

Co było pierwsze?

CZESŁAW JURA

Człowiek przez długi czas, zanim rozwinęła się nauka, przypisywał ciałom niebiańskim, ziemskim, roślinom i zwierzętom nadnaturalne właściwości. Świadczą o tym zachowane wierzenia, mity i symbole. W naszej historii czczono okazałe drzewa, a gaje dębowe były pierwszymi świątyniami. Jajom powszechnie przypisywano niezwykle moce i siły twórcze. W starożytnym Egipcie i w Rzymie jaja były wkładane do grobowców z wiarą w przezwyciężenie śmierci i w zapewnienie wieczności zmarłym. W egipskim micie z kręgu hermapolitańskiej kosmologii (ok. 2000 lat p.n.e.) występuje Ptak Świętości, który zniósł Kosmiczne Jajo, a z niego powstał Świat. Jeden z greckich mitów podaje, że Kosmiczne Jajo zniósła bogini Eurynome, która wyłoniła się z Chaosu. Podobne kosmiczne jaja występują w mitach hinduskich i bałto-fińskich. Arystoteles, powszechnie uważany za ojca przyrodoznawstwa, twierdził, że procesy rozkładu materii organicznej sprzyjają samoródtwu (*generatio spontanea*). Na przykład z mułu powstały ryby i żaby, a z rozkładających się roślin gąsienice. Uważał, że samice, w tym kury, powstawały jednocześnie z nieuforzonym materiałem na przyszłe zarodki. Samice jajorodne składają go w postaci uformowanych jaj, żyworodne zachowują go w sobie. Samce dostarczają samicom płynu nasiennego zawierającego siłę twórczą (*eidos*), kształtującą nieuforzony materiał w zarodek, podobnie jak cieśla nadaje kształt belce, posługując się wyobraźnią i narzędziami.

Wiarę w mity wygasił rozwój wiedzy o świecie. Natomiast doktryna *generatio spontanea* przetrwała ponad 2000 lat. Pogrzebało ją dopiero wprowadzenie do nauki obserwacji opartych na doświadczeniu.

Ex ovo omnia

W 1651 r. angielski lekarz i anatom William Harvey opublikował dzieło *De generatione animalium* (O powstawaniu zwierząt), w którym opisał rozwój jaj w zarodki u kilku grup wielokomórkowych zwierząt. Na okładce była alegoryczna rycina przedstawiająca Zeusa trzymającego puszkę w kształcie jaja, z której wydobywały się zwierzęta zamieszkujące Ziemię. Na puszcze był napis: *Ex ovo omnia* – wszystko, co żyje, ma początek w jajku (Ryc. 1). Harvey był przeciwnikiem samoródtwa, powszechnie wówczas uznawanego. Napis na puszcze był aforyzmem, wyrażał tylko negację samoródtwa, ponieważ nie miał uzasadnienia w ówczesnej wiedzy. Nadal nie wiadomo, czy żyworodne samice produkują jaja, ponadto nie wiadomo nic o rozmnażaniu się zwierząt jednokomórkowych niewidocznych gołym okiem.

Aforyzm zrobił ogromną karierę. Jest cytowany do dzisiaj. Pobudził badania nad jajami. W 1827 r. Karl E. Baer odkrył, że żyworodne samice też produkują jaja. Ale nie wiedział, że są komórkami. Teoria komórkowa powstała w 1839 r., a ćwierć wieku później wiedziano już, że wszystkie jaja są komórkami. Ponadto aforyzm zapoczątkował nieskończoną wręcz liczbę dyskusji dotyczących dylematu, co było pierwsze: jajo czy kura? Wypowiadali się i wypowiadają amatorzy i uczeni, mniej znani, znani i sławni. Większość uczonych opowiedziała się za jajem, wśród nich tak sławni, jak kosmolog Stephen Hawking czy zoolog i filozof Richard Dawkins. Wypowiedzi nie warto poddać krytycznej ocenie, bo zawierają argumenty za lub przeciw, nie definiując, czym jest jajo, a czym kura, i jaka była ich ewolucja? Bez tego nie da się rozstrzygnąć sporu.



Ryc. 1.
Alegoryczna rycina na tytułowej karcie dzieła Harveya *De generatione animalium* (1651), nawiązująca do aforyzmu *Ex Ovo omnia*

Czy można sobie wyobrazić coś bardziej bezbronnego niż jajo?

Dojrzałe jaja są nieruchome. W środowisku zewnętrznym są bezbronne, nie mogą się chronić ucieczką przed rabusiami, a są smaczne, zawierają najbardziej biologicznie wartościowe materiały budulcowe na organizm zarodka. Witaminy, wszystkie rodzaje aminokwasów, tłuszcze będące źródłem uwolnionej wody, węglowodany są pożądanym łupem. Niektóre ryby tracą ok. 90% jaj. Na lądzie gniazdowniki naszej strefy klimatycznej tracą ponad 30%, a żyjące w strefach ciepłych, gdzie jest więcej drapieżników, ok. 60% jaj. Ewolucja wypracowała, głównie u samic, różne strategie zachowań zapewniających ochronę jaj. Najprostszą strategią jest duża ich produkcja, w tysiącach, a nawet milionach. Samica dorsz na przykład produkuje w roku ok. 6 mln jaj, z których część przeżyje. W innych strategiach samice zagrzebują jaja w mule, w ziemi, noszą je, składają do tkanek roślin lub zwierząt albo wysiadują. Najbardziej skuteczną opieką jest żyworodność.

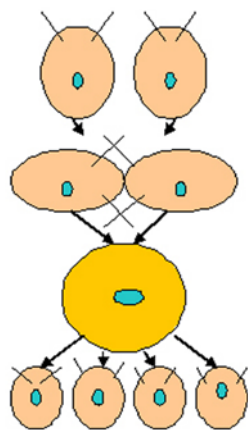


Ewolucja rozmnażania płciowego i zróżnicowania komórek zwierząt wielokomórkowych na dwa zespoły

Wszystkie zwierzęta wielokomórkowe rozmnażają się płciowo, z udziałem jaj i plemników, niektóre dzieworodnie, bez udziału plemnika. Przed omówieniem ewolucji rozmnażania trzeba choćby ogólnie zdefiniować jajo i kurę. Jajo jest komórką; jak każda komórka składa się z błony komórkowej, cytoplazmy i jądra. Kura jest samicą wielokomórkową. W skład jej organizmu wchodzi dwa zespoły komórek: ciała (*soma*), wyspecjalizowane w pełnieniu określonych funkcji związanych z jej życiem, i z komórek płciowych (*germen*) przeznaczonych wyłącznie na jaja.

Nie wiemy, jak wyglądał przodek zwierząt wielokomórkowych i jak się rozmnażał. Najbardziej bezpośrednie świadectwa ewolucji pochodzą z odkrywania i identyfikowania skamieniałości, które są śladami po dawnie żyjących organizmach. Nie ma takich śladów po przodkach wielokomórkowców. Ewolucja dokonuje wyboru cech na bazie wcześniej istniejących organizmów i ich struktur, więc można odkryć ślady przodków, analizując porównawczo budowę i sposoby rozmnażania u organizmów prostszych ewolucyjnie niż zwierzęta wielokomórkowe. Prostszymi od nich są *protisty*, mikroskopijne organizmy.

W obrębie protistów najprostszy sposób rozmnażania płciowego występuje u żyjących w wodach zawłotni (Ryc. 2). Osobniki zawłotni *Chlamydomonas reinhardtii* są jednokomórkowe, pływają za pomocą dwóch wici. Są haploidalne, mają pojedynczą liczbę chromosomów. Rozmnażają się głównie bezpłciowo przez podział na dwa osobniki, okresowo płciowo. W rozmnażaniu płciowym osobniki łączą się parami, powstaje zygota, której jądro jest diploidalne. Następnie zachodzi w zygocie podział mejotyczny i powstają cztery osobniki haploidalne. Osobniki łączące się w pary nie wykazują różnic w wyglądzie czy budowie wewnętrznej, ale nie łączą się każdy z każdym. Dobierają się w pary wybiórczo, co można sprawdzić



Ryc. 2.
Schemat rozmnażania płciowego *Chlamydomonas reinhardtii*

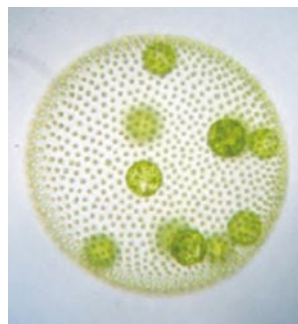
doświadczalnie, umieszczając je losowo parami w naczyniach hodowlanych. Osobniki zachowują się tak, jak każde zwierzęta w okresie godowym: poszukują partnera. U *Ch. braunii* niektóre osobniki w okresie rozmnażania płciowego dzielą się 3 razy i powstaje 8 odpowiednio mniejszych osobników z wiciami. Inne dzielą się tylko raz i powstają 2 większe osobniki, też z wiciami. Takie osobniki dobierają się też wybiórczo: większe z mniejszymi.

Trzeci poziom zróżnicowania osobników biorących udział w rozmnażaniu płciowym występuje u *Ch. coccinea*. Większa liczba osobników dzieli się 4 razy i powstaje 16 drobnych osobników potomnych z wiciami. Nieliczne nie tylko, że się nie dzielą, ale tracą wici. Czekają bezbronnie – nie mogą chronić się ucieczką przed drapieżnikami – na połączenie się z pływającymi osobnikami. U tych protistów widać różnice u partnerów, porównywal-

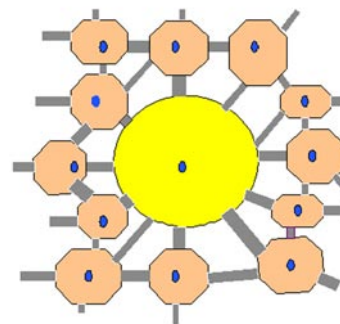
ne z rozdziałem osobników na samice i samce u wielokomórkowych zwierząt. Przypomnijmy, że samice produkują nieruchome jaja, a samce plemniki z wiciami.

U innych protistów – kolonijnych toczkowców, też żyjących w wodzie, występuje ciąg śladów ewolucyjnych, obrazujących, jak mogły powstać organizmy wielokomórkowe. Kolonia *Eudorina elegans* jest kulista, składa się z 34 lub 68 osobników połączonych gliko-proteinową wydzieliną. Wszystkie osobniki w kolonii mogą się rozmnażać. Powstałe w procesie rozmnażania osobniki potomne skupiają się w zespoły i opuszczają kolonię macierzystą. W kolonii *Pleodorina californica* występuje 64 lub 128 osobników. Osobniki u tego gatunku mogą się rozmnażać wyłącznie w tylnej półkuli kolonii. Jako przednią określa się tę półkulę, która ustawia się przodem do kierunku przemieszczania się kolonii. Osobniki tej półkuli mają większe wici i plamki oczne niż w tylnej półkuli. Rozdzielenie osobników na dwa zespoły porównać można ze zróżnicowaniem komórek u wielokomórkowców na *somę* i *germen*.

Ewolucyjnie wyższy poziom takiego zróżnicowania występuje u toczka *Volvox globator*, prawdziwego olbrzyma wśród toczkowców. Jego kolonia składa się z 50 000 osobników, połączonych szerokimi mostkami plazmatycznymi (Ryc. 3 i Ryc. 4). Występowanie mostków upodabnia go do zwierząt wielokomórkowych, u których komórki *somy* są powiązane w tkanki za pomocą połączeń międzykomórkowych. Biolodzy, biorąc pod uwagę mostki,



Ryc. 3.
Mikrofotografia toczka *Volvox globator*



Ryc. 4.
Fragment organizmu toczka: dojrzejąca komórka jajowa w otoczeniu komórek *somy*

uważają toczka za prymitywnego wielokomórkowca, a składniki jego organizmu za komórki. U toczka tylko nieliczne komórki w warstwie powierzchniowej tylnej półkuli biorą udział w rozmnażaniu płciowym. Od dwóch do pięciu komórek traci wici i przemieszcza się do wnętrza organizmu. Tam rozmnażają się przez podziały. U ich komórek potomnych odtwarzają się wici, po czym opuszczają organizm macierzysty. Pływają wolno, poszukując innego toczka i wnikają do jego wnętrza. Po uwolnieniu się tych komórek, u macierzystego toczka 1-15 kolejnych komórek traci wici i przemieszcza się do jego wnętrza. Nie dzielą się, co więcej, dorastają do nich mostki od komórek je otaczających, czyli odpowiadających *somie* (Ryc. 4). Poprzez mostki komórki *somy* dostarczają im materiałów zapasowych, co powoduje znaczne zwiększenie się ich rozmiarów. Wyrośnięte czekają, aż dotrą do nich swobodnie poruszające się komórki z wiciami.

Po ich połączeniu się w pary, podobnie jak u zawłotni, powstaje zygota; ta dzieli się w wyniku mejozy na komórki potomne, które wytwarzają mostki i nowe kolonie wydostają się z organizmu macierzystego.

Wolno pływające komórki toczka można porównać z plemnikami (poruszają za pomocą wici), a duże nieruchome – z jajami zwierząt wielokomórkowych. Ponieważ u toczka powstawanie plemników wyprzedza powstawanie jaj, jest on, praktycznie biorąc, samicą. Wśród toczków występują też gatunki rozdzielnopłciowe i obojnacze (hermafrodyty).

Na przykładzie zawłotni i toczkowców zrozumieć można, jak niegdyś w ewolucji nastąpiło przejście od organizmów jednokomórkowych, poprzez kolonie, do organizmów wielokomórkowych oraz do powstania jaj i plemników. Biolodzy molekularni badali nośniki ich informacji dziedzicznej (DNA) i wykazali ściśle podobieństwo. Na tej podstawie stwierdzono, że te dwie grupy protistów miały wspólnego przodka. Większość zoologów, biorąc to pod uwagę oraz pośrednie ślady ewolucyjnego różnicowania się komórek organizmu na somę i germen w linii zawłotnie-toczko- wce, uważa, że przodek zwierząt wielokomórkowych był podobny do toczka.

Jajo czy kura?

Czym u kury różnią się dojrzałe komórki jajowe od komórek somy? Pod względem zasadniczej budowy niczym się nie różnią. Różnią się szczegółami budowy i funkcjami wyznaczonymi im przez ewolucję oraz potencjami do życia.

Jaja są wyznaczone tylko do rozmnażania płciowego, z udziałem plemnika lub bez niego w przypadku dzieworódtwa. Ich nośnik substancji dziedzicznej ulega zmianom w trakcie mejozy oraz zapłodnienia plemnikiem i je zapisuje. Zapisane zmiany jaja przekazują z pokolenia na pokolenie. Ewolucja dokonuje wyboru, odrzuca niekorzystne zmiany, a przydatne do życia organizmu utrwała. Jaja są mikrokosmosami życia, zapewniają gatunkom ciągłość istnienia i w tym znaczeniu są potencjalnie nieśmiertelne.

Komórki somy są śmiertelne, giną wraz ze śmiercią osobnika. Nie mają zdolności do mejozy, mnożą się wyłącznie mitotycznie, jeżeli wystąpią w ich genomach przypadkowe zmiany, znikają z ich śmiercią. Tworzą banki, odnawiane w kolejnych pokoleniach. Ich funkcjami wyznaczonymi przez ewolucję są: przechowywanie pokoleń młodych komórek jajowych, dostarczanie im w trakcie dojrzewania substancji niezbędnych do rozwoju zarodków i ochrona – ciągła, jak u samic żyworodnych, a u samic jajorodnych przedłużona po złożeniu jaj, polegająca na wcześniej opisanych strategiach zachowań.

U wszystkich samic, w ostatniej fazie dojrzewania jaj, komórki somy dostarczają im materiałów koniecznych do rozwoju przyszłego zarodka, będących jego budulcem, przeznaczonych na metabolizm i na osłony jajowe. Jaja mają taką samą zasadniczą budowę, różnią się wielkościami i rodzajami osłon. Składane do wody mogą ją wchłaniać i są mniejsze niż składane na lądzie, ponadto w wodzie warunki są bardziej stabilne. Jaja składane na lądzie muszą być wyposażone w materiały związane z wodą, muszą też mieć osłony zabezpieczające je

przed wysychaniem i przez to są duże, u ptaków mogą mieć do 20 cm średnicy. Jaja samic żyworodnych mają od kilkunastu (ssaki) do kilkudziesięciu mikrometrów. Soma tych samic dostarcza jajom wszystkiego, co jest niezbędne do rozwoju zarodka.

Organizm pozbawiony germen może żyć. Przykładem są samice z operacyjnie usuniętymi jajnikami. Natomiast bez udziału somy młode komórki płciowe nie mogą się wykształcić w dojrzałe jaja. Świadczą o tym doświadczenia przeprowadzone na gąbkach, najprymitywniejszych zwierzętach wielokomórkowych. U nich młode komórki płciowe dojrzewają w jaja w mezohylu znajdującym się między zewnętrzną i wewnętrzną warstwą ciała. Gąbki cechują niezwykle zdolności do naprawy uszkodzonego organizmu. Można je pociąć na wiele kawałków i z każdego może powstać nowy osobnik. Niektóre gąbki morskie można przetrzeć przez gęste sito i uzyskać pojedyncze komórki. Hodowane oddzielnie giną. Natomiast, jeżeli się umieści w hodowli kilkanaście komórek, pochodzących z wszystkich warstw ciała, skupiają się w agregat i mogą odtworzyć nowy organizm, zdolny do rozmnażania płciowego.

Wniosek oparty na rozważaniach dotyczących zróżnicowania się w ewolucji komórek organizmu na somę i germen jest oczywisty: w przypadku zwierząt wielokomórkowych pierwsza była kura!

Jaki był przodek istot żywych?

Nie wiemy. Trwa spór. Niektórzy biolodzy molekularni twierdzą, że miał przedkomórkową organizację biologiczną, czyli nie był odgraniczony od środowiska błoną komórkową. Inni uważają, że był podobny do współczesnych archebakterii żyjących w gorących podmorskich źródłach, w warunkach ekstremalnych, podobnych do warunków w dawnych epokach geologicznych. Nie wiadomo też, jaki był jego nośnik informacji dziedzicznej: RNA czy DNA? Niezależnie od tego był mikrokosmosem życia. Więc można go porównać z jajem, ale symbolicznie – z jajem kosmicznym, początkiem wszystkiego, jakie występuje w pradawnych mitach. Przodek istot żywych nie był jajem w ścisłym znaczeniu, był osobnikiem, ponieważ sam zdobywał pokarm i reagował na bodźce.

Na zakończenie wypada pochylić głowę przed Arystotelesem. Jakkolwiek udowodniono, że spontaniczne powstawanie w pełni ukształtowanych zwierząt jest obecnie niemożliwe, to jednak taki proces zaszedł we wczesnym okresie historii Ziemi, kiedy pojawił się przodek istot żywych. Przyroda nieożywiona i ożywiona stanowią jedność opartą na wspólnych zasadach fizykochemicznych, pomiędzy nimi występuje stały przepływ materii, i życie, kiedy były odpowiednie warunki, musiało powstać spontanicznie. Pomysł powstania kury jednocześnie z materiałem na jaja też nie był całkiem bezpodstawny. Arystoteles nie miał mikroskopu, nie mógł wiedzieć, że ciało kury składa się z somy i germen, jaja są komórkami, a w nasieniu występują plemniki. Czy komórki somy nie dostarczają jajom nieuformowanego materiału? W nauce nie ma nic bardziej pobudzającego i urzekającego niż zagadnienia trudne do rozwiązania.

CZESŁAW JURA