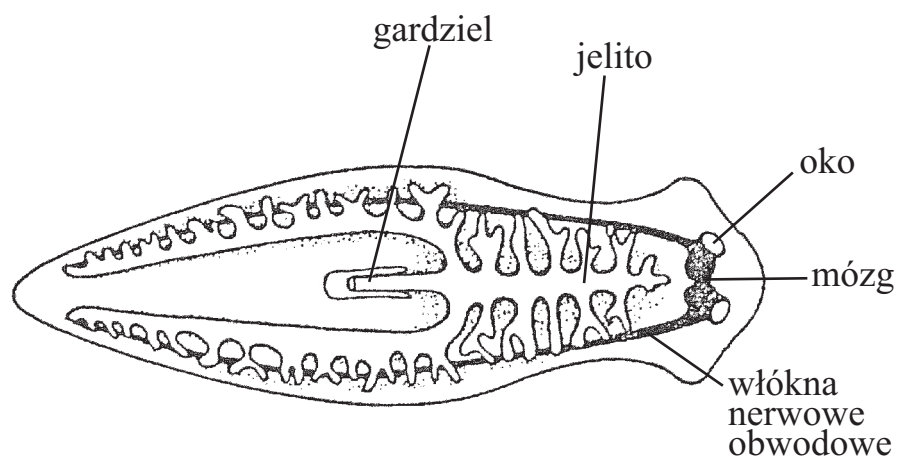
Konkretny organizm może być zatem opisany jako forma zrealizowana – ale będzie to opis niepełny. Pełny opis biologiczny tego organizmu powinien wyrazić cały wewnętrzny repertuar możliwości. Normą reakcji (Ryc.2B) można zatem nazwać pełny zakres potencjalności danego organizmu. Termin pełnia nie oznacza całościowości. Polimorfizm i norma reakcji ilustrują pojęcie zmienności wewnątrzgatunkowej, ale nie ilustrują pojęcia całości biologicznej.

Warto dokładnie uświadomić sobie tę różnicę. Organizm, który zrealizowałby w sobie wszystkie formy struktur funkcjonalnych danego gatunku, byłoby jakimś biologicznym Robotem Wielofunkcyjnym. Dla laika taki twór może się wydawać interesujący – dla biologa jest to chimera, monstrum. Dlaczego? Dlatego, że organizm biologiczny w swym procesie rozwoju osiąga z reguły adaptację środowiskową. Środowisko fizyczne jest zaś zawsze określone. Nie istnieje środowisko polarno-tropikalne, ani środowisko wilgotnej pustyni. Całościowość konkretnej postaci organizmu przejawia się optymalizacją energetycznego, pokarmowego, termicznego dopasowania do środowiska. Natomiast polimorfizm to zbiór całości alternatywnych, zbiór, który sam w sobie nie jest całością. Sądzę, że w konkretnym wypadku można zakres polimorfizmu ograniczyć, nie naruszając całościowości (funkcjonalności) aktualnej postaci organizmu.

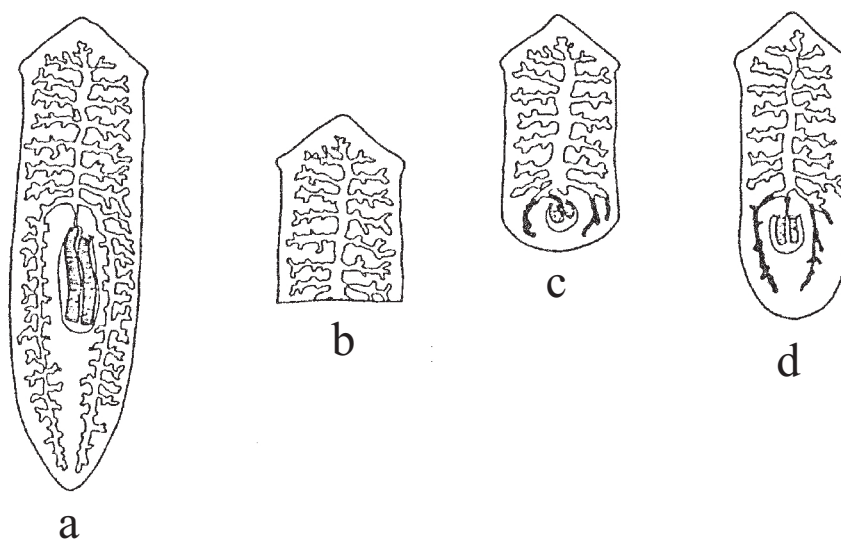
Przejdźmy teraz do omówienia wyników eksperymentalnych, które ujawniają rozwojowy aspekt całościowości biologicznej.

Doświadczenia nad okaleczaniem płazińców

Dalyell (1914) powiedział o płazińcach, że są „*immortal under the edge of the knife*”. Można je krajać na małe kawałeczki (por. Ryc. 4 i 5), a z każdego z nich odrósł cały, normalny osobnik. Płazińce nie są oczywiście jakimś wyjątkiem. Cały szereg grup taksonomicznych, tak w królestwie roślin, jak i w królestwie zwierząt, posiada podobne cechy. Płazińce są dobrą ilustracją totipotencjalności, ponieważ posiadają już mózg oraz organ wzroku (por. Ryc. 3).



Ryc. 3. Anatomia płazińca (wg Gossa, 1970).

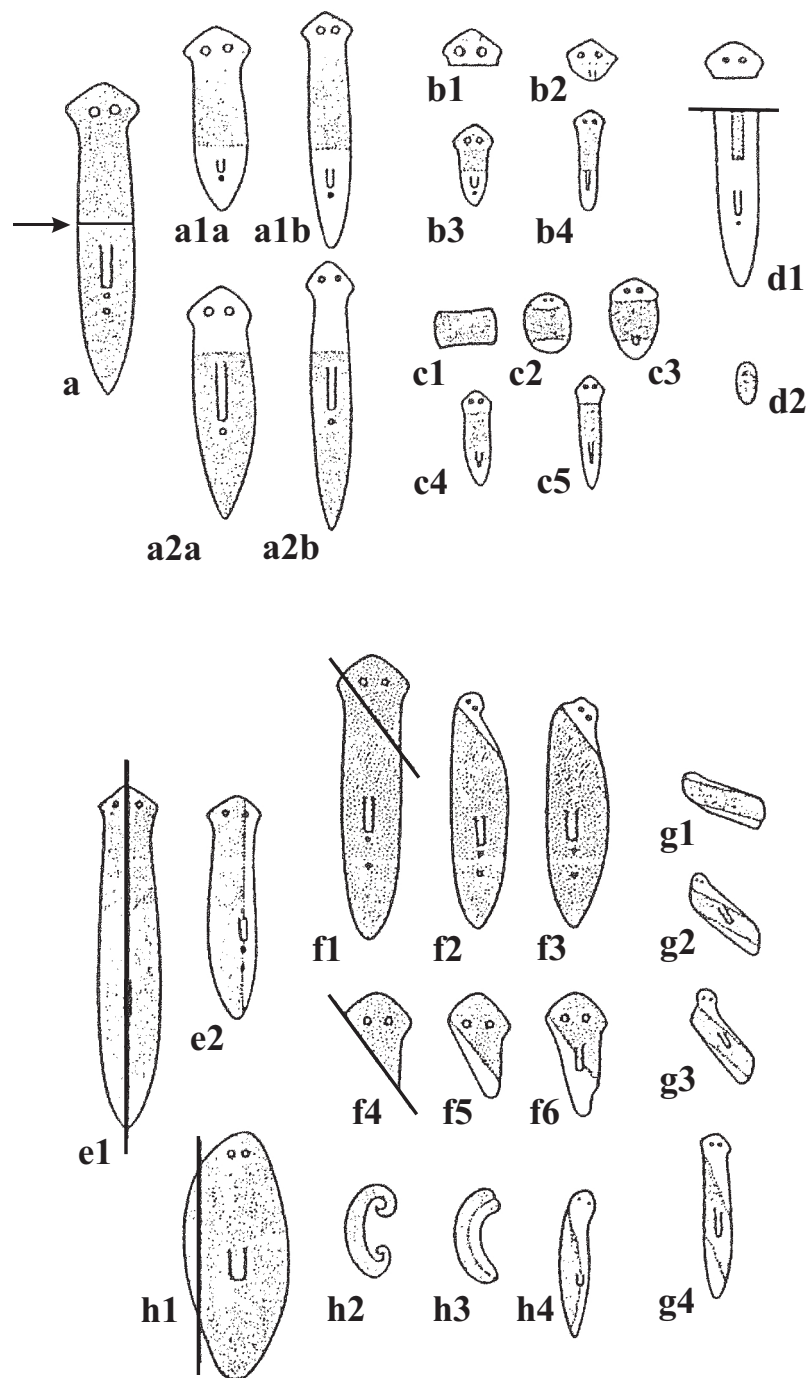


Ryc. 4. Regeneracja jelita i gardzieli u *Planaria gonocephala* (wg Steinmanna, 1927).

Trzeba pamiętać, że odbudowa brakującego organu oznacza często wyprodukowanie *de novo* różnorodnych wyspecjalizowanych organelli komórkowych lub całych organów (epimorfoza), albo ich przemieszczenie (morfalaksja). Przywrócenie fizjologicznych proporcji struktur ciała wydaje się suponować jakiegoś rodzaju „normę”, która jednak nie jest zależna od bezwzględnej skali organu. Prawidłowe struktury i proporcje ciała są bowiem często regenerowane najpierw w miniaturze, a dopiero w dalszej kolejności organizm przywraca wyjściową skalę struktur. Odtwarzanie stosunków fizjologicznych jest zatem procesem wcześniejszym, bardziej fundamentalnym niż odtwarzanie jakiejś konkretnej skali przestrzennej. Ujawnia się tu pewna specyficzna konieczność typu dynamicznego. Pełna (w sensie kwantytatywnym) odbudowa struktur ciała jest oczywiście zależna od prawidłowego działania organów, zwłaszcza systemu pokarmowego. Zatem obserwowany *de facto* priorytet funkcjonalności jest czymś, czego należałoby oczekiwać. Ukazuje on jednak dobitnie podrzędny charakter cech czysto kwantytatywnych i niebezpieczeństwa płynące z jednostronnej koncentracji na kwantytatywnym opisie zjawisk biologicznych. Powróćmy jednak do głównego tematu.

Czym jest totipotencjalność? Jest ukrytą zdolnością do zbudowania takich struktur, które zostały zniszczone, a które są konieczne i wystarczające do tego, by pojawiła się na nowo synergia E, czyli skuteczne i energetycznie ekonomiczne dynamizmy organów, wkomponowane harmonijnie w dynamiczną całość dojrzałego organizmu.

Pozostałe doświadczenia, które zamierzam omówić, niczego istotnie nowego do pojęcia totipotencjalności nie wnoszą. Ich inspiracją było pytanie: „Gdzie ta zdolność jest ukryta?” W tym pytaniu zawarta jest sugestia, że totipotencjalność jest cechą „lokalną”. Jednak wyniki eksperymentów wydają się trudne do pogodzenia z taką sugestią.



Ryc. 5. Regeneracja u płazińców; a–c, f–g regeneracja u *Planaria maculata*; d–e regeneracja u *Curtisia simplicissima* (wg Morgana, 1901).

Doświadczenia Driescha (1891)

Oto jak von Bertalanffy opisuje dwa klasyczne doświadczenia Driescha:

„Driesch divided a sea-urchin germ, just at the beginning of its development, into two halves. One would expect that from such a half-germ only half an animal would develop. In fact, ... out of each half comes not a half but a whole sea-urchin larva, a bit smaller, it is true, but normal and complete. ...

The reverse experiment and other arrangements are also possible. Under certain conditions two united germs produce a unitary giant larva ... ” (Bertalanffy, 1960/5)

Innymi słowy, doświadczenia Driescha ujawniły rodzaj niezwyklej arytmetyki

$$1 = 1; \quad 1/2 = 1; \quad 1+1 = 1$$

Doświadczenie Spemanna

Spemann obwiązał zapłodnioną komórkę rozrodczą traszki (*Triton taeniatus*) pętlą z cienkiego włosa i zaciskając ją uwięził jądro w jednej z połączonych przewężeniem dwu części komórki (Ryc. 6a). W jednej części zachodziło mnożenie się jąder komórkowych (Ryc. 6b, c). Druga część pozostawała w spoczynku, dopóki po czwartym podziale – w stadium 16 jąder – jedno z nich nie przedostało się przez przewężenie (por. Ryc. 6d). Wtedy Spemann całkowicie oddzielił od siebie obie części zarodka. Pierwsza część, zawierająca 15 jąder, rozwijała się prawidłowo, przechodząc kolejne etapy embriogenezy (Ryc. 6: e1a, e1b, e1c). Druga część rozwijała się też prawidłowo (Ryc. 6: e2a, e2b, e2c), przechodząc jednak poprzez kolejne etapy rozwoju z pewnym opóźnieniem.

Doświadczenie Spemanna wykazało, że wyżej wspomniana, dziwna arytmetyka rozwoju biologicznego może być rozszerzona na wyższe cyfry, czyli że:

$$16/16 = 1; \quad 1/16 = 1; \quad 15/16 = 1$$

Oznacza to, że izolowane komórki szesnastokomórkowego stadium rozwoju traszki posiadają w sobie pełny potencjał rozwoju w osobny, kompletny organizm.

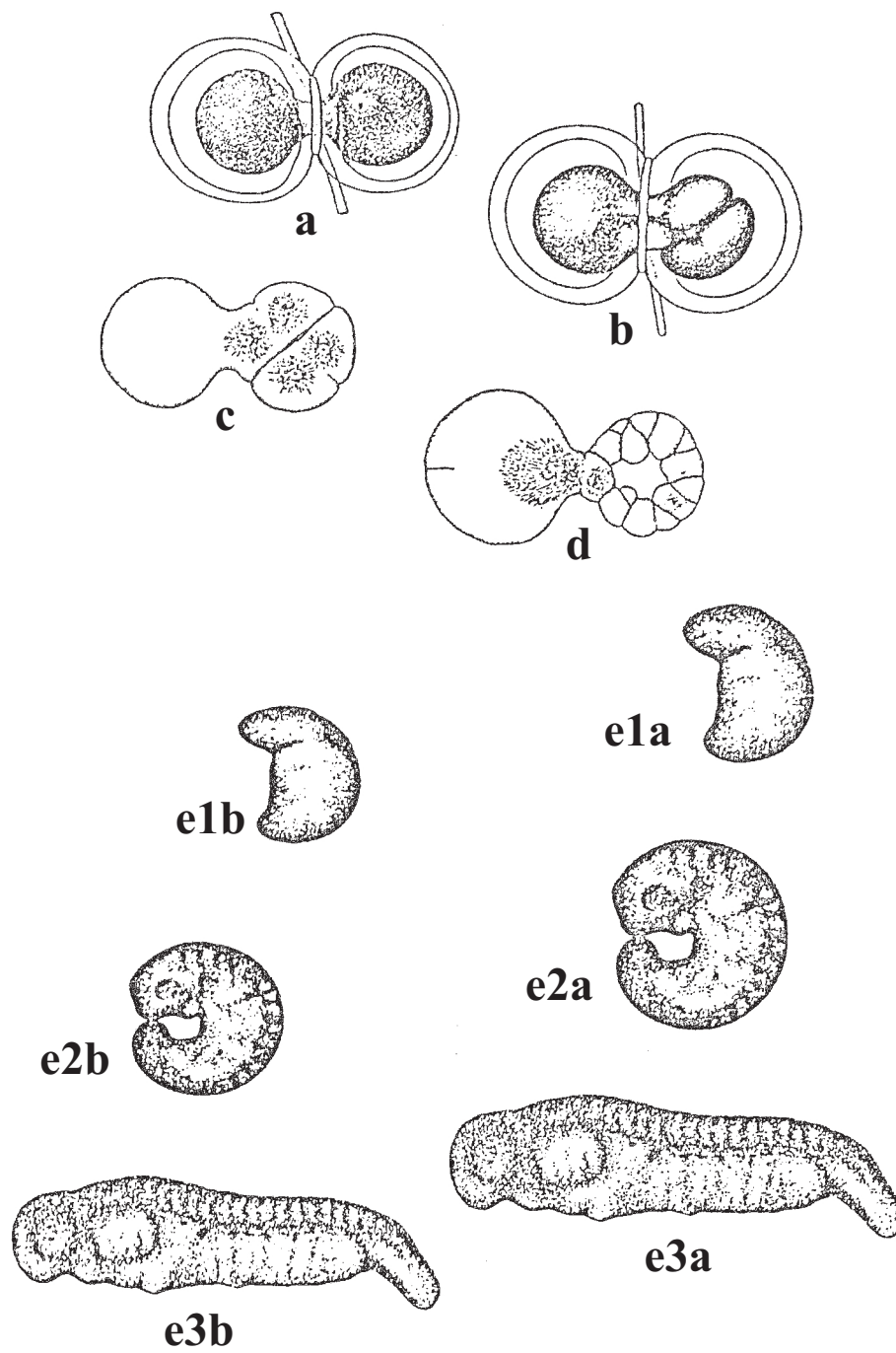
Doświadczenia Kinga i Briggsa (1956), Stewarda i współpracowników (1958), Gurdon i Uehlingera (1966)

W 1938 roku Spemann obmyślił doświadczenie polegające na transplantacji jąder komórkowych embrionów zaawansowanych w rozwoju. Nie mógł jednak ze względów technicznych tego doświadczenia przeprowadzić. Realizacją pomysłu były doświadczenia Kinga i Briggsa (1956) na płazach, prowadzone w latach pięćdziesiątych, i jeszcze późniejsze doświadczenia Gurdon i Uehlingera (1966).

Wykazały one, że – zgodnie z przewidywaniami Spemanna – arytmetyka totipotencjalności sięga tych etapów rozwoju zarodka, w których liczba komórek dochodzi do kilkudziesięciu tysięcy. Ciało kijanki, z której Gurdon i Uehlinger pobierali jądro pojedynczej komórki nabłonka jelitowego, składa się z około 50 tysięcy komórek.

Doświadczenia Stewarda i współpracowników (1958) nad hodowaniem izolowanych komórek zaawansowanego stadium rozwoju tkanki roślin kwiatowych były dalszym potwierdzeniem powszechności zjawiska totipotencjalności (por. Meins, 1975).

Te wszystkie doświadczenia ujawniały, że fragmentaryzacja struktur konkretnego



Ryc. 6. Doświadczenie Spemann (legenda na str. 11).

Ryc. 6 (str. 10). Doświadczenie Spemanna. a – jajo traszki przewężone pętlą, b – podział komórkowy połówki jaja zawierającej jądro, c – przekrój przez następny etap rozwoju jaja przewężonego pętlą, d – przekrój przez etap szesnastu komórek; jądro jednej z nich przedostało się przez przewężenie; w tym momencie połówki jaja zostały ostatecznie oddzielone przez eksperymentatora i odtąd rozwijały się oddzielnie, e1a, e2a, e3a – kolejne etapy rozwoju połówki zawierającej piętnaście z szesnastu jąder jaja, e1b, e2b, e3b – kolejne etapy rozwoju połówki, zawierającej tylko jedno z szesnastu jąder jaja (wg Spemanna, 1967).

etapu rozwoju nie zawsze prowadzi do uszczuplenia potencjału rozwojowego.

Słowem: Podziałowi fizycznemu ulega w organizmie tylko to, co jest *zaktualizowane*, czyli struktury. Natomiast potencjał rozwojowy nie ulega podziałowi, czyli jest – przynajmniej do pewnego stopnia – *niezniszczalny*; zniszczyć można bowiem tylko struktury materialne.

Inny typ eksperymentów – w których ujawniła się owa zastanawiająca „niepodzielność” potencjału rozwojowego – to doświadczenie Wolffa nad regeneracją soczewki oka u płazów oraz doświadczenie Beissenhirtza nad regeneracją u wypławków.

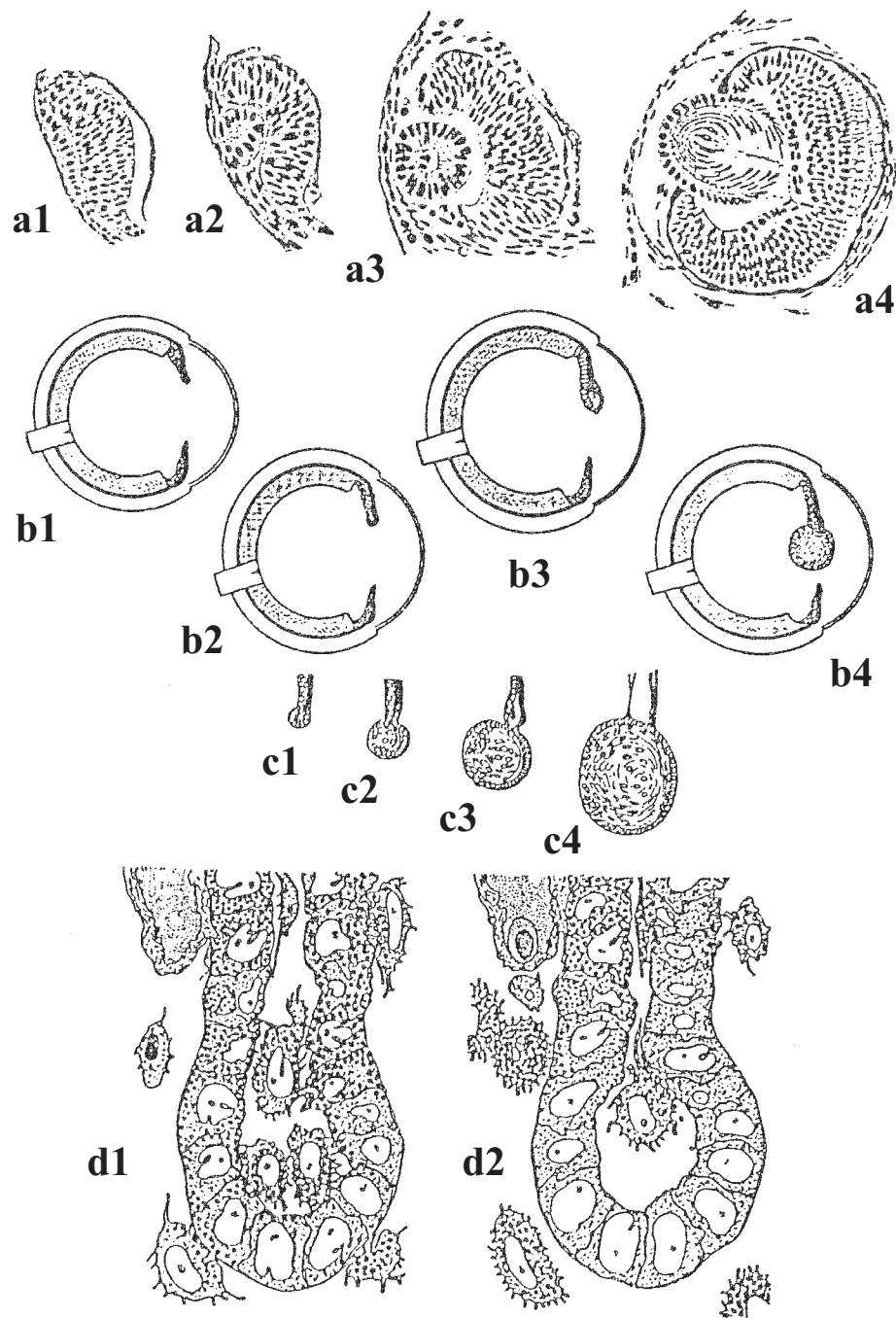
Doświadczenie Wolffa (1895)

Wolff usunął soczewkę oka larwy traszki (odpowiednika kijanki żaby) i przekonał się, że po tym okaleczeniu (Ryc. 7b1) nieprzeźroczyste, zawierające pigment komórki tęczówki przekształcają się w nową soczewkę o prawidłowych rozmiarach i normalnej przezroczystości (por. Ryc. 7b2, 7b3 i 7c). Nowoczesne badania z użyciem mikroskopu elektronowego ujawniły, że w tym procesie – zwanym regeneracją Wolffa – specjalne komórki amebowate pełnią do tych komórek tęczówki, które mają się przekształcić w soczewkę, i zabierają wydalony przez te komórki pigment, substancję trudną do degradacji biochemicznej (Ryc. 7d1 i 7d2). Oswobodzone z pigmentu komórki tęczówki zaczynają produkować specjalne, charakteryzujące się nadzwyczajną przejrzystością białko – krystalinę, i układają się koncentrycznie w kształt nowej, zupełnie prawidłowej soczewki (Ryc. 7c4).

Najbardziej zastanawiający jest fakt, że w normalnym rozwoju soczewka oka powstaje z innej tkanki embrionalnej, a tęczówka – z innej (Ryc. 7a). Regeneracja Wolffa dowodzi, że albo potencjał rozwojowy komórek tęczówki zawiera w sobie zdolność wytwarzania struktur, które w prawidłowych warunkach nigdy z nich nie powstają, albo komórki tęczówki stanowią w warunkach regeneracji materiał wykorzystywany przez jakiś nie określony bliżej czynnik regeneracji.

Doświadczenia Stone'a (1958, 1959)

Okazało się, że proces regeneracji soczewki zależy od tego, czy istnieje odpowiedni kontakt fizyczny pomiędzy soczewką a siatkówką (która jest właściwym receptorem bodźców świetlnych). Jeżeli bowiem odgradzono siatkówkę od tęczówki płytką z polietylenu lub celofanu, to do regeneracji soczewki nie dochodziło. Wystarczyło jednak odsłonić stosunkowo niewielką część siatkówki, by regeneracja soczewki się rozpoczęła.



Ryc. 7. Doświadczenie Wolffa (legenda na str. 13).

Ryc. 7 (str. 12). Doświadczenie Wolffa. a1, a2, a3, a4 – przekrój tkanek paru kolejnych etapów prawidłowego rozwoju oka u *Siredon pisciformis* (wg Rabla, 1898). W a4 widać wyraźnie soczewkę oka, uwieczoną niejako w sierpowatym na przekroju, ale w rzeczywistości kielichowatym zagłębieniu zawiązka siatkówki i tęczówki, czyli tzw. kielichu ocznym. Cofając się można dostrzec, że soczewka nie rozwinęła się razem z kielichem ocznym z grubej warstwy komórek (a1 – po prawej), ale ze znacznie cieńszej warstwy komórek ektodermy (a1 – po lewej), b1 – schemat oka bezpośrednio po usunięciu soczewki (wg Gossa, 1970), b2, b3, b4 – powstawanie nowej soczewki z komórek górnej krawędzi tęczówki (wg Gossa, 1970), c1, c2, c3, c4 – kolejne etapy regeneracji soczewki (wg Wachsa, 1914), d1, d2 – ewakuacja pigmentu z komórek tęczówki, które zregenerują soczewkę – obraz uzyskany w mikroskopie elektronowym (wg Eguchiego, 1963). Jądra komórek, w odróżnieniu od ciemno zabarwionych jąder w a1–a4, są tu przezroczyste. Ciemne punkty to ziarna pigmentu, których komórka nie jest w stanie „zdemontować”. Owalne twory z podobnymi do kolców wypustkami to komórki amebowate. W d1 ziarna pigmentu przenikają z komórek tęczówki do komórek amebowatych. W d2 komórki amebowate, pełne ziaren pigmentu, wędrują poza obręb pola widzenia.

Jeżeli równocześnie z usunięciem soczewki usunięto też siatkówkę, to soczewka regenerowała tylko w tych wypadkach, w których rozpoczęła się regeneracja siatkówki (Stone, 1959).

Jeżeli soczewka regenerowała z obszaru tęczówki operacyjnie ustawionego „tyłem do przodu”, to struktura powstałej soczewki była dopasowana do położenia siatkówki, a nie do „fałszywej” orientacji tęczówki (por. Goss, 1970/198-199).

Doświadczenia Stone'a ujawniają wyraźną tendencję organizmu do naprawienia całej funkcji, a nie tylko fragmentu uszkodzonej struktury. Goss, komentując badania Stone'a, pisze:

„Thus, the exquisite anatomical precision which is essential in a functioning optical instrument is insured by subtle interactions between physiologically related parts during the course of their development. Only by such mechanisms can nothing be left to chance in the formation of an organ in which imperfections cannot be tolerated” (ibid).

Potencjał rozwojowy posiada więc wyraźną relację do całościowej dynamiki organu, a nie zmierza wyłącznie do odtworzenia tego lub innego fragmentu struktury.

Doświadczenie Beissenhirtza (1928)

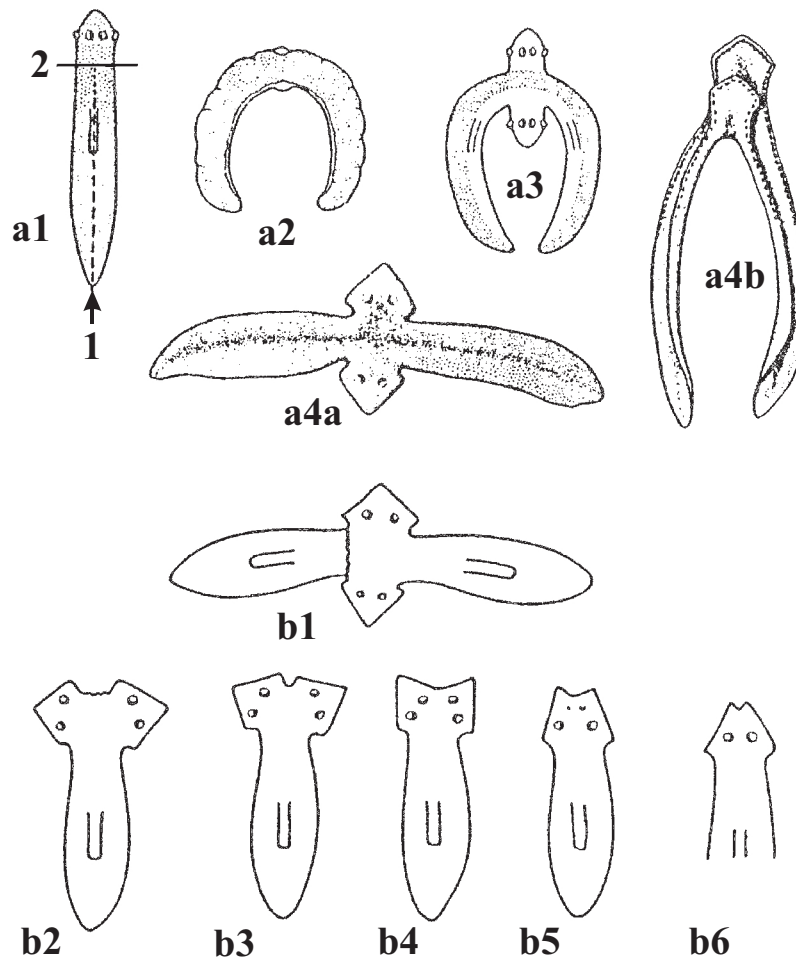
Jeszcze wyraźniej widać to w doświadczeniu Beissenhirtza (Ryc. 8). W pierwszym etapie tego doświadczenia ciało wypławka zostało rozcięte najpierw wzdłuż, od poziomu powyżej gardzieli aż do końca (Ryc. 8a1 – 1), a następnie w poprzek poniżej głowy (Ryc. 8a1 – 2). Usunięto gardziel i uniemożliwiono połączenie się „połówek” tułowia (Ryc. 8a2).

Od tego momentu rozpoczyna się regeneracja. Każda z połówek tułowia uzupełnia brakujące tkanki, wytwarza gardziel, zamieniając się w pełnosprawny tułów (Ryc. 8a2 – 8a3). Z każdej strony mostka, łączącego dwa tułowia, regeneruje głowa, a w niej dwa zwoje (odpowiedniki półkul) mózgowe i oczy (Ryc. 8a3). Z każdej głowy włókna nerwowe wrastają w tkanki jednego i drugiego tułowia. Odtworzone zostają struktury jelit i umięśnienie po obu stronach. Powstaje monstrum o dwu głowach i dwu tułowach

– coś analogicznego do sióstr syjamskich. Ten twór miota się chaotycznie w akwarium, co suponuje brak korelacji pomiędzy działaniami dwu centralnych ośrodków nerwowych.

W drugim etapie doświadczenia odcięto jeden tułów (Ryc. 8b1). Powstał więc twór o jednym tułowiu i dwu głowach (Ryc. 8b2). Od tej chwili obie głowy zaczęły się stopniowo przemieszczać i zbliżać do siebie (Ryc. 8b2–4). Następnie doszło do stopniowego zaniku połowy każdej głowy (Ryc. 8b5), a na ich miejsce powstała jedna głowa prawidłowo ukształtowana i funkcjonalna (Ryc. 8b6).

Doświadczenia Wolffa, Stone'a i Beissenhirtza narzucają myśl, że „jednostką” procesu regeneracji nie jest jakiś fragment struktury anatomicznej, ale całość danej funkcji biologicznej.



Ryc. 8. Doświadczenie Beissenhirtza (a4a i b1–b6 *Planaria gonocephala*; a1–a4b *Euplanaria tigrina*); a1 – 1 – rozcięcie tułowia wzdłuż, a1 – 2 – przecięcie w poprzek, poniżej głowy; a2–a4 – kolejne etapy regeneracji, b1 – odcięcie jednego tułowia, b2–b6 – kolejne etapy zaniku struktur niefunkcjonalnych (wg Kühna, 1971/428-429).

Część II Interpretacje

Opisane poprzednio doświadczenia:

- (A) dotyczą procesu *kształtowania* materiału,
- (B) ukazują uderzającą *powtarzalność* tego procesu mimo znacznej niepowtarzalności warunków wyjściowych,
- (C) ujawniają *potencjał dynamiczny* zdolny do budowania struktur bardziej złożonych (wzrost złożoności) niż substrat wyjściowy i bardziej zintegrowanych (synergia E),
- (D) ukazują swoistą *niepodzielność* (całościowość) tej dynamiki,
- (E) ukazują *podporządkowanie* procesu regeneracji relacjom funkcjonalnym.

Totipotencjalność to termin wyrażający powyższe cechy dynamiki biologicznej, ujawnionej przez doświadczenia nad regeneracją. Termin podkreśla całościowość oraz ukryty (potencjalny) charakter tych cech. Natura totipotencjalności stanowi do dzisiejszego dnia rodzaj zagadki. Omówię teraz – bardzo szkicowo – główne, w moim przekonaniu, próby wyjaśnienia tej zagadki.

Teoria Weismanna

Aż do początku XIX wieku panowała w Europie teoria preformacji, czyli błędne przeświadczenie, że komórka rozrodcza jest miniaturowym, ale strukturalnie wykształconym organizmem, który jedynie wzrasta w przestrzeni, tak jak nadymany balonik ulega powiększeniu, albo (przy oddalaniu rzutnika) obraz przeźrocza rzucony na ekran, bez istotnych zmian swej struktury wewnętrznej. Gdyby tak było rzeczywiście, nie zachodziłby proces budowania *de novo* struktur funkcjonalnych.

Teoria preformacji upadła pod wpływem rozwijającej się wiedzy embriologicznej. Pojawił się problem oczywistego wzrostu złożoności (epigenezy) struktur i integracji tych struktur w embriogenezie. Niemiecki lekarz i filozof August Weismann w drugiej połowie XIX wieku zaproponował teorię idioplazmy i somatoplazmy. Idioplazma była hipotetycznym całościowym programem konstruowania postaci dojrzałej, zawartym w zapłodnionej komórce rozrodczej. Komórka rozrodcza ulega podziałowi na dwie, cztery ... i więcej komórek. Weismann zatem wysunął hipotezę, że program idioplazmy też ulega podziałowi na części tak, iż do każdego rejonu powiększającego się zarodka (somatoplazmy) trafia inna część tego programu. Dzięki temu poszczególne części rozwijają się w inny sposób – tworząc jednak w sumie harmonijny zespół organów.

Pewne mniej znane obserwacje Wilhelma Roux, a potem doświadczenia Driescha i Spemanna spowodowały upadek teorii idioplazmy. Okazało się, że pojedyncze komórki zaawansowanych etapów rozwoju organizmu posiadają nieumniejszony potencjał (program) rozwojowy, taki sam jak komórka rozrodcza.

Odkrycie kodu genetycznego i zapisu informacyjnego kodonów DNA niczego w tej sytuacji nie zmieniło. Przeciwnie, porównywanie odcinków DNA pobranych z różnych komórek, różnych tkanek i różnych organów potwierdziło wyniki badań nad regeneracją. Wykazano, że każda z tysięcy i milionów komórek organizmu zawiera taki sam zapis informacyjny. W takiej sytuacji trudno było przypisywać tej czy innej komórce jakąś rolę decydującą. Doświadczenia nad różnymi formami okaleczeń dowio-

dły, że koordynacja i integracja w procesie regeneracji nie są zależne od jakiegoś ściśle określonego rejonu ciała.

Teoria Spemanna

Po upadku teorii Weismanna, Spemann wysunął teorię „induktorów” i „organizatorów”. Według tej teorii, komórka rozrodcza dzieli się na dwie komórki, różniące się bardzo subtelnymi cechami. Te subtelne różnice natury biochemicznej stanowią rodzaj sygnałów orientujących tkanki, w jakim kierunku mają się rozwijać. Każdy kolejny podział powoduje, według tej teorii, nowe subtelne niesymetrie, a te wyzwalały w różnych rejonach ciała odpowiednie przekształcenia strukturalne, dając ostatecznie efekt wysoko zorganizowanej, hierarchicznej i wielofunkcjonalnej postaci dojrzalej.

Próbowano wykryć owe subtelne substancje sterujące rozwojem organizmu. Początkowe wyniki były zachęcające. Potem się jednak okazało, że liczba i różnorodność „induktorów” i „organizatorów” jest oszałamiająca. Tkanki żywe i martwe, tkanki pobrane z osobników tego samego gatunku i z gatunków zupełnie odmiennych, substancje chemiczne produkowane przez organizm i substancje techniczne – wszystkie, w odpowiednich okolicznościach, były w stanie wyzwolić efekt doskonałej integracji komórek w tkanki, a tkanek w organy funkcjonalne. Stało się jasne, że owe induktory są jedynie stosunkowo mało swoistymi bodźcami. Właściwa reakcja na te bodźce musi być domeną selektywnej agencji, zdolnej do ich rejestrowania, właściwego ich interpretowania i skutecznego realizowania programu, który nie jest ukryty w strukturze bodźca czy sygnału, ale w jakimś nieznanym źródle informacji.

Można powiedzieć, że pojawiła się niejasna, nie do końca sprecyzowana koncepcja układu przyczynowego, sterowanego sygnałami interpretowanymi selektywnie i całościowo.

Teorie „morfogenetycznych pól” i „gradientów”

W pierwszym ćwierćwieczu XX stulecia powstały teorie, które postulowały istnienie nie określonego bliżej „pola”, narzucającego jednorodnej masie mnożących się komórek embrionu odpowiednią wewnętrzną różnorodność i integrację.

Koncepcja pól miała zredukować problem embriogenezy do poziomu zjawisk fizyczno-chemicznych, rozgrywających się zasadniczo na poziomie molekularnym (procesów dyfuzji „substancji morfogenetycznych”, gradientów „substancji morfogenetycznych”, gradientów pola elektrycznego, itp.), a równocześnie wyjaśnić wzrost złożoności oraz stopniową integrację struktur w przebiegu morfogenezy. Krytycznego przeglądu tych teorii dokonał Spemann (1967/297-345).

Oto najistotniejsze, w moim przekonaniu, słabości tych pomysłów:

- 1) Hipotetyczne „pola morfogenetyczne” są „jednowarstwowe” – w najlepszym wypadku mogłyby sterować różnicowaniem się tylko jednego poziomu złożoności struktur organizmu, a tych poziomów można u kręgowców naliczyć i kilkanaście.
- 2) „Pola morfogenetyczne” są jednoetapowe, podczas gdy embriogeneza to wiele etapów znacznie różniących się dynamiką.

- 3) Ewentualne przekształcanie się pola morfogenetycznego wymagałoby jakiegoś czynnika koordynującego, odpornego na okaleczenia, zdolnego do regeneracji.
- 4) Różnicowanie się komórek, tkanek, organów wymaga odpowiednio zróżnicowanych wpływów fizyczno-chemicznych, w odpowiedniej skali i odpowiedniej jakości. Zakładając determinizm proporcjonalny do powtarzalności i precyzji procesów rozwoju, musimy odróżniać czynniki *determinujące* proces rozwoju od „sygnałów” *inicjujących* proces rozwoju. „Pole morfogenetyczne”, homogeniczne jakościowo, do swej skuteczności wymagałoby zatem jakiegoś systemu przekazników, efektorów – jednym słowem, systemu „translacji”. Genetyka takiego systemu stawiałaby na nowo problem wyjściowy.
- 5) „Pola morfogenetyczne”, jako byty przestrzenne, byłyby z jednej strony podzielne, a więc ulegałyby okaleczeniom przez podział przestrzenny, a z drugiej strony byłyby związane z określoną skalą przestrzenną. Regeneracja funkcji jest – jak widzieliśmy w doświadczeniach Morgana na wypławkach – stosunkowo niezależna od skali organu.
- 6) Koncepcja „pola morfogenetycznego”, rozumianego jako „sygnał”, przerzuca ciężar problemu na „reaktywność” tkanki lub komórki. Ta reaktywność, jak wykazały doświadczenia opisane w pierwszej części referatu, jest z reguły „totipotencjalna”. Teza o koordynacji dynamiki licznych „totipotencjalnych” elementów przez homogeniczne „pole fizyczno-chemiczne” nie wydaje się rozwiązywać czegokolwiek. Postulowanie „pola” odpowiednio heterogenicznego stawiałoby na nowo problem jego genezy i ewentualnej regeneracji.

Teorie „pól morfogenetycznych” prowokują zatem te same pytania, na które miały odpowiedzieć.

Homeoboksy

Ostatnio wielkiego rozgłosu nabrała sprawa tzw. homeoboksów. Homeoboksy są to odcinki biopolimeru DNA, zawierające szyfr dla sygnałów białkowych regulujących rozwój symetrii i struktur dojrzewających organów zarodka. Polimer DNA – jak się okazało – jest szyfrem wielowarstwowym. Oprócz trójnukleotydowych kodonów, oznaczających kolejność aminokwasów w białkach funkcjonalnych organizmu, zawiera on szyfry cztero-, sześćio-, dziesięcio- i więcej nukleotydowe, odczytywane selektywnie i na ogół bezbłędnie przez odpowiednie mechanizmy komórki. Poza tym, DNA zawiera instrukcje do produkcji sygnałów białkowych (polipeptydów), które na podobieństwo hormonów regulują kolejność węzłowych etapów rozwoju i porządek przestrzenny powstających organów. Stosunkowo niedawno okazało się, że u owadów, u myszy i u człowieka – pomimo kolosalnych różnic w strukturach postaci dojrzalej – szyfry DNA dla sygnałów regulujących rozwój są bardzo podobne. To są właśnie owe homeoboksy (por. np. De Robertis i wsp., 1990). Dla niektórych biologów odkrycie homeoboksów jest czymś przełomowym, czymś, co radykalnie usuwa kryzys teorii rozwoju organizmu.

W moim przekonaniu, odkrycie homeoboksów żadnego kryzysu nie likwiduje; raczej dodaje nowe piętro do wielkiej sterty zagadek. Dlaczego tak myślę?

Otóż homeoboksy, a ściślej – produkty ich translacji, są jedynie nową formą sygnałów, których właściwości fizyczno-chemiczne nie mogą pretendować do roli przyczyn kształtujących wielopoziomowe struktury powstającego organizmu.

By lepiej wyrazić różnicę pomiędzy sygnałem a przyczyną, posłużę się analogią. Wyobraźmy sobie czerwoną okrągłą tarczę, średnicy około 0,5 m, przepołowioną poziomym białym pasem. Jeżeli taka tarcza znajduje się na słupku, na rogu ulicy, to dla Europejczyka oznacza zakaz wjazdu w tę ulicę. Ten znak różni się formą od znaku zakazu postoju lub od znaku zakazu wyprzedzania. Jednak by doszło do zachowania tej instrukcji, musi istnieć sprawny pojazd, i nie wystarczy, by za kierownicą siedział przytomny kierowca. Kierowca musi bowiem znać konwencję znaków drogowych. Sam znak go o tej konwencji nie pouczy. Podobnie rzecz się ma z wszelkiego rodzaju szyframi molekularnymi wykrytymi w strukturze DNA. Bez konwencji kodu, czyli odpowiednich, selektywnych i precyzyjnych systemów translacji, DNA jest jedynie polimerem, substancją chemiczną, a z jej struktury nikt niczego nie wyczyta.

Homeoboksy odsłaniają nowe piętro finezyjnych form zapisu informacji w cząsteczce DNA, co jeszcze dobitniej przemawia przeciwko losowej teorii powstania tej cząsteczki. Niezwykle ostro stawiają też problem selektywności procesu interpretacji sygnału.

*„... one of the *Xenopus* [żaba szponiasta - PL] homeoboxes is so similar to the *Antennapedia homeobox* in *Drosophila* that only one aminoacid out of 60 has changed despite millions of years of evolutionary separation between the two species” (Watson et al., 1987/794).*

Tego typu fakty stanowią poważne wyzwanie dla teorii mutacji. Ale pozostawmy ten temat i skoncentrujmy się na innym, równie istotnym zagadnieniu. Jak wytłumaczyć, że embriony owadów i kręgowców, posługując się prawie identycznymi sygnałami, wytwarzają radykalnie odmienne struktury funkcjonalne? Odkrycie homeoboksów uwydatnia konieczność starannego rozróżniania pomiędzy przyczynami determinującymi powstawanie struktur funkcjonalnych a sygnałami, których działanie wymaga postulowania odpowiednio selektywnych, złożonych mechanizmów interpretacji.

Ostatnią część mego referatu poświęcę omówieniu arystotelesowskiej teorii rozwoju organizmu i jej nowożytnym formom.

Część III – Witalizm i antywitalizm

Arystoteles, analizując rozwój cyklu życiowego wielu organizmów roślinnych i zwierzęcych, sformułował postulat duszy vegetatywnej: niematerialnej, niepodzielnej przestrzennie i jakościowo struktury bytowej, immanentnie dynamicznej (automatycznej) – ale pozbawionej świadomości – zdolnej do kształtowania materiału wody, powietrza, ziemi i ognia w „części homogeniczne” (dziś nazywamy je tkankami) i części heterogeniczne (czyli zespoły różnych tkanek, organy). Ta teoria rozwoju biologicznego trwała aż do Harveya, który potrafił się wprowadzić oprócz modnej w XVII wieku iluzji preformacji, ale nie zdołał tej iluzji osłabić. Na przełomie XIX i XX wieku Driesch doszedł do przekonania, że rozwojem organizmu kieruje czynnik niematerialny, nieprzestrzenny, nieświadomy, automatyczny, który selektywnie wykorzystuje potencjalności różnych form materiału, sterując w ten sposób naturalną dynamiką materii, wcale tej dynamiki nie stwarzając – jedynie ją w różnorodny sposób, w różno-

Tabela I

BIOLOGIA FUNKCJI	BIOLOGIA ROZWOJU
sfera faktów (opis przebiegu zjawisk)	
funkcje organów	rozwój organów (morfogeneza, morfallaksja)
funkcje organelli komórkowych	rozwój komórek (cytotyferencjacja, epimorfoza)
funkcje molekularne	biosynteza
sfera pytań	
pytanie o genezę hierarchicznej złożoności struktur	pytanie o magazyn informacji dla różnych pięt hierarchii
pytanie o genezę integracji funkcjonalnej	pytanie o koordynację wielu procesów epigenetycznych podczas regeneracji
sfera odpowiedzi (teoria funkcji i rozwoju)	
na pytanie o genezę struktur funkcjonalnych odpowiada sam opis procesu rozwojowego i procesu regeneracji (embriologia i genetyka jest wyjaśnieniem dla anatomii i dla fizjologii	selektywność rozwoju wyjaśnia postulat czynnika koordynującego rozwój i regenerację całości układów funkcjonalnych (Aristoteles, Driesch, Spemann) w sposób niezależny od aktualnej skali regenerujących struktur, niezależnie od stanu struktur ocalałych i niezależnie od liczby kopii DNA Czynnik ten kształtuje materiał i buduje z tego materiału całości układów funkcjonalnych. Jest on zatem „niematerialny”, czyli nie jest materiałem.
sfera metodologiczna	
badanie izolowanych struktur poza kontekstem całości funkcjonalnych, nie pozwala dostrzec zjawiska całości funkcjonalnej i pozbawia sensu pytanie o genezę całości funkcjonalnej	badanie genezy izolowanych pięt hierarchii struktur i dynamizmów, badanie rozwoju w jednej skali, badanie genezy konkretnej struktury bez uwzględnienia kontekstu cyklu rozwojowego, lub procesu regeneracji nie ukazuje sensu pytań stanowiących punkt wyjścia teorii rozwoju

rodnych momentach i w różnorodnych rejonach ograniczając (determinując). Nazwał ten czynnik entelechią, ale podzieliła ona – w środowisku uczonych przyrodników – los duszy wegetatywnej. Kilkadziesiąt lat później, Spemann, laureat nagrody Nobla, pod wpływem swoich badań nad rozwojem organizmu i nad regeneracją doszedł do podobnych wniosków co Driesch, ale i on został wyśmiany.

Przeciwko duszy wegetatywnej i entelechii, zaliczonym do fantazji witalizmu, wysunięto wiele różnych oskarżeń i usunięto je poza margines polemiki naukowej. Hasło „witalista” nabrało znaczenia podobnego do łatki z Gwiazdą Syonu, z tym że witalista nie był przeznaczony do zagłady, a tylko do umieszczenia w getcie pomyślników. Mimo to sumienie biologów nie jest całkiem czyste, skoro w ostatnich dziesiątkach lat prowadzono polemikę z witalizmem, doktryną rzekomo całkiem martwą. Ta polemika działa oczyszczające, eliminując niepotrzebne, nieistotne składniki pojęć witalistycznych, a zarazem stawiając na nowo istotę zagadnienia.

Zarzuty przeciwko arystotelesowskim koncepcjom rozwoju organizmu

Zanim omówię zarzuty, pragnę wyraźnie stwierdzić, że czynniki integrujące rozwój organizmu nie muszą w żadnym wypadku być utożsamiane z działaniem jakiejś świadomości, a tym bardziej świadomości wyższej od człowieka. Dowodem tego jest „bezbronność” mechanizmów rozwojowych i regeneracyjnych wobec manipulacji doświadczalnych. Istnieje ogromna różnorodność sposobów „wyprowadzenia w pole” owego hipotetycznego czynnika – co ma swoje odbicie w niezliczonych monstrualnościach i pokracznościach rozwoju, tak eksperymentalnych jak i chorobowych.

Przechodząc do zarzutów ograniczę się do tych, które w latach pięćdziesiątych sformułował von Bertalanffy (1960) oraz tych, które niedawno sformułował ewolucjonista i biolog Ernst Mayr (1982) oraz uczeń Spemanna, embriolog niemiecki Holtfretter (1988).

Zarzuty von Bertalanffy'ego

Zarzut „fałszywej alternatywy”. Zaczniemy od tego, że von Bertalanffy dobrze, w moim przekonaniu, rozumie i dobrze rekonstruuje rozumowanie Driescha:

„the arrangement of processes which eventually leads to the formation of an organism can be explained, according to Driesch, only by assuming that the processes are directed in the right way by means of a fixed structure, a „machine” in the widest sense of the word, but there cannot be such a machine in the germ ... here the physico-chemical explanation of life reaches its limit ... a factor is active which ... directs events in anticipation of the goal” (Bertalanffy, 1960/6).

Absolutna precyzja procesów biosyntezy, epimorfozy, morfogenezy i organogenezy wymagałaby – zdaniem Driescha – subtelnej, selektywnej i niezwykle złożonej maszynierii fizyczno-chemicznej. Tej maszynierii jednak w komórce rozrodczej nie znajdujemy. Zatem musi działać coś, co spełnia rolę tej maszynierii, nie mając jednak cech struktury fizyczno-chemicznej.

Trudno dostrzec jakiś błąd w tym rozumowaniu. A jednak von Bertalanffy zarzuca Drieschowi błąd fałszywej alternatywy. Zdaniem von Bertalanffy'ego *datur tertium*.

„There is yet a third possibility, namely, dynamic regulation within an integrate system” (ibidem).

Ta „dynamiczna regulacja” jest, zdaniem von Bertalanffy'ego charakterystyczną cechą systemów „*in which the order of processes results from dynamics*” (Bertalanffy, 1960/193). Taki tok myślenia dokładnie się pokrywa – w moim przekonaniu – z rozumowaniem Driescha. Nie istnieje bowiem żadna „sztywna” (czytaj materialna) struktura kierująca powstawaniem „sztywnych” struktur ciała; „czynnik aktywny” jest „dynamizmem”. Jeśli tak, to „*tertium*” identyfikuje się z „*secundum*”, a zarzut von Bertalanffy'ego okazuje się nieporozumieniem.

Sądzę, że warto tu zacytować sławnego genetyka Mullera (nagroda Nobla), który w roku 1947 pisał tak:

„... it is obvious that the whole congeries of variable processes of each kind of organism tends to go in a succession of great cycles, or generations . . . and that at the end of every ... cycle something very like the starting-point is reached again. Now the finding of the starting-point in a complex course, were it observed in any other field, would be taken to imply the existence of some guide or guides, some elements that . . . serve as a frame of reference in relation to which the passing phases of other features are adjusted . . .” (cyt. za J.A. Moorem, 1972/79).

W słowach Mullera zawiera się gotowość, by uznać jedyność czynnika odpowiedzialnego za całość rozwoju embriologicznego. Ta jedyność „czynnika”, zestawiona z konieczną – jak się zdaje – zdolnością determinowania bardzo różnorodnych procesów w różnorodnych etapach rozwoju, w różnej skali i na różnych poziomach złożoności wydaje się wykluczać racjonalność rozwiązań opierających się na takiej lub innej cząsteczce chemicznej, lub jakiejś strukturze organicznej, powstającej na tym czy innym etapie rozwoju. Na przykład cząsteczka chemiczna DNA jest ograniczona w skali wielkości, ograniczona w swych cechach fizyczno-chemicznych, a poza tym wielokrotnie występuje w różnych obszarach embrionu. Z tej racji nie spełnia ona też warunku jedyności. Wyższe, bardziej złożone struktury organizmu są natomiast rezultatem procesu genezy integrującej, a więc tłumacząc ten proces nie można do nich apełować.

Zarzut „antycypacji celu”. Ten zarzut kojarzy się z problemem „świadomości” celu. W tle tego zarzutu kryje się antropomorfizm oraz brak rozróżnienia pomiędzy dynamizmem poznania celu a dynamizmem realizacji celu. Ten pierwszy dynamizm nie jest poznaniem *sensu stricto*, dopóki cel nie zostanie zrealizowany. Zanim to nastąpi, można mówić jedynie o konstrukcjach umysłowych, o konstrukcjach pojęciowych, o poznawaniu tych konstrukcji, ale nie one są tym celem, o którym tu mowa. Natomiast proces realizowania celu jest procesem deterministycznym i termin „antycypacja” nie posiada tu – moim zdaniem – zastosowania.

Dusza wegetatywna (postulowana przez arystotelików u organizmów pozbawionych poznania zmysłowego) lub animalna (u organizmów zdolnych do poznania nie-refleksyjnego) nie posiadały możliwości poznania celu swych działań ani możliwości zmiany tego celu. Innymi słowy, dusza rozumiana jako czynnik kierujący rozwojem, była „sztywno” zdeterminowana do pewnego „kierunku” działania, choć to działanie było wielopoziomowe i wielorakie tak w sensie kwalitatywnym, jak i kwantytatywnym. Tylko dusza człowieka posiadałaby możliwość samopoznania i możliwość autodeterminacji celu.

Dusza wegetatywna, jak już wspomniano, nie była pojmowana jako byt określający

swą celowość. Przypisywano jej cechy automatu. Samoczynność oznaczała, że dusza wegetatywna, w swych działaniach kształtujących materiał, nie jest determinowana „z zewnątrz”, a tylko przez swą własną i ściśle ograniczoną bytowość. Elementem „zewnętrznym” wobec duszy jest materiał dostępny w otoczeniu organizmu. Jego brak uniemożliwia jej działanie, ale nie jest w stanie tego działania zmodyfikować. Nie sędzę, by automatyczny proces technologiczny w fabryce – dajmy na to – zegarków zawierał w sobie rzeczywisty element „antycypacji celu”. Zatem nie widzę konieczności, by koncepcję Driescha czy koncepcję duszy wegetatywnej Arystotelesa obciążać elementem „antycypacji celu”. Ta antycypacja celu wprowadziłaby z powrotem element świadomości, element, którego ani Arystoteles, ani Driesch wprowadzać nie chcieli.

Zarzut „nienaukowosci”. „*Vitalism renounces scientific explanation*” (Bertalanffy, 1960/19). Jest to zarzut wykroczenia poza sztywno ustalone ramy „wyjaśnienia naukowego”. Któż te ramy ustalał i kto o nich decydował? Wykroczenie poza ramy bytów przestrzennych i zmiennych w czasie jest podobne do wykroczenia poza ten czy inny postulat geometrii Euklidesowej. Wiemy też, że Newton postulując swoją siłę grawitacji był przekonany, że zdecydowanie wykracza poza utarte koleiny przyjętych ówczesnie pojęć naukowych.

Von Bertalanffy wypomina Drieschowi, że kreuje on: „*host of goblins, who invent and design the organism, control its processes, and patch the machine up after injury*” (Bertalanffy, 1960/8-9).

Ten zarzut jest – chyba nieświadomą – próbą dodania do koncepcji Driescha elementu oczywiście zbędnego, po to, by razem z tym zbędnym dodatkiem, działającym jak kamień u szyi, pogрузić całą teorię w otchłani nieporozumienia. Von Bertalanffy zarzuca Drieschowi „antropomorfizm prymitywnych plemion ludzkich” – ale to on sam ten antropomorfizm do koncepcji Driescha wprowadza. Prawdą jest, że wielu, a może większość witalistów kształtowało pojęcie *principium vitale* na podobieństwo umysłu ludzkiego. Ale ani Arystoteles, ani Driesch tak nie czynili. Istotą ich koncepcji jest próba określenia, jakie minimalne wyjaśnienie rozwiąże problem stawiany przez empirię cyklu rozwojowego i regeneracji – bez popadania w błąd *idem per idem*. Nie jest prawdą, że witalizm ze swej istoty był apriorycznym antropomorfizmem (por. Hall 1969/11/285-287). Dobrą ilustracją tego ostatniego stwierdzenia jest praca June Goodfield (1974), która referując poglądy Liebiga (1842) stwierdza między innymi:

„*Liebig felt no alternative but to opt for the introduction of a special type of force – along with electrical, magnetic and chemical forces – to explain the capacity of the organism to hold destructive chemical influences of the environment at bay ... Here we have a situation in which the term vital force is introduced not as an a priori statement of faith about the nature of organisms, which effectively excludes them from experimental study, but as an explanation, after experiment, for the results he has obtained*” (podkr. J.G.).

A zatem postulowanie w organizmie jakiejś nowego typu zasady działania może być koniecznością wynikającą z wymowy obserwacji i eksperymentów. Jeżeli jednak założy się *a priori*, że bytowość jest nierozdzielnie powiązana z przestrzennością i zmiennością w czasie, a także z „molekularnością” struktury wewnętrznej, to takie założenie, postawione jako dogmat metodologiczny, fatalnie ograniczy swobodę badań nauko-

wych. Z drugiej strony, przyjęcie hipotezy Arystotelesa i Driescha nie ogranicza – w moim przekonaniu – swobody eksperymentalnego testowania cech jedności i aktywności czynnika kierującego.

To eksperyment wykaże słuszność lub niesłuszność hipotezy Arystotelesa i Driescha. Eksperyment może też ukazać pewne jej ograniczenia, o których obecnie nie mamy pojęcia.

Ekstrapolacja metodologiczna. Von Bertalanffy popełnia, jak się zdaje, błąd wyrwania zjawiska z koniecznego kontekstu oraz błąd nieprawomocnej ekstrapolacji. Uważa bowiem, że skoro zjawisko powstawania mocznika i zjawisko fermentacji były niegdyś traktowane jako przesłanki tezy witalistycznej, a Wohler i Buchner odtworzyli te zjawiska w laboratorium, to każda przesłanka witalistyczna zostanie w przyszłości zredukowana do poziomu praw materii nieożywionej (por. Bertalanffy, 1960/8). Trzeba tu powiedzieć, że produkcja mocznika w organizmie i fermentacja zachodząca w drożdżach są małym, przez abstrakcję wyizolowanym fragmentem procesów cyklu życiowego, a ich harmonijny przebieg – w kontekście dynamiki organizmu – jest dziś przynajmniej tak samo zagadkowy, jak niegdyś. Z drugiej strony, działania laboratoryjne Wohlera i Buchnera tylko w swoim końcowym rezultacie przypominają proces biologiczny i nie istnieją żadne poważne racje, by traktować tego typu skromne sukcesy jako zapowiedź laboratoryjnej, całościowej symulacji procesu biologicznego.

Zarzuty Mayra (1982)

„What machine, if cut in half, could function normally?. This unexpected amount of self-regulation induced Driesch, ... to embrace a rather extreme form of vitalism and to postulate a nonmechanical entelechy” (Mayr, 1982/118).

Witalizm a prawa fizyki i chemii (PFCh). Witaliści uważają, że pewne procesy w żywych organizmach nie całkiem stosują się do PFCh (Mayr, 1982/52, 59, 114). Moim zdaniem, zachodzi tu ścisła analogia z procesami techniki i technologii. Wykorzystują one PFCh. Dzięki poznaniu tych praw możliwy jest postęp techniczny. Jednak trudno uznać – choć sprawa wymaga bardzo szczegółowej analizy (por. Lenartowicz, 1975 oraz 1986/220-279) – że produkty techniki powstały poprzez autonomiczną grę PFCh. To prawda, że struktury funkcjonalne postaci dojrzałej działają zgodnie z PFCh, ale ich powstanie nie może być wyjaśnione, bez reszty, autonomiczną grą PFCh. Trzeba zatem dodać, że spór witalizm - antywitalizm nie oznacza antynomii:

pełna zależność od PFCh – pełna niezależność od PFCh.

W wypadku Arystotelesa i Driescha ta antynomia brzmi raczej:

pełna zależność od PFCh – niepełna zależność od PFCh

(i to tylko w procesie genezy!).

Jak szeroka lub wąska jest ta niezależność – o tym może zadecydować tylko obserwacja i eksperyment. Obecna praktyka przyrodników zbyt często polega na strusiej polityce ignorowania kłopotliwych elementów empirii, bądź na produkowaniu wyjaśnień, które przy bliższej analizie są albo redeskrypcją zjawiska zagadkowego, albo ukazaniem wyżej zawołanym przeniesieniem zagadki na nowy poziom teoretyczny.

Witalizm a nadprzyrodzoność. Zdaniem Mayra (1982/97,114) witalizm wprowadza do nauki elementy pojęć „nadprzyrodzonych, religijnych, mistycznych, irracjonalnych”. Cóż na to odpowiedzieć? Monizm materialistyczny narzucił współczesnej mentalności przyrodniczej dwuszufladkowy schemat klasyfikacji pojęć. Jedną szufladką to racjonalnie dostępna rzeczywistość materii – i nic poza tym, drugą to „rzeczywistość nadprzyrodzona” pojęć „religijnych, mistycznych, irracjonalnych”. W takim schemacie witalizm musi być utożsamiany ze sferą pojęć „nadprzyrodzonych”. Geneza tego dwuszufladkowego schematu jest łatwa do ustalenia i ma ścisły związek z historią materializmu europejskiego oraz ze spuścizną krytyki poznania przeprowadzoną przez Kanta. Wartość tego schematu nie powinna być jednak przeceniania ani dogmatyzowana.

Witalizm a teoria preformacji. Mayr (1982/106) wyraża przekonanie, że wprawdzie witaliści słusznie opowiadali się za rzeczywistością stopniowego różnicowania się stosunkowo jednorodnej masy jaja (epigeneza), to jednak preformacjoniści pierwsi odkryli konieczność programu tej epigenezy („programu genetycznego”). Nie jest to całkiem ścisłe. Już Arystoteles uznał, że do wyjaśnienia powtarzalnego procesu epigenezy budującej i integrującej organy ciała konieczny jest czynnik „informujący”, i jego termin „dusza wegetatywna” oznaczał tę właśnie informację. Natomiast preformacjoniści początkowo usiłowali zanegować fakt epigenezy, a gdy się to nie udało, usiłują do dzisiejszego dnia przekonać siebie i innych, że „pełna informacja genetyczna” zawiera się w bardzo skomplikowanej strukturze polimeru DNA, obecnej w komórce rozrodczej, zdolnej jakoby do „samopowielania” oraz do autonomicznego kierowania budową lub odbudową struktur postaci dojrzalej. Badania nad totipotencjalnością i regeneracją ukazują niedostatki tego poglądu.

Zarzuty Holtfrettera

Holtfretter (1989) wspomina, jak to Spemann, wybrany na rektora Uniwersytetu we Fryburgu, stwierdził w swym inauguracyjnym przemówieniu w 1923 r., że:

„In animal development, nature proceeds just like an artist who creates a drawing or sculpture – indeed, like any organizer who disposes of a given material, be it living or nonliving” (Holtfretter, 1989/136).

Spemann sądził, że embrion stara się „to reach its preconceived final goal (*vorgestecktes Endziel*)” oraz że embrion posiada „rozum” podobny do ludzkiego, rozum umożliwiający planowanie oraz podejmowanie decyzji. Holtfretter, który jest jednym z najwybitniejszych uczniów Spemanna, odrzuca te wszystkie „antropomorficzno-psychiczno-teleologiczne” interpretacje swego mistrza. Nie zamierzam bronić Spemanna przed zarzutem antropomorfizmu – zasłużył on na taki zarzut. Mimo to krytyczne wywody Holtfrettera ukazują pewien styl rozumowania, który warto przeanalizować.

Embrion nie jest artystą. Artysta – zdaniem Holtfrettera – tworzy w oparciu o swą „wewnętrzną jaźń, swe uczucia, wyobrażenia, marzenia”. Artysta tworzy dzieła „obok siebie”, a nie „w sobie”, jak embrion. Te fakty – jak sądzi Holtfretter – kompletnie dyskredytują witalistyczną koncepcję Spemanna.

Embrion nie jest podobny do uczonego. Uczony „dokonuje wiwisekcji, analizuje,

racjonalizuje fakty przyrodnicze, tworząc ostatecznie abstrakcyjne schematy lub formuły, które w niczym nie przypominają zjawisk danych w pierwotnej obserwacji”.

„The embryo, on the other hand, is a self-contained dynamic entity that continuously creates itself and undergoes a series of gradual transformations, until it reaches the more stable condition of adulthood. We have learned that embryogenesis involves a great diversity of biological processes, many of which are interdependent, and all of which are harmoniously integrated into a common, unified whole, known as the individual organism” (Holtfretter, 1989/137).

Embrion nie ma mózgu. Do tego dochodzi – zdaniem Holtfrettera –jeszcze jedna ważna różnica:

„Ludzkie myślenie zachodzi w specjalnym organie, mózgu. A wczesny zarodek płaza nie posiada jeszcze funkcjonalnego mózgu ... gdzież zatem mieściłaby się owa hipotetyczna władza psychiczna?” (ibid).

Cóż można odpowiedzieć na tego rodzaju krytykę witalizmu?

Trzeba przyznać, po pierwsze, że porównanie działania embrionu do działań artysty lub uczonego (a ściślej jego karykatury), jest niefortunne. Znacznie mniej odległym od prawdy byłoby porównanie embrionu do działań inżyniera, który selekcjonuje a potem przekształca dostępny mu materiał, by następnie z tego zmodyfikowanego materiału ukształtować dopasowane nawzajem części silnika, czujnika, urządzenia sterującego, itp.

Po drugie, embrion to – w pewnym sensie – byt nie tyle abstrakcyjny, ile rekonstrukcyjny. Nikt nigdy nie widział i nigdy nie zobaczy cyklu życiowego. Zmysłom dostępny jest tylko chwilowy, przemijający etap rozwoju. Tylko dzięki ciągłości obserwacji i pamięci człowieka możliwa jest umysłowa rekonstrukcja dynamiki embrionu. Natomiast potencjał stanowiący niewątpliwe źródło tej dynamiki musi – racjonalnie rzecz ujmując – istnieć w całości. Ta całość nie jest jednak ani widzialna, ani bezpośrednio – zmysłowo lub instrumentalnie – dostępna. Nie posiada ona struktury materialnej jakiegoś określonego etapu rozwoju i trudno sądzić, że posiada ona strukturę materialną tych wszystkich etapów „wteleskopowanych” jeden w drugi.

Po trzecie, działanie mózgu i jego znaczenie dla procesu myślenia nie mogą być traktowane jako coś bardziej fundamentalnego niż źródło dynamiki embrionalnej prowadzącej do ukształtowania mózgu. Przeciwnie, rozum i logika sugerują, że dynamika kształtująca mózg jest bardziej fundamentalną przyczyną poznawania (zmysłowego oraz intelektualnego) niż dynamika mózgu. Przypomnijmy sobie, że w doświadczeniach nad okaleczaniem wypławków dochodziło do regeneracji mózgu, a w doświadczeniu Beissenhirtza dochodziło do integracji dwu kompletnych struktur mózgowych. Dynamika funkcjonalna mózgu jest wyraźnie podporządkowana dynamice embriogenezy – jest rezultatem, a nie przyczyną potencjału rozwojowego.

Wreszcie, po czwarte, nie wydaje się konieczne, by złożona i niewątpliwie integrująca dynamika potencjału biologicznego (jak go zwał, tak zwał) musiała być zależna od aktów świadomości. Automatyczność potencjału rozwojowego to jedna sprawa, autoświadomość to sprawa inna. Klasyczni witaliści zapędzali się zbyt daleko w swych spekulacjach. Krytyka tych zapędów jest uzasadniona. Ale ta krytyka nie dotyczy istoty problemu integracji i nie dotyczy racjonalnych prób odnalezienia proporcjonalnych przyczyn tej integracji.

BIBLIOGRAFIA

- Akam M. (1989): *Hox and HOM: Homologous gene clusters in insects and vertebrates*. Cell 57, 347-349.
- Atchley W.R. (1989): *Introduction to the symposium (on the evolution of the developmental systems)*. Am. Nat. 134, 437-439.
- Beissenhirtz H. (1928): *Experimentelle Erzeugung von Mehrfachbildungen bei Planarien*. Z. wiss. Zool. 132, 257-313.
- Bertalanffy (von) L. (1960): *Problems of life. An evaluation of modern biological and scientific thought*. Harper, New York.
- Dalyell I.G. (1914): *Observations on some interesting phenomena in animal physiology, exhibited by several species of Planariae*. Edinburgh.
- De Robertis E.M., Oliver G., Wright Ch. V.E. (1990). *Homeobox genes and the vertebrate body plan*. Sci. Amer. July 1990, 26-32.
- Driesch H. (1892): *Der Werth der beiden ersten Furchungszellen in der Echinodermmentwicklung. Experimentelle Erzeugung von Theil und Doppelbildungen*. Z. wiss. Zool., 53, 160 - 178.
- Eguchi G. (1963): *Electron microscopic studies on lens regeneration. I. Mechanism of depigmentation of the iris*. Embryologia 8, 45-62.
- Goodfield June (1974): *Changing strategies: A comparison of reductionist attitudes in biological and medical research in the nineteenth and twentieth centuries*. W: *Studies in the philosophy of biology: reduction and related problems*, pod red. F.J. Ayali i Th. Dobzhansky'ego, Macmillan, London, p. 65-86.
- Goss R. J. (1970): *Principles of regeneration*. Academic Press, New York, London.
- Gurdon J.B. & Uehlinger V. (1966): „Fertile” intestine nuclei. Nature 210, 1240- 241.
- Haken H. (1978). *Synergetics*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hall T.S. (1969). *Ideas of life and matter*. Univ. of Chicago Press, Chicago.
- Holtfreter J.F. (1988): *A new look at Spemann's organizer. The molecular biology of cell determination and cell differentiation*. W: *Developmental Biology: A comprehensive synthesis*, vol. 5, pod red. L.W. Browdera, Plenum Press, New York, p. 127-150.
- Janik J.A. (1988). *Hylemorficzna hierarchia bytow w swietle fizyki*. Nauka – Religia – Dzieje, IV. Materiały Seminarium Interdyscyplinarnego w Castel Gandolfo 1986, pod red. J.A. Janika i P. Lenartowicza, Wyd. Filozof. Jezuitow, Krakow, p. 73-85.
- King T.J. & Briggs R. (1956): *Serial transplantation of embryonic nuclei*. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 21, 271 - 279.
- Kühn A. (1971): *Lectures on developmental physiology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Liebig J. von (1842): *Animal chemistry*. London.
- Lenartowicz P. (1975): *Phenotype-genotype dichotomy. An essay in theoretical biology*. Pontif. Univ. Gregoriana. Roma.
- Lenartowicz P. (1986): *Elementy filozofii zjawiska biologicznego*. WAM, Krakow.
- Macleane N. (1977): *The differentiation of cells*. E. Arnold, London.
- Mayr E. (1982): *The growth of biological thought. Diversity, evolution, and inheritance*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Meins F.Jr. (1975): *Cell division and the determination phase of cytodifferentiation in plants*. W: *Cell cycle and cell differentiation*, pod red. J. Reinerta i H. Holtzera. Springer Verlag, Berlin.

- Moore J.A. (1970): *Readings in Heredity and Development*. Oxford Univ. Press.
- Moore P. (1981): *The varied ways plants tap the sun*. New Scientist, 12 February, p. 394-397.
- Morgan T.H. (1901): *Regeneration*. Macmillan, New York.
- Muller H.J. (1947): *The gene*. Proc. Roy. Soc. B 134, 1-37.
- Prosser C.L. (1986): *Adaptational biology. Molecules to organisms*. Wiley & Sons, New York.
- Rabl C. (1898): *Über den Bau und die Entwicklung der Linse. I. Selachier und Amphibien*. Z. wiss. Zool. 63, 496-572.
- Saunders J.W.Jr. (1970): *Patterns and principles of animal development*. Macmillan, London.
- Smith J.C. (1988): *Cellular interactions in establishment of regional patterns of cell fate during development*. W: *The molecular biology of cell determination and cell differentiation*, pod red. L.W. Browder (*Developmental Biology: A comprehensive synthesis*, vol. 5), Plenum Press, New York, p. 79-125.
- Spemann H. (1967): *Embryonic Development and Induction*. Hafner, New York.
- Steinmann P. (1927): *Prospective analyse von Restitutionsvorgängen. II*. Wilhelm Roux' Arch. Entwicklungsmech. Organ. 112.
- Steward F.C., Mapes Marion O., Smith Joan (1958): *Growth and organized development of cultured cells. I. Growth and division of freely suspended cells*. Am. J. Bot. 45, 693-703.
- Steward F.C., Mapes Marion O., Mears Kathryn (1958): *Growth and organized development of cultured cells. II. Organization in cultures grown from freely suspended cells*. Am. J. Bot. 45, 705-708.
- Stone L.S. (1958): *Lens regeneration in adult newt eyes related to retina pigment cells and the neural retina factor*. J. Exp. Zool. 139, 69-84.
- Stone L.S. (1959): *Regeneration of the retina, iris, and lens*. W: *Regeneration in vertebrates*, pod red. C.S. Thornton, University of Chicago Press, Chicago, p. 3-14.
- Wachs H. (1914): *Neue Versuche zur Wolffschen Linsenregeneration*. Roux' Arch. Entwicklungsmech. Organ. 39, 384-451.
- Wadsworth W.G., Riddle D.L. (1989): *Developmental regulation of energy metabolism in Caenorhabditis elegans*. Develop. Biol. 132, 167-173.
- Wolff G. (1895): *Entwicklungsphysiologische Studien I. Die Regeneration der Urodelenlinse*. Arch. f. Entw. Mech., 1, 380-390.
- Wood W.B. (1988): *Determination of pattern and fate in early embryos of Caenorhabditis*. W: *The molecular biology of cell determination and cell differentiation*, pod red. L.W. Browder (*Developmental Biology: A comprehensive synthesis*, vol. 5), Plenum Press, New York, p. 57-78.
- Woodger J.H. (1967): *Biological principles*. Routledge & Kegan, London.

**Dyskusja po referacie P. Lenartowicza:
„Totipotencjalność – kluczowe pojęcie biologii rozwoju”**

Opublikowano w: *NAUKA – RELIGIA – DZIEJE*
V seminarium Interdyscyplinarne w Castel Gandolfo,
6-9 sierpnia 1990, pod redakcją J. A. Janika
Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1992, pp. 224-229.

Jerzy Janik: Przedstawiasz w tym referacie (odnośnie do pojęcia synergii) „sens biologiczny”, a nie „sens Hakena i Janika”. Przyjmuję za komplement, że mnie umieściłeś obok Hakena. Myślę, że moje koncepcje, oparte na poglądach Hakena, bardzo wspomagają twoje uznanie dla arystotelesowskiej koncepcji duszy wegetatywnej.

Chciałbym przypomnieć, że o duszy wegetatywnej mówiłem 4 lata temu w tym miejscu i utożsamiałem ją ze znanym czynnikiem porządkującym Hakena, który nazwałem za nim *Ordner*, co się bardzo nie podobało prof. Stróżewskiemu, jako brzydkie słowo. Otóż podtrzymuję tezę, że Hakenowski czynnik porządkujący, występujący w synergetyce, w przypadku organizmów – jeźowców, rybek czy salamander – to jest dusza wegetatywna i nie ma to nic wspólnego z transcendencją, z podejściem religijnym czy fideistycznym, jakby to powiedzieli ci, którzy nie lubią religii, itd.

To jest moja główna teza. A Ty trochę walczysz z tym wszystkim, pisząc tutaj, że termin synergia oznacza przynajmniej 3 różne pojęcia i 3 różne odpowiadające tym pojęciom rzeczywistości. Otóż synergia oznacza w moim rozumieniu nic innego, tylko to, że nie ma addytywności, tzn. że całość nie jest równa sumie części, o czym już wielokrotnie była dzisiaj mowa.

To, o czym mówisz, mianowicie, że w farmakologii mówi się o synergii, gdy dwa różne leki podane równocześnie dają efekt zdecydowanie wyższy (ja bym powiedział, że inny niż „efekt podania jednego z nich osobno plus efekt podania drugiego z nich osobno”), to jest to taki sam przykład na synergię, jak ten, który podajesz w punkcie trzecim. To, że synergia w sensie Hakena oznacza pewien rodzaj prawidłowości strukturalnej, to są tylko słowa, ja tego nie bardzo rozumiem.

Natomiast gdy mówiąc o synergii powołujesz się na twoją książkę z r. 1986, to właściwie, moim zdaniem, mówisz o tym samym, co ja rozumiem przez synergię, gdyż mówisz o procesach nierównowagowych, które zachodzą z minimum wzrostu entropii. My po prostu obaj używamy języka synergetyki. Język synergetyki w tego rodzaju układach zmusza nas do przyjęcia istnienia czynnika, który można intuicyjnie nazwać *Ordnerem*, czynnikiem porządkującym, w Hakenowskim rozumieniu. O tym będę mówił jutro. Jest to związane z pojęciem atraktora, występującym w teorii chaosu i w teorii systemów. Otóż nie ma żadnych powodów, żeby tego czynnika nie nazwać starym, arystotelesowskim określeniem dusza wegetatywna.

Piotr Lenartowicz: Dlaczego pojęcie układu nierównowagowego typu reakcji Biełousowa-Żabotyńskiego nie powinno być traktowane na równi ze zjawiskami funkcjonalnymi, które są koniecznym elementem procesu biologicznego?

Pojęcie układu nierównowagowego jest zbyt ubogie treściowo. Zmieszcza się w nim

nie tylko dynamizmy fizjologiczne, ale również dynamizmy patologiczne, dynamizmy obumierania tkanek i dynamizmy rozkładu ciała po śmierci. Słowem, zakres tego pojęcia jest zbyt szeroki.

Innym przykładem pojęć zbyt ubogich dla wyrażenia istotnych cech życia może być pojęcie diachronii (Piaget) lub kryształów aperiodycznych (Schrödinger). Ponieważ termin *Ordner* jest zdefiniowany przez odniesienie do zjawisk typu reakcji Bielo-usowa-Żabotyńskiego, ten termin również nie jest pojęciem dostatecznie rozwiniętym, bym go mógł z pożytkiem używać w nowoczesnej biologii. Jeśli go zastosuję, to przechodzę do porządku dziennego nad dokładnie opisanymi prawidłowościami biosyntezy i biologii molekularnej, pomijam wyniki nowoczesnych analiz, zdobytą precyzję pojęć, a więc jest to regres, a nie postęp wiedzy.

Paweł Zagrodzki: Chciałem zapytać, czy totipotencjalność, a w szczególności potencjalność, jest taką cechą gatunku, która ewoluuje z gatunkiem, czy też jest poza ewolucją? Jeżeli ta druga odpowiedź jest prawdziwa, to czy koncepcja totipotencjalności zakłada jakąś odmianę kreacjonizmu.

Piotr Lenartowicz: Czy totipotencjalność ulega ewolucji? By odpowiedzieć na to pytanie, muszę zacząć od tego, że jednym z aspektów totipotencjalności jest polimorfizm gatunków. Polimorfizm zaś jest niejako konkurentem zjawiska ewolucji. Oznacza on fakt różnorodności struktur funkcjonalnych obserwowany u osobników jednego i tego samego gatunku. Taką różnorodność tłumaczy się bogactwem potencjału rozwojowego (totipotencjalności) gatunku. Mówiąc o różnicach struktur, mam na myśli nie tylko ewentualną zmianę skali lub proporcji (np. reguła Bergmana, reguła Allena), ale też przebudowę konstrukcji podporowych (np. przyczepów mięśniowych, kostnych listew wzmacniających), a nawet radykalne zmiany w samej zasadzie działania organu (np. zmiany systemu lokomocji u Dinoflagellatae, metamorfoza u *Ambystoma mexicanum*). Jeśli zatem rozpatruje się ten lub inny ciąg przekształceń strukturalnych w danej linii pokoleń, trzeba, jak sądzę, bardzo starannie zbadać, czy zaobserwowane zmiany ujawniają polimorfizm (wewnętrzne bogactwo totipotencjalności gatunku), czy też dowodzą wewnętrznej, nieodwracalnej przemiany (ewolucji) owego zagadkowego potencjału.

Jak to się wiąże z kreacjonizmem? Im totipotencjalność konkretnego gatunku okazuje się (w wyniku obserwacji i eksperymentów) doskonalsza, bardziej całościowa (niepodzielna) i bogatsza, tym wyraźniej ujawnia się jej trwałość, niezmiennność. Nie chcę tej niezmienności traktować w sposób absolutny. Byłaby to ekstrapolacja pochopna, nieprawomocna. Mimo to, widzę jak przez mgłę nieprawdopodobną złożoność, precyzję i doskonałość tej totipotencjalności. Nie pojmuję, jaki dynamizm fizyczno-chemiczny mógłby coś ulepszyć w tym potencjale, tak odpornym na okaleczenia struktur biologicznych. Tym bardziej nie widzę, jak taki potencjał mógłby przekształcić się, płynnie i harmonijnie, w „totipotencjalność” innego typu – czyli innego „gatunku”. Zgadzam się jednak całkowicie z p. Rektorem Kojem w kwestii redukcjonizmu metodologicznego. Dlatego może lepiej będzie, jeżeli zamiast powiedzieć, że totipotencjalność z absolutną koniecznością postuluje kreacjonizm, pozostawię otwartą furtkę wahania – na wypadek, gdyby te sprawy, dla mnie dziś niepojęte, mogły się kiedyś poddać rzetelnej, proporcjonalnej eksplikacji działaniami niższego rzędu niż moc samego Stwórcy.

Józef Kaluża: Prosiłbym o wyjaśnienie, w jakim stosunku pozostaje pojęcie totipotencji, użyte tutaj przez Ks. Profesora, do multipotencjalności, jako argumentu obronnego w stosunku do zarodka ludzkiego w dyskusji na temat ektogenezy życia ludzkiego?

Piotr Lenartowicz: Muszę prosić p. Profesora o streszczenie tego argumentu.

Józef Kaluża: W dyskusji nad ektogenezą odmawia się zarodkowi ludzkiemu właściwości tworzenia czy właściwości posiadania zarodkowego rozwoju od poczęcia aż do śmierci. Trwają też próby wykazania, że w jądrze komórek postaci dojrzałej znajdują się stłumione możliwości odtwarzania całego procesu życiowego, któremu podlega dany organizm. Jeżeli stworzyłoby się odpowiednie warunki, blokada zostałaby usunięta i komórka byłaby zdolna do odtworzenia całego cyklu rozwojowego, który zwykle organizm przechodzi od momentu poczęcia. Można tu przypomnieć doświadczenia Gurdon (1966) na żabie szponiastej (*Xenopus laevis*). Niszczył on jądro w komórce rozrodczej i wszczepiał do niej jądro pobrane z nabłonka jelitowego kilanki. Po tej operacji komórka rozrodcza rozwijała się w dojrzałą, płodną żabę. Tego typu fakty są bardzo ważne z punktu widzenia ektogenezy, skłaniają bowiem niektórych do przekonania, że na zarodku można sobie robić doświadczenia – bez żadnych konsekwencji – tak długo, jak się chce. Nie będę się rozwodził o ektogenezie. Chciałem tylko prosić o wyjaśnienie, jaki jest stosunek totipotencjalności, o której był wykład, do multipotencjalności, którą określa się jako możliwość odtwarzania zakodowanego w jądrze cyklu życiowego organizmu.

Piotr Lenartowicz: Rozumiem, że ektogeneza jest to procedura pobierania od matki komórki zapłodnionej, bądź też zapładnianie tej komórki poza organizmem matki, po to, by ją hodować przez jakiś czas w próbówce, a potem ewentualnie wszczepić z powrotem.

Muszę powiedzieć, że nie widzę związku pomiędzy problemem totipotencjalności a problemem moralnej dopuszczalności procesu ektogenezy. Gdyby nie było totipotencjalności, to oczywiście nie byłoby ektogenezy. Ektogeneza jest dobitnym wyrazem faktu, że zapłodniona komórka rozrodcza zawiera pełny, aktywny potencjał rozwojowy człowieka, ten potencjał, który arystotelizm nazywał „duszą rozumną”, a który dziś nazywa się potencjałem genetycznym i utożsamia (zbyt pochopnie) z właściwościami cząsteczki DNA.

Dostrzegam jednak moralny problem ektogenezy. Uważam, że każdy człowiek powinien się rozwijać w środowisku optymalnym. Ze względu na naszą bardzo fragmentaryczną wiedzę o naturalnym środowisku macicy kobiecej, a szerzej; organizmu kobiety ciężarnej, nie mamy prawa rezygnować z jakiegokolwiek części tego środowiska. Nie mamy prawa powiedzieć: „Dajmy temu zarodkowi płyn Ringera, zobaczymy, jak się będzie w nim rozwijał, dajmy mu termos zamiast ciepła matki, jakoś to powinien przetrwać”. Stać nas na coraz bardziej nowoczesne inkubatory, ale próba ektogenezy jest, w moim przekonaniu, stosowaniem protezy w sposób karygodnie lekkomyślny. Jest to igranie z przyszłością istoty nieśmiertelnej. W tej lekkomyślności widzę niemoralność ektogenezy. Istnieją być może jeszcze inne argumenty.

Muszę przyznać, że nie spotkałem się z terminem „multipotencjalność”. Termin „totipotencjalność” oznacza nie tylko pełną zdolność odtworzenia całego cyklu życiowego organizmu, ale też zdolność realizowania tzw. adaptacji fenotypowej, czyli reper-

tuaru różnorodnych, jednostkowych fenotypów funkcjonalnych. W biologii rozwoju używa się też terminu „pluripotencjalność”, by wyrazić tę część nie zrealizowanego jeszcze potencjału rozwojowego, która zawiera się np. w zawiązku danego organu. Ten termin jest dość płynny, a pewne doświadczenia (np. Wolffa, 1895; Horstadiusa, 1935; Hadorna, 1966) dowodzą, że konkretna „pluripotencjalność” części embrionu może się zmieniać, a nawet przechodzić w „totipotencjalność”.

Aleksander Koj: Króciutka uwaga dotycząca polimorfizmu gatunku: wydaje mi się, że axolotl nie jest dobrym przykładem wpływu środowiska na metamorfozę, skoro można ją wywołać przez podawanie hormonów, np. tyroksyny. Hormon, jako czynnik endogenny, nie da się zredukować do środowiska. Polimorfizm jest najczęściej uwarunkowany genetycznie i choć może się zmanifestować pod wpływem środowiska, wynika z determinacji genetycznych.

Moja druga uwaga dotyczy owej entelechii czy duszy wegetatywnej. Mam wątpliwości, czy są to terminy, które w biologii rozwoju mogą być poddawane falsyfikacji. Jeśli rozważamy to z punktu widzenia filozofii – wszystko jest w porządku, ale gdy podejmujemy próbę doświadczalnej analizy tych zagadnień, pojawia się poważny problem, czy są to teorie poddające się doświadczeniu.

To właśnie stwarza niebezpieczeństwo, o którym mówił o. Lenartowicz: niebezpieczeństwo zaklasyfikowania witalizmu jako idealizmu. Ta etykieta może być niesłuszna. Oznacza ona jedynie fakt, że witalizm nie mieści się we współczesnym paradygmacie redukcjonistycznej teorii biomolekularnej. Dopuszczałbym więc takie rozwiązanie, ale pod warunkiem, że nie będzie ono traktowane jako rozwiązanie ostateczne.

Jeśli chodzi o kreacjonizm, to uważam, że głośna ostatnio publikacja antyewolucjonistyczna, nosząca *imprimatur* Bpa Nossola, może być wykorzystana przez przeciwników religii katolickiej, gdyż *imprimatur* to zdaje się sankcjonować pewne niepoważne poglądy, które wcale nie wyrażają oficjalnego poglądu Kościoła.

Piotr Lenartowicz: Chętnie przyjmę uwagę na temat roli hormonów w metamorfozie. Nie zamierzałem tej roli kwestionować. Miałem tylko na myśli fakt, że bodźcem pierwotnym, w warunkach naturalnych, jest środowisko. Ono uruchamia odpowiednie sygnały biochemiczne, które my w laboratorium możemy symulować za pomocą odpowiedniej iniekcji.

Czy koncepcja entelechii może podlegać falsyfikacji?

Wróćmy do doświadczenia Beissenhirtza. Świadomość pewnej rzeczywistej „tendencji do odtwarzania całości” może być, z punktu widzenia eksperymentu i terapii rzeczą, bardzo korzystną.

Gdyby Beissenhirtz, po pierwszej fazie swego doświadczenia, nie „wierzył” w szansę regeneracji, nie przyszłoby mu na myśl, aby przez amputację jednego tułowia tę szansę powiększyć. Chirurgowi może nie mieścić się w głowie, jakim cudem dochodzi do udrożnienia przewiązanego jajowodu albo jakim cudem dochodzi do udrożnienia naczynia zablokowanego zakrzepem. Ale nie powinien tej szansy lekceważyć.

Są to w moim przekonaniu przejawy „totipotencjalności”, rozumianej jako tendencja do odbudowania zintegrowanego systemu struktur. Z punktu widzenia poznawczego, od „falsyfikacji” ważniejsze jest badanie granic „wytrzymałości” owej tendencji.

Jakie minimum struktur, materiału, jakie minimum dostępu do źródeł energii wystarczy, by owa tendencja ujawniła się w pełni? Jakie parametry, jakie sekwencje zmian tych parametrów sprzyjają regeneracji tych czy innych struktur funkcjonalnych? Rzeczą istotną jest, by ze względów czysto ideologicznych, dogmatycznych, „metodologicznych” nie lekceważyć faktu wyraźnej relacji pomiędzy autonomiczną dynamiką biochemiczną a ostatecznym, funkcjonalnym stanem struktur biologicznych.

Jeśli chodzi o kreacjonizm, to by zachować intelektualne *fair play*, należy to pojęcie rozpatrywać razem z jego korelatem – redukcjonizmem przyczynowym materializmu. Nie jest *fair* sugerowanie szerokiej publiczności, że w przyrodoznawstwie potwierdza się racjonalność materialistycznej koncepcji genezy Wszechświata, genezy Życia, genezy Człowieczeństwa.

Nic takiego, jak dotąd, się nie potwierdza. W każdym bądź razie nie potwierdziła się dotąd racjonalność czysto materialnej koncepcji genezy życia lub ewolucji życia, lub genezy człowieczeństwa. Koncepcja kreacjonistyczna nie musi być wcale przyjętym z góry założeniem, ale może być świadomością luki pomiędzy oczywistą i niepokojącą treścią faktu a ograniczeniami materialistycznej odpowiedzi.

W sporze pomiędzy materializmem a kreacjonizmem obie strony powinny sięgać do rozumu i obie strony powinny się opierać na faktach. Racjonalność upada nie wtedy, gdy materializm musi się bronić, ale wtedy, gdy całkiem gołosłownie wmawia społeczeństwu, że racjonalność jest synonimem materializmu.