

Życie /nie-Życie

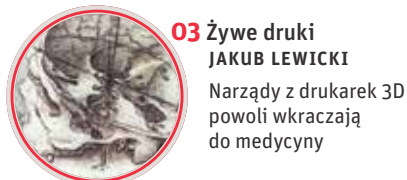
TYGODNIK
POWSZECHNY

Nr 18-19/2017

WIELKIE
PYTANIA 5



Copernicus
Center



03 Żywe druki
JAKUB LEWICKI
Narządy z drukarek 3D powoli wkraczają do medycyny



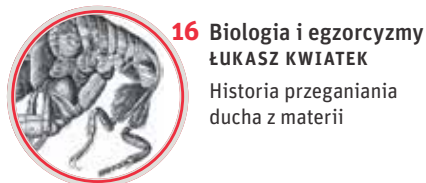
06 Coraz bardziej ożywiona kropelka
ŁUKASZ LAMŻA
Powstawanie życia krok po kroku



10 Chemiczny wypadek
ROZMOWA Z PROF. PAULEM DAVIESEM
Kosmici, prawoskrętne cukry i biosfera cienia



12 Jak zbudować życiodajną planetę
ANNA ŁOSIAK
Poradnik konstruktora



16 Biologia i egzorcyzmy
ŁUKASZ KWIATEK
Historia przeganiania ducha z materii



18 Nowe stworzenie
ANNA BARTOSIK
Celem biologii syntetycznej jest sztuczne życie



20 Co mówią zwłoki
ROZMOWA Z DR. FILIPEM BOLECHAŁĄ
Naukowcy na tropie zbrodni



25 To straszne słowo na „ś”
ŁUKASZ JACH
Różne sposoby na lęk przed śmiercią

Redakcja: Łukasz Lamża, Łukasz Kwiatek
Z dziejów ożywiania błota i lalek: Łukasz Lamża
Proj. graf.: Marek Zalejski
Fotoedycja: Grażyna Makara, Edward Augustyn
Skład: Andrzej Leśniak, Artur Strzelecki
Okładka: Marek Zalejski // NIKE159 / PIR04D // PIXABAY
Współwydawca: Fundacja Centrum Kopernika



ŁUKASZ LAMŻA

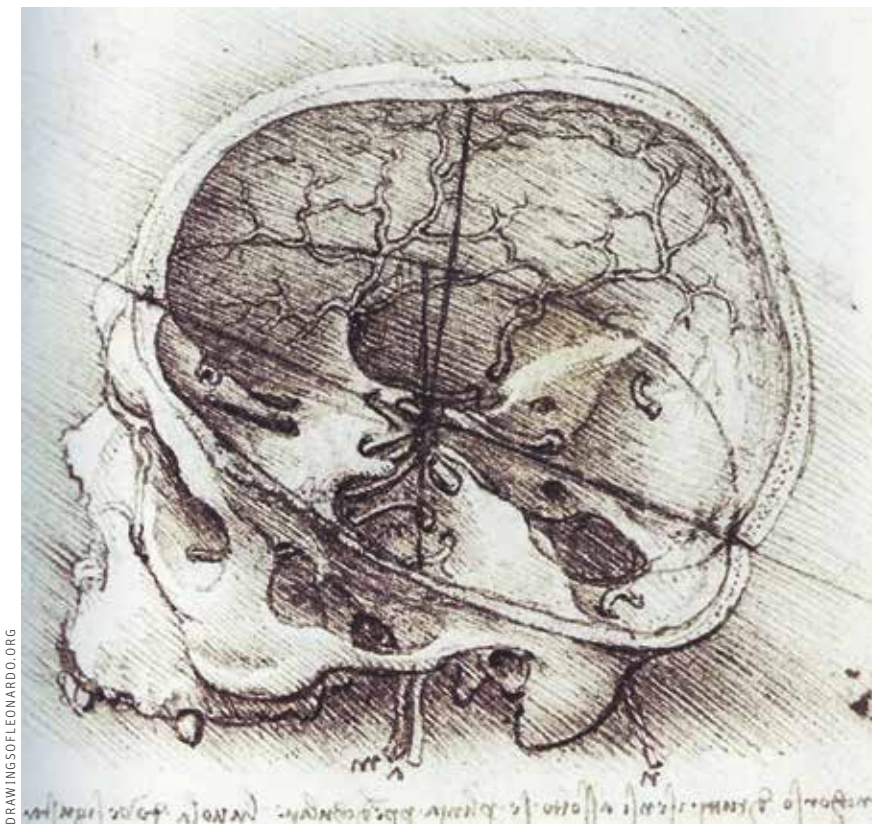
Trudno jest chyba wyobrazić sobie bardziej fundamentalną różnicę niż ta, która dzieli moje ciepłe, żywe ciało od martwego plastiku krzesła, na którym siedzę. Również nasza własna śmierć wydaje się być czymś nieskończenie odmiennym i odległym od żywego strumienia świadomości, w którym jesteśmy zanurzeni. Sama sugestia, że pomiędzy życiem i nie-życiem mogłaby istnieć ciągła paleta stanów pośrednich, może się wydać absurdalna, jeśli nie szalona.

A jednak. W kolejnym dodatku z serii „Wielkie pytania” spróbujemy zachęcić Państwa do przyjrzenia się kilku „punktom krytycznym”, w których pojęcie życia zaczyna migotać i zdradzać swoją prawdziwą, płynną naturę. Jakub Lewicki i Anna Bartosik wprowadzają nas w świat biotechnologii XXI wieku; nadeszły bowiem czasy – czy nam się to podoba, czy nie – w któ-

rych możliwe staje się fabrykowanie struktur ożywionych. Michał Eckstein i Tomasz Miller namawiają prof. Paula Daviesa na rozmowę o życiu w Kosmosie, a Anna Łosiak zachęca nas do zabawy w konstruktora planet życiodajnych. Łukasz Kwiatek opowiada o tym, jak trudno było biologom i filozofom pogodzić się z faktem, że życie ulepione jest zasadniczo z tej samej gliny, co nie-życie. Ja sam pokazuję niebotyczne trudności z opisaniem powstania choćby najprostszej komórki z materii nieożywionej. Na koniec – *nomen omen* – parę słów o śmierci. Michał Kuźmiński rozmawia z dr. Filipem Bolechałą o tajemnej mowie ludzkich zwłok, a Łukasz Jach opowiada o tym, jak my, ludzie, reagujemy na świadomość swej śmiertelności.

Mam nadzieję, że – jak zwykle – lektura tego dodatku pozostawi Państwa z kilkoma odpowiedziami oraz długą listą pytań. Nie poruszamy natomiast wcale fundamentalnego pytania o sens życia. W natłoku spraw bieżących, w żywole pracy redakcyjnej, w przyjemno-strasznym gwarze, który towarzyszył wydawaniu tego dodatku, jakoś o tym zapomnieliśmy. Cóż. *C'est la vie.*

„Wielkie Pytania – przygotowanie i publikacja cyklu dodatków popularnonaukowych do »Tygodnika Powszechnego« oraz organizacja cyklu popularnonaukowych wykładów otwartych” – zadanie realizowane przez Fundację Centrum Kopernika, finansowane w ramach umowy 625/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.



Leonardo da Vinci, przekrój przez czaszkę człowieka; ok. 1489 r.

Żywe druki

JAKUB LEWICKI

Już dzisiaj drukarki 3D sprawdzają się w medycynie, potrafią wytwarzać nawet fragmenty układu nerwowego. Choć jeszcze długa droga do tego, by w wydrukowanej tkance mogła narodzić się myśl.

Wsterylnej, szklanej kapsule precyzyjne ruchy ramienia robota zaczynają odtwarzać wszystkie tkanki i narządy młodej kobiety. Warstwa po warstwie maszyna buduje jej ciało. Po skończonej procedurze dziewczyna budzi się do życia. To scena z filmu Luca Bessona „Piąty element” z 1997 r. Jak daleko jesteśmy od tej fantastycznej wizji i czy drukowanie narządów to tylko idea z dzieł *science fiction*?

Codziennie na całym świecie rosną listy oczekujących na przeszczepienie organów. W samych Stanach Zjednoczonych co 10 minut nowa osoba dodawana jest do tej kolejki, a średnio 22 potrzebujących umrze, nie doczekując się na dawcę. Nawet jeśli do przeszczepienia już dojdzie, mogą wystąpić powikłania i organizm

może odrzucić nowy organ. Jeśli jednak wszystko się powiedzie, pacjent skazany jest na przyjmowanie do końca życia leków immunosupresyjnych, które hamują aktywność układu odpornościowego, co często odbija się na długości życia.

Jednym z pomysłów na pozbycie się długich list oczekujących na nowe organy jest wytworzenie ich w laboratorium. Naukowcy starają się pobrać odpowiednie komórki z ciała pacjenta i z ich pomocą odtworzyć narząd, lub jego część, który można by wszczepić z powrotem do ciała dawcy komórek. Jak tego dokonać?

Na pomysł hodowania żywych komórek poza ludzkim organizmem wpadł amerykański lekarz Leo Loeb w 1897 r. Od tamtych czasów technologia ta przeszła długą drogę. Hodowanie ludzkich komórek w laboratorium stało się jednym z podstawo-

wych narzędzi w badaniach nad naszym organizmem. Dzięki niemu możemy poznać lepiej nasze ciało, jego choroby, a także wykorzystywać hodowane komórki w celach terapeutycznych. Wciąż jednak pozostaje wiele do osiągnięcia w tej dziedzinie.

Standardowa hodowla komórek w laboratorium polega na pobraniu materiału biologicznego od pacjenta, a następnie umieszczeniu wyizolowanych komórek (np. skóry) na płaskiej, plastikowej powierzchni specjalnego naczynia hodowlanego, które wypełnione jest odżywczym płynem. Naczynie to umieszcza się w inkubatorze, który utrzymuje odpowiednią temperaturę i atmosferę. Po pewnym czasie komórki przyczepią się do plastiku i uformują cienką, dwuwymiarową warstwę. Ten ogólny zarys hodowli komórek w laboratorium nie zmienił się od ponad 50 lat. Z jednej strony system ten umożliwił nam wiele odkryć, z drugiej zaś – jest nazbyt uproszczony i przestaje wystarczać, by osiągnąć kolejne naukowe cele.

Trzeci wymiar

W żywych tkankach i narządach istotną rolę odgrywa aspekt przestrzenny. Każdy organ jest zbudowany w ściśle określony sposób i jego architektura ma tu ogromne znaczenie. Rodzaj komórek, które go budują, ich położenie w przestrzeni, rodzaj materiału, który tworzy wspierające rusztowanie – to kwestie, w obliczu których standardowa dwuwymiarowa hodowla komórkowa przestaje być wystarczająca.

Powstało wiele technik, które mogłyby pomóc w odtworzeniu trójwymiarowych tkanek – większość z nich jednak jest bardzo skomplikowana lub ma ograniczone możliwości. Inspiracją do rozwiązania wielu z tych problemów przyszła z technologii szybkiego prototypowania wykorzystywanego w przemyśle.

W 1986 r. Charles Hull opatentował proces stereolitografii, który umożliwił drukowanie obiektów przestrzennych. Pomysł Hulla opierał się na wykorzystaniu specjalnego światłoczułego płynu, który twardnieje podczas kontaktu z wiązką lasera o odpowiedniej mocy. Laser warstwa po warstwie obrysowuje kształt drukowanego obiektu, przybierającego w ten sposób trójwymiarową formę. Dało to początek nowej gałęzi technologii, która ponad 500 lat po śmierci Gutenberga wprowadziła nowy wymiar do druku.

Początkowo zarezerwowane dla dużych firm, drukarki 3D trafiły w końcu pod strzechy. Stało się to głównie za sprawą

→ projektu RepRap, który w 2008 r. zaowocował stworzeniem pierwszego urządzenia będącego w stanie wyprodukować większość swoich własnych części – a możliwość samoreplikacji drastycznie obniżyła ceny. Dzisiejsze drukarki potrafią drukować między innymi przy użyciu metalu, plastiku, żywicy, betonu czy czekolady. Możemy wydrukować części silników samolotów, całe domy, spersonalizowane obuwie czy wymyślne desery o niespotykanych kształtach.

Drukarki w szpitalach

Nowa technologia zdobyła też zainteresowanie naukowców i lekarzy. Druk 3D udało się zastosować bezpośrednio w medycynie w tworzeniu protez czy modeli anatomicznych.

Naukowcy z Uniwersytetu w Toronto przy współpracy z firmą Autodesk wydrukowali części protez nóg dla potrzebujących w Ugandzie. Ta sama technologia umożliwiła wydrukowanie implantów kości czaszki, kręgosłupa i wielu innych.

Standardowe materiały, takie jak plastik czy metal, nie były jednak odpowiednie do zastosowań w inżynierii tkankowej – zaistniała potrzeba maszyn, które mogłyby drukować materiałami przyjaznymi dla komórek, a także samymi żywymi komórkami. W 2002 r. naukowcy z uniwersytetów w Pizie i San Diego wspólnie stworzyli biodrukarke 3D. Zamiast drukować przy użyciu plastikowego wkładu, wyposażona ona była w strzykawkę, w której można umieścić dowolny biomateriał, a następnie wycisnąć przez cienką głowicę w kontrolowany sposób we wszystkich trzech wymiarach.

Sam biomateriał znajdujący się w strzykawce, zwany też biotuszem, może przybierać różną formę. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele biotuszy pochodzenia syntetycznego i naturalnego, różniących się właściwościami biologicznymi i mechanicznymi. Taki materiał, będący materiałem nieożywioną stanowiącą rusztowanie, można mieszać z żywymi komórkami pobranymi od pacjenta, a następnie drukować uproszczone modele tkanek wykazujące normalne funkcje biologiczne.

Ta początkowo niszowa technologia pozwoli zaczęła przerażać się w komercyjny produkt. Prawdziwy przełom na rynku nastąpił, gdy start-up ze Stanów Zjednoczonych – BioBots – zaprezentował światu swój pierwszy produkt: biodrukarke 3D za zaledwie kilka tysięcy dolarów. Dało to



IMBA / MADELINE A. LANCASTER

Organoid mózgowy – niewielka struktura utworzona z tkanki neuronalnej, wytworzona w warunkach laboratoryjnych. Tego typu organoidy samodzielnie organizują się w strukturę przypominającą korę mózgową, a nawet wykazują spontaniczną aktywność elektryczną.

szeregiem do tej przełomowej technologii licznym laboratoriom na całym świecie. Drukowanie żywych tkanek przestało być jedynie wizją z filmów *science fiction*.

Aktualnie technologia ta jest rozwijana i wykorzystywana przez wiele grup badawczych. Standardowe, dwuwymiarowe hodowle komórek mogą być zastępowane bardziej wyszukanyymi i bliższymi rzeczywistości trójwymiarowymi odpowiednikami. Otwiera to drzwi do wielu zastosowań. Pierwszym z nich jest tworzenie miniatury modeli organów i tkanek, które mogą być wykorzystane w celach badawczych.

Kosmiczna technologia

Wybitny fizyk, noblista, Richard Feynman, powiedział kiedyś, że nie może zrozumieć tego, czego nie potrafi zbudować. Zbudowanie uproszczonych organów w laboratorium z wykorzystaniem druku przestrzennego pozwoli nam poznać je dużo lepiej i wykorzystywać w wielu badaniach. Komórki pobrane od pacjentów użyte do druku dadzą nam dostęp do modeli ludzkich tkanek, które potencjalnie będą odzwierciedlały rzeczywistość lepiej niż modele oparte na szczurach czy myszach. Co więcej, jeśli komórki zostaną pobrane od chorego pacjenta, możliwe stanie się wydrukowanie tkanki symulującej daną chorobę, a to znacznie ułatwi poszukiwanie odpowiednich leków. Firma Organovo, odpowiedzialna za pierwszą komercyjną biodrukarke 3D, aktualnie oferuje w swoim portfolio miniatury modele tkanek wątroby i nerek, które mogą być wykorzystane właśnie w tym celu. Może to nie tylko przyspieszyć badania kliniczne, ale także zmniejszyć w tym procesie użycie zwierząt laboratoryjnych.

Drukowanie całych organów w celu przeszczepienia to kolejne potencjalne zastosowanie tej technologii. Korzystając z technik obrazowania, takich jak rezonans magnetyczny, można zeskanować narządy wewnętrzne pacjenta i stworzyć komputerowy model 3D danego organu, który będzie idealnie dopasowany do potrzeb biocyta. Wykorzystanie własnych komórek pacjenta do wydruku takiej „części zamiennej” pozwoli także uniknąć problemów z ewentualnym odrzuceniem przeszczepu – organizm rozpozna przeszczep jako własny materiał biologiczny. Perspektywa wydruku organów na żądanie jest jeszcze odległa, ale niektóre laboratoria prowadzą intensywne badania w tym właśnie kierunku. Jesteśmy bliżej takich rozwiązań w przypadku niektórych mniej skomplikowanych tkanek czy organów. Technicznie najłatwiejsze jest stworzenie płaskich struktur, takich jak skóra. Dalej w kolejce są naczynia krwionośne, narządy puste w środku, takie jak pęcherz moczowy, a na końcu najbardziej złożone organy – takie jak serce, wątroba czy mózg. Naukowcy z Wake Forest University z powodzeniem testowali już druk skóry, która została wykorzystana eksperymentalnie na myszach w celu leczenia ran. W ramach testów laboratoryjnych wszczepiono także wydrukowane naczynia krwionośne małpom.

Pomysł drukowania organów może się przydać nie tylko na Ziemi. Agencja kosmiczna NASA zainteresowała się tą metodą, ponieważ mogłaby ona pomóc astronautom podczas długich lotów międzyplanetarnych. Bez dostępu do szpitala i dawców narządów załoga statku kosmicznego w obliczu poważnego uszkodzenia na zdrowiu mogłaby otrzymać pliki modelu 3D potrzebnego organu, a następnie wydrukować go bezpośrednio na pokładzie.

Badaczom z Uniwersytetu Princeton udało się wydrukować ucho złożone z żywych komórek tkanki chrzęstnej połączonych z anteną zdolną odbierać sygnały fal radiowych.

Trwają testy specjalnej biodrukarke, która może działać na statku kosmicznym, w warunkach mikrogravitacji.

Nawet mózgi

Tkanki i narządy stworzone przy pomocy druku 3D nie będą zatem jedynie sztucznym, geometrycznym modelem ich naturalnych odpowiedników. Fuzja technologii inżynierijnej i nieożywionych materiałów pomocniczych z żywymi komórkami w rezultacie zaowocuje materialem w pełni ożywioną, która jest w stanie przeprowadzać procesy biologiczne dokładnie takie same jak te, które zachodzą w naszym organizmie. Ważnym aspektem materii ożywionej jest także organizacja podstawowych cząstek w struktury wyższego rzędu. Na poziomie molekularnym ten proces sprawia, że atomy składają się w nieożywione cząsteczki białek czy DNA, zapewniając strukturę, nośnik informacji i biologiczną maszynę, by mogła powstać działająca komórka. Druk 3D może zapewnić wyższy rząd organizacji już ożywionych komórek w struktury, w których komórki te będą mogły się ze sobą komunikować i wykonywać zadania, do których zostały biologicznie zaprogramowane.

Jeśli zatem miniaturowa wątroba czy nerka jest w stanie naśladować nasze własne organy w sztucznych warunkach laboratoryjnych, co z naszym najbardziej skomplikowanym narządem, czyli mózgiem? Kilka grup badawczych jest zainteresowanych stworzeniem drukowanego w trzech wymiarach modelu tkanki nerwowej. Poziom skomplikowania struktury mózgu, mnogość rodzajów komórek go budujących i trudności z ich hodowlą znacznie utrudniają ten proces. Jednak pojawiają się już pierwsze donie-

sienia o wydrukowaniu przestrzennych, uproszczonych modeli tkanki nerwowej z użyciem komórek myszy. Komórki te w odpowiednich warunkach mogą generować impulsy elektryczne, dzięki którym komunikują się między sobą i przesyłają informacje. Stąd jeszcze długa droga, by w sztucznej tkance zrodziła się myśl, która na poziomie biologicznym jest kombinacją impulsów elektrochemicznych, ale te uproszczone funkcje fizjologiczne mogą nas wiele nauczyć o tym, jak funkcjonuje nasz mózg i jak go uleczyć, kiedy coś pójdzie nie tak.

Podobne struktury mogą zostać w przyszłości wykorzystane, by zaprzęgnąć moc obliczeniową naszych neuronów do pracy w biologicznych komputerach. Powstała firma, która chce wykorzystać komórki nerwowe w połączeniu z elektronicznymi chipami. W tym wypadku fuzja materii nieożywionej z żywymi strukturami biologicznymi może nam przynieść superkomputery o niespotykanej dotąd wydajności i być może początki faktycznej sztucznej inteligencji. Zapewne czekają nas rozważania i dyskusje, czy neuronowo-krzemowe chipy są bardziej żywe niż standardowa elektronika – i co z tego wynika chociażby dla prawa.

Potencjalne zastosowania druku organów nie kończą się zatem tylko na medycynie regeneracyjnej. Jeśli w przyszłości będziemy mogli odtworzyć dany organ, będziemy o krok od jego ulepszenia właśnie poprzez połączenie biologii z technologią i elektroniką. Bioniczne narządy mogą prześcignąć swoją funkcjonalnością te wykształcone przez miliony lat ewolucji. Pierwsze kroki w tym kierunku poczynione na Uniwersytecie Princeton zaowocowały wydrukowanym uchem złożonym z żywych komórek tkanki chrzęstnej połączonych z anteną, która jest w stanie odbierać sygnały fal radiowych.

Przed nami jeszcze wiele wyzwań, zanim pierwszy pacjent otrzyma biologiczną, wydrukowaną część zamienną. Musimy pokonać ograniczenia technologii i biologii samej w sobie, ale należy pamiętać, że zaledwie kilkanaście lat temu nie dysponowaliśmy żadnym sprzętem tego typu, więc kto wie, co wkrótce stworzymy przez prostą komendę: „Plik, drukuj”. ©

JAKUB LEWICKI

Autor jest doktorantem na Wydziale Neurobiologii w Karolinska Institutet w Sztokholmie, zajmuje się trójwymiarowym biodrukiem układu nerwowego. Finalista FameLab 2016, członek programu „Rzecznicy nauki” organizowanego przez Centrum Nauki Kopernik.



Z dziejów ożywiania błota ODC. 1

Oto prawdziwe *science fiction*! Cairns-Smith pokpiwa sobie z biologów i chemików próbujących odtworzyć historię życia na Ziemi na podstawie obserwacji współczesnych organizmów. „O ile można sobie wyobrazić, że topór przekształcił się we włócznię, ta zaś w strzałę i łuk, to rakietą międzykontynentalna ma zupełnie inną historię, wyłaniając się raczej z handlu biżuterią, odkrycia złota i metalurgii”. Krótka mówiąc, nie powinniśmy myśleć o białkach, tłuszczach, kwasach nukleinowych czy cukrach, gdy chcemy zrekonstruować pierwsze formy życia. Równie dobrze można by przypuszczać, że mezopotamskie liczydła zbudowane były z prościutkich tranzystorów. „Modelem takiego procesu jest lina: może ona składać się z różnego rodzaju włókien, tak że z jednego końca jest konopna, a z drugiego nylonowa, przy czym nigdzie nie występuje ostra granica między jednym materiałem a drugim”. Odpowiedź Cairns-Smitha: „krystaliczne, nieorganiczne minerały o rozmiarach koloidalnych”. Książka prowadzi nas krok po kroku przez dzieje naszych najwcześniejszych przodków: mikroskopijnych grudek gliny. ©

• A.G. Cairns-Smith „Genetic takeover”, Cambridge University Press, 1982

Coraz bardziej ożywiona kropelka

Wyobrazić sobie powstanie życia z materii nieożywionej – to zadanie niełatwe, które nie udało się jeszcze nikomu. Nawet najprostsze organizmy żywe są dziś cudownie finezyjnymi istotkami, których nie da się łatwo rozłożyć na części pierwsze albo stopniowo upraszczać, uzyskując coraz to prostsze, „prawie żywe” obiekty. Spróbujmy może wydzielić trzy główne aspekty świata biologicznego – strukturę, energię i informację – i przyjrzeć się przez ich pryzmat problemowi abiogenezy, czyli wyłonienia się życia z nie-życia. Może coś nam się z tego ulepi?

ŁUKASZ LAMŻA

STRUKTURA

Podstawową jednostką strukturalną życia jest komórka. Nie do końca wiadomo, dlaczego, ale tak właśnie jest – nie ma życia bez komórek. Komórka to w istocie tylko mały bąbelek tłuszczu, a jednak jest to też twierdza, której wewnątrz jest zazdrośnie chronione przed zagrożeniami z zewnątrz. Wnętrze jest moje, swojskie, bezpieczne. Zewnątrz jest cudze, obce, groźne.

ENERGIA

Życie opiera się na nieustannym opędzaniu się przed chaosem, rozpadem i śmiercią. Nadszarpnięta błona komórkowa musi zostać naprawiona i wygładzona (zob.: STRUKTURA); trzeba wiecznie zasklepić jakąś ranę, napalić w piecu i wyrzucić śmieci. Wydatkujemy niewiarygodną ilość energii tylko po to, aby nic się nie działo. Ciało dorosłego człowieka, który nic nie robi, spala ok. 60 kalorii co godzinę. Czym? Cóż, jesteśmy małymi piecykami, których ostawione 36,6 stopni Celsjusza

INFORMACJA

Informację zdefiniować równie trudno, co energię. Wiemy natomiast, po czym poznać ich obecność lub brak. Układ pozbawiony energii jest pasywny, martwy, poddaje się środowisku. Układ posiadający energię jest aktywny, żywy, sam to środowisko formuje. Po czym poznać „obecność informacji”? Cóż, brak informacji to szum, chaos, nieporządek. Przypadek. Informacja wprowadza do układu porządek, powtarzalność, kierunkowość. Wprowadza, tfu, cel.

Z chemicznego punktu widzenia (zob.: ENERGIA) zamknięcie pewnej ilości wody w tłuszczowej błonie służy przede wszystkim utrzymaniu w niej wysokich stężeń związków, pozwalających na przeprowadzenie kluczowych dla życia reakcji chemicznych. Gdyby nie istniała granica wydzielająca miejsce zachodzenia reakcji od środowiska (błona komórkowa), byłby poważny problem ze zgromadzeniem w jednym miejscu

związków chemicznych potrzebnych do przeprowadzenia wielkiej alchemii życia, a po wykonaniu każdego kroku chemicznego produkty natychmiast rozpełzałyby się po świecie. Z genetycznego punktu widzenia (zob.: INFORMACJA) komórka wyznacza elementarną oś „ja–inni”. Gdyby każda cząsteczka DNA należała do życia jako całości, nie wystąpiłoby to wspaniałe, okrutne zjawisko zwane konkurencją, opierające

się utrzyma samo. Materia nieożywiona tym się różni od ożywionej, że ta pierwsza nie domaga się ciągłego dostarczenia energii dla swojego istnienia. Aby zrozumieć tę cechę życia, wystarczy posadzić w jednym pokoju pracownika muzeum i ogrodu zoologicznego, po czym zapytać, w jaki sposób dbają oni o swoje eksponaty. Krótko mówiąc, kluczową cechą życia jest metabolizm: napędzający się cykl niszczenia środowiska i tworzenia siebie; rozkładania tego, co zastane, i łączenia jego części składowych na swój obraz i podobieństwo

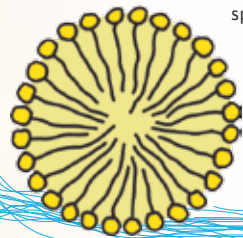
Świat ożywiony tętni od energii (zob.: ENERGIA) i obfituje w struktury (zob.: STRUKTURA), ale trzeba naprawdę się nagimnastykować, aby odnaleźć w nim informację. Informacja – jakkolwiek mętnie zdefiniowana i będąca raczej intuicją niż ostrym jak brzytwa pojęciem – wydaje się wiązać z takimi pojęciami jak kod i sygnał; wydaje się domagać istnienia nadawcy i odbiorcy: czegoś/kogoś, co/kto sygnał nadaje, i czegoś/kogoś, co/kto go odbiera i zostaje w ten sposób in-formowany. In-formacja polegałaby więc na nadaniu czemuś formy – sprawiałaby, że coś staje się właśnie takie,

(zob.: INFORMACJA); katabolizmu i anabolizmu. W przyrodzie nieożywionej energii nie brakuje; cały Wszechświat wręcz rozpierają gigawaty i terawaty energii. Jest to jednak raczej energia gejeru niż rzeki; raczej żrebaka niż konia pociągowego. Powstanie życia musiało się wiązać z ujarzmieniem energii. Jest takie pojęcie w termodynamice: energia użyteczna. O, to, to!

a nie inne. To zresztą „robi” informacja genetyczna. Bardzo trudno jest wyobrazić sobie początki informacji. W komórkach żywych nawet najprostsze komunikaty są tak złożone, że nie sposób wyobrazić sobie ich wyłonienia się z czegoś, co w ogóle nie jest komunikatem. Zdanie „KUP CHLEB” nie mogłoby wyewoluować metodą drobnych modyfikacji z litery „K”. Istota i pochodzenie informacji to jedna z największych zagadek biologii.

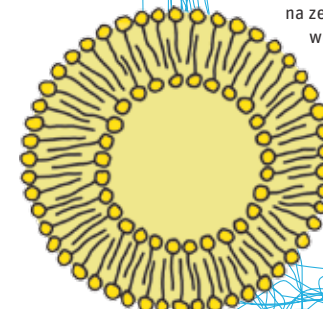
1. NAJMNIEJSZA KROPELKA

Komórkę żywą opisaliśmy przed chwilą jako kropelkę tłuszczu. Cóż jest tak szczególnego w tłuszczach? Są to związki chemiczne składające się z dwóch podstawowych elementów strukturalnych, które można określić jako „główkę” i „ogon” (lub ogony). Co istotne, główka jest nieodmiennie hydrofilowa, czyli „wodolubna”, dążąca do kontaktu z cząsteczkami wody, zaś ogonki są hydrofobowe, czyli „wodorodolubne”, wolące unikać wody i otaczać się innymi cząsteczkami hydrofobowymi. Wpuszczone do wody cząsteczki tłuszczu będą więc spontanicznie organizować się przestrzennie tak, aby jak najwięcej główek i ogonków było „zadowolonych”. Najprostszym przepisem na to jest micela – kuleczka zbudowana z wielu cząsteczek tłuszczu z ich „ogonkami” skierowanymi do środka, a „główkami” – na zewnątrz.



2. KROPELKA Z WNĘTRZEM

Micela to dopiero początek. Wyobraźmy sobie nieco inną konfigurację cząsteczek tłuszczu, która wychodzi naprzeciw hydrofobowości ogonków i hydrofilowej naturze główek: kuleczkę składającą się z dwóch warstw cząsteczek zetkniętych ze sobą ogonkami. Główki warstwy zewnętrznej „wystają” na zewnątrz, podczas gdy główki warstwy wewnętrznej „celują” do środka. Oto liposom. Jest to rewolucyjny projekt, ponieważ teraz udało się uzyskać wnętrze – oto fragment pierwotnego oceanu zostaje od niego oddzielony. Liposom to pierwszy wielki krok na drodze do komórki żywej. Wszystkie współcześnie żyjące organizmy składają się z komórek mających w zasadzie postać liposomu.

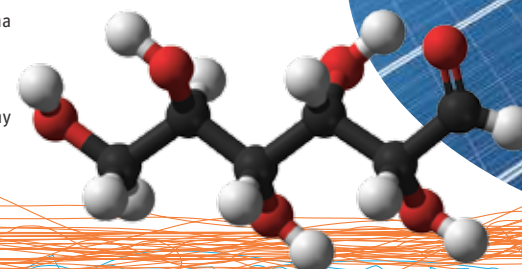


3. CHEMIA ALBO SŁOŃCE

Istnieją dwa główne źródła energii dla organizmów: słoneczna i chemiczna. Stąd – fototrofia i chemotrofia. Rośliny są fototrofami – posiadają w swoich komórkach barwniki fotosyntetyczne, np. chlorofil, czyli miniaturowe płaskie antenki łapiące fotony światła słonecznego i przekazujące ich energię dalej. Ostatecznie jest ona „wlewana” w wiązania chemiczne, np. glukozy, która zostaje utworzona poprzez pracowite zlepianie cząsteczek dwutlenku węgla (CO₂, zobacz obok strukturę). My sami jesteśmy chemotrofami i korzystamy z energii tychże samych wiązań:

po zjedzeniu glukozy zostaje ona rozłożona na 6 cząsteczek CO₂, który wydychamy.

Pierwsze formy życia były najprawdopodobniej chemotroficzne – „wynalezienie” aparatu do fotosyntezy było sporą innowacją. Tak czy inaczej nie sposób wyobrazić sobie organizmu żywego, który w jakiś sposób nie „podkrada” energii z otoczenia.

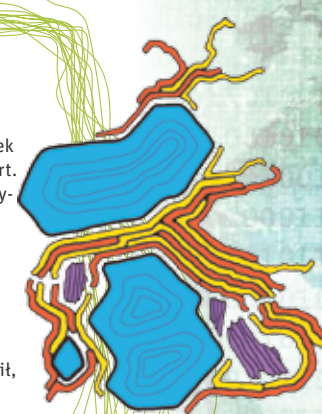


4. ŻYCIE MINERALNE



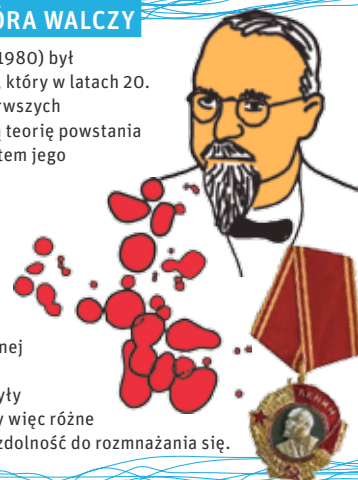
Alexander Graham Cairns-Smith (1931–2016) był szkockim chemikiem organicznym, który postanowił „wymyślić” życie zbudowane nie ze związków organicznych, tylko minerałów. Jego wielką miłośniczką były minerały ilaste, zbudowane w skali atomowej z ułożonych luźno, jedna na drugiej, cienkich blaszek składających się z atomów krzemu i tlenu – trochę jak talia kart. Blaszkę te chętnie łączą się z różnymi związkami chemicznymi, dzięki czemu każda blaszka może być odrobinę inna.

Cairns-Smith zauważył, że gdy kolejne blaszki minerału ilastego są w jakiś sposób uporządkowane – wyobraźmy sobie talię kart, w której naprzemiennie ułożone są kolory „czarne” (piki i trefle) oraz „czerwone” (kiery i karo) – to owo uporządkowanie przestrzenne zostanie „skopiowane”, gdy płatek takiego minerału pęknie (przedzieramy talię na pół). Jest to sytuacja do pewnego stopnia przypominająca sekwencję DNA oraz jej kopiowanie. Cairns-Smith twierdził, że pierwszymi formami życia były właśnie mikroskopijne grudki minerałów, zaś stosiki minerałów ilastych stanowiły w nich odpowiednik DNA.



5. KROPELKA, KTÓRA WALCZY

Aleksandr Oparin (1894–1980) był sowieckim biochemikiem, który w latach 20. XX wieku jako jeden z pierwszych przedstawił kompleksową teorię powstania życia. Kluczowym elementem jego teorii były koacerwaty – małe kuleczki zbudowane z różnych związków organicznych, utrzymywane w całości przez siły hydrofobowe. Miały one powstawać spontanicznie w „pierwotnej zupie” na młodej Ziemi. Koacerwaty zbudowane były z różnych związków, miały więc różne tempo wzrostu, rozmiar i zdolność do rozmnażania się.



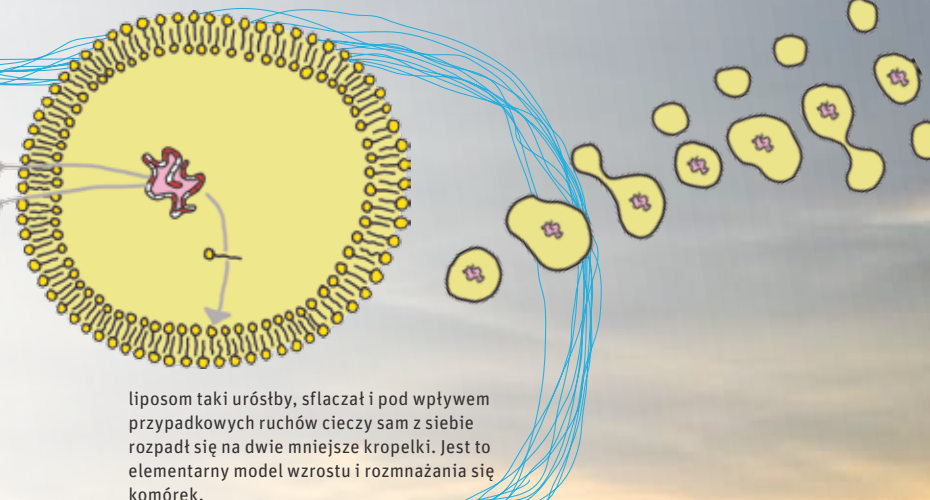
Tego typu dynamika miałyby doprowadzić do zajścia ewolucji. Zdaniem Oparina w „ciepłym bajorku” z czasem dominowałyby coraz to bardziej żwawe i drapieżne koacerwaty, zdolne ostatecznie na przykład do zjadania sąsiadów.

Równoległe do Oparina nad koacerwatami pracował John B.S. Haldane, brytyjski biolog. Haldane otrzymał Medal Darwina; Oparin – Order Lenina.

6. KROPELKA, KTÓRA ROŚNIE

Aby poznać jeden z sekretów życia, wystarczy pochylić się nad talerzem rosółu (poniżej) i przez chwilę przeganiać tyżką oka. Małe oka są jędrne: po zamieszaniu zupy tyżką przemieszczają się grzecznie, ale raczej nie rozpadną. Duże oka to już raczej ameboidalne tłuszczowe kałuże – wystarczy delikatnie zamieszać rosół, a rozleją się na boki i rozpadną. Oto napięcie powierzchniowe w działaniu.

Wyobraźmy sobie kropelkę tłuszczu, która „zasysa” z otoczenia elementy składowe cząsteczek tłuszczu (np. kwasy tłuszczowe), a następnie łączy je ze sobą, tworząc składniki swej własnej błony. Na ilustracji obok przedstawiona została taka właśnie hipotetyczna kropelka, pośrodku której znajduje się pojedyncza cząsteczka białka zdolnego do przeprowadzania odpowiedniej reakcji chemicznej. Po pewnym czasie

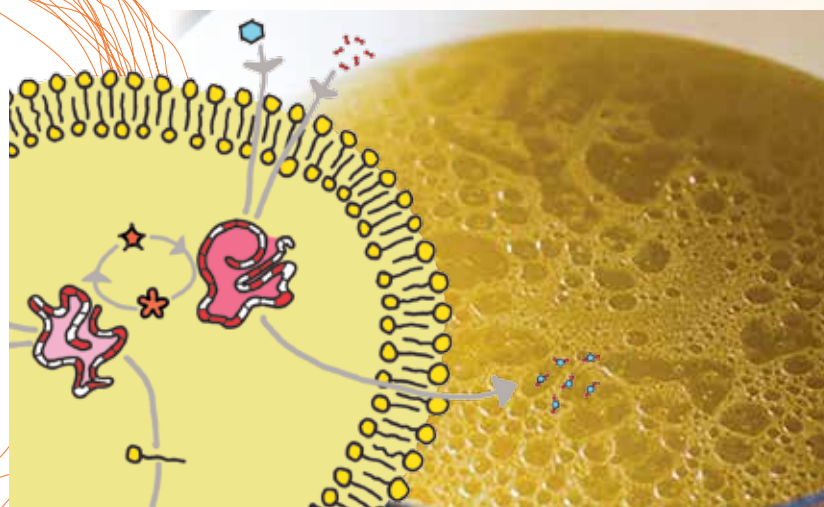


liposom taki urósłby, sflaczał i pod wpływem przypadkowych ruchów cieczy sam z siebie rozpadł się na dwie mniejsze kropelki. Jest to elementarny model wzrostu i rozmnażania się komórek.

7. POCHWYCIĆ ENERGIĘ

Energia lubi uciekać, rozmiękać się na drobne. Kawa stygnie, laptop się wyładowuje, a zapal do pracy rozwiewa się w bezmyślne klikanie. Energia w postaci rozproszonej to zaś po prostu ciepło. Wspomniana wcześniej hipotetyczna „kradnąca energię” kropelka tłuszczu to więc tylko mikroskopijny grzejniczek. Prawdziwy metabolizm zaczyna się wtedy, kiedy ów import energii zostanie choćby częściowo sprzęgnięty z jakąkolwiek „użyteczną” reakcją chemiczną.

Wróćmy do naszej kuleczki, która buduje własną błonę komórkową. W rzeczywistości, aby z „ogonka” i „główki” utworzyć cząsteczkę tłuszczu, potrzebna jest energia. Wyobraźmy więc sobie, że tuż obok białka przeprowadzającego tę reakcję znajduje się inne – które rozbija cząsteczki glukozy i „kasuje” zgromadzoną w ich wiązaniach energię. Bingo! Przekaz energii dokonuje się za pośrednictwem „waluty” – cząsteczki-pośrednika, reprezentowanej tu przez pięcioramienną gwiazdkę, występującą w dwóch stanach: „naładowany” (gwiazdka gruba) i „pusty” (gwiazdka chuda).



8. CHEMICZNA SIĘĆ ŻYCIA



Tibor Gánti (1933–2009) był węgierskim biochemikiem, którego życiową obsesją było wymyślenie „minimalnego organizmu żywego” – minimalnego zbioru reakcji chemicznych, które „zazębiają się” ze sobą (pewna ilość związków wchodzi z zewnątrz, potem produkty jednej reakcji są zawsze substratami kolejnej, aż ostatecznie pewne związki są usuwane z układu) oraz „mają sens” ze względu energetycznego

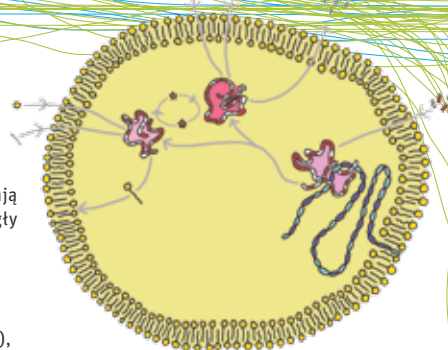
(tj. reakcje dostarczające energii przeważają nad reakcjami pochłaniającymi energię).

Jego ukochanym dzieckiem był chemoton (Gánti opisał go w książce „Podstawy życia”) – hipotetyczny obiekt chemiczno-obliczeniowy spełniający te właśnie kryteria. Do dzisiaj nie wiadomo, czy pierwsze życie na Ziemi mogło być podobne do chemotonu.

9. NARODZINY WZORCA

W „standardowych” komórkach niemal wszystko robią białka: przeprowadzają reakcje chemiczne, budują rozmaite włókienka wzmacniające komórkę, rozplatają i splatają DNA... i tak dalej. Aby jednak mogły to robić, muszą mieć odpowiedni kształt – białka działają bowiem, popychając, przesuując i zahaczając. Gdy więc konstruowaliśmy naszą „protokomórkę” z elementarnym metabolizmem (patrz obok), cicho – i niezbyt realistycznie – zatożyliśmy, że odpowiednie białka po prostu są na miejscu. W rzeczywistości kształt białek jest zakodowany w DNA.

Dodajmy więc do naszej kuleczki krótką nitkę DNA (po prawej na dole), która zawiera „przepis” na wszystkie białka potrzebne



naszej rosnącej protokomórce do życia. Dodajmy, że teraz do dwóch białek odpowiedzialnych za nasz „minimalny” metabolizm dołączyło jeszcze jedno, przeprowadzające odczyt genów i konstruujące białka z aminokwasów (białe i czerwone paseczki wpływające do komórki z prawej strony).

10. DROGA NA SKRÓTY?

Z życiem jest pewien fundamentalny problem – nie ma białek bez DNA (bo białka powstają na podstawie przepisu genetycznego), nie ma DNA bez białek (ponieważ białka „opiekują się” DNA i przeprowadzają proces odczytu zawartej w nim informacji). To trochę jak problem jajka i kury.



Brytyjski biochemik Leslie Orgel (1927–2007) postanowił rozwikłać tę zagadkę, skupiając się na RNA – niepozornym chemicznym bliźniaku DNA pośredniczącym w procesie odczytu informacji genetycznej. Krótkie nicielki RNA, zwane mRNA, to „odpisy” genów, na podstawie których powstają białka – RNA może więc stanowić substytut DNA.



To jednak nie koniec: istnieją bowiem cząsteczki RNA mogące pełnić funkcje enzymatyczne (czyli asystować przy przeprowadzaniu reakcji chemicznych), a więc zastępować białka. Stąd hipoteza świata RNA, jedna z najpopularniejszych dziś teorii na temat tego, jak mogło wyglądać bardzo wczesne życie.

11. ŻYCIE MINERALNE

NA KONIEC krótka uwaga otrzeźwiająca. Wszelkie wspomniane tu „minimalne formy życia” są – trzeba to jasno powiedzieć – śmiesznie proste w porównaniu z nawet najprostszymi formami życia. Nie wliczamy tu wirusów, czyli małych pakietików z informacją genetyczną. Nie są one organizmami, ale raczej podstępny sygnalami, które potrafią zmuszać komórki do tworzenia swoich własnych kopii.

Najprostsze organizmy mają ok. 300-400 genów. Większość to tzw. *housekeeping genes*, czyli geny „utrzymania domu” – minimalny, jak się wydaje, zestaw pozwalający na wytworzenie „od zera” wszystkich swoich składników, zdobycie i obróbkę pożywienia, obronę przed zagrożeniami, rozmnożenie się itd. Wszelkie próby tworzenia organizmów o znacząco mniejszej liczbie genów kończą się klęską. Cóż, wszystkie znane nam organizmy żywe mają za sobą miliardy lat ewolucji. Jeżeli nosimy w sobie ślady po pierwotnym tłustym błotku, są one bardzo dobrze ukryte.

©

Chemiczny wypadek

PROF. PAUL DAVIES:

W znanej nam fizyce nie ma zasady, w myśl której materia nieożywiona powinna ożyć. Życie ma tak niezwykle własności, że to ziemskie może być unikalne na skalę całego Wszechświata.

MICHAŁ ECKSTEIN i TOMASZ MILLER: Wierzy Pan, że nie jesteśmy sami we Wszechświecie?

PAUL DAVIES: Często słyszę to pytanie i zawsze mnie złości.

Dlaczego?

Na tym etapie nie da się na nie odpowiedzieć! Pozwólcie, że wyłożę bardzo jasno swoje stanowisko, bo całkowicie różni się od tego, co jest teraz w modzie.

Dekady temu, gdy byłem studentem, uważano, że życie jest niesamowicie szczęśliwym trafem, chemicznym wypadkiem tak nieprawdopodobnym, że nie ma szans na jego dwukrotne wystąpienie we Wszechświecie. Każdy, kto szukał życia poza Ziemią, był uważany za wariata. Teraz wahadło przechyliło się w drugą stronę i nawet bardzo poważani uczeni wyrażają opinię, że kosmos aż kipi życiem.

Tymczasem oba te stanowiska nie są ugruntowane w faktach. Pojawienie się życia (nie mówiąc o życiu inteligentnym) wymaga przejścia od nie-życia – coś wprawdzie musi przekształcić chemiczną zupę w żywe organizmy – a my nie mamy pojęcia, jak to się stało. A skoro nie znamy tego procesu, to nie jesteśmy w stanie uczciwie oszacować prawdopodobieństwa jego zajścia. Co więcej, zapewne nie chodzi tu o jednoetapowy skok – nawet najprostsze żyjątka są tak skomplikowane, że ścieżka od nie-życia do życia musiała być długa i wieloetapowa. Nie znamy charakteru poszczególnych przejść: czy były gwałtowne i skokowe, czy raczej powolne i stopniowe...

W znanej nam fizyce nie ma zasady, w myśl której materia nieożywiona powinna stawać się ożywiona. Życie jest tak niezwykle w swoich własnościach, że można sobie łatwo wyobrazić, iż jest unikalne na skalę całego obserwowalnego

Wszechświata. Mam nadzieję, że takie nie jest, ale do wiary sporo tu brakuje.

Żeby przekonać się do istnienia życia pozaziemskiego, musielibyśmy je znaleźć?

Możliwe, że to jedyna droga – odkryć coś, co nazywam „drugą genezą”. Na szczęście może wcale nie trzeba w tym celu lecieć w kosmos. Być może życie pojawiło się więcej niż raz tu, na Ziemi. Hipotetycznie moglibyśmy znaleźć ziemską formę życia tak odmienną od znanych nam form, że musiałaby ona stanowić wynik niezależnej abiogenezy. Gdyby się okazało, że życie powstało wielokrotnie na Błękitnej Planecie, to zapewne powstało również wielokrotnie poza nią.

Mówi Pan o hipotezie „biosfery cieni”?

Tak, to termin ukuty przez Carol Cleland i Shelley Copley z Uniwersytetu Kolorado, które niezależnie wysunęły hipotezę, że na Ziemi może istnieć więcej niż jedna forma życia. Ja sam propaguję tę ideę od jakichś 20 lat. Było nawet kilka prób poszukiwań biosfery cieni, ale nie powstał do tej pory systematyczny program badawczy. Bardzo trudno przekonać mikrobiologów (bo mówimy tu o mikrobach) do takich poszukiwań, bo wszystkie ich techniki są przystosowane do życia takiego, jakie znamy. Prawdopodobnie zawiodłyby wobec nieznanymi nam form.

Jak w ogóle szukać nieznanymi form życia? Czy umielibyśmy rozpoznać mikroorganizmy powstałe na drodze drugiej genezy?

Podam przykład, czego możemy szukać – nazywam to „życiem lustrzanym”. Całe znane nam życie bazuje na lewoskrętnych

aminokwasach oraz prawoskrętnych cukrach. Dla praw fizyki jest jednak wszystko jedno: lewa czy prawa, toteż równie możliwe jest życie oparte na lustrzanych odpowiednikach wspomnianych cząstek. Trudno sobie wyobrazić, by znane nam życie i życie lustrzane miały wspólny początek, dlatego gdybyśmy je znaleźli, byłby to niemalże dowód na drugą genezę.

Ogólniejsza strategia poszukiwań biosfery cieni jest następująca. Najpierw patrzymy na zakresy różnych parametrów środowiska, które dopuszczają życie takie, jakie znamy. A więc zakresy: ciśnienia, temperatury, pH, zasolenia, radioaktywności i parę innych...

Znane są mikroby, tzw. ekstremofile, które uwielbiają skrajnie wysokie temperatury lub poziomy radioaktywności zabójcze dla innych organizmów...

Ale nawet one mają granice wytrzymałości. Nieznanych form życia należałoby poszukać daleko poza tymi granicami. Podam zresztą prosty przykład.

Rzeczywiście, miałem zaskoczeniem było odkrycie, że w pobliżu kominów hydrotermalnych na dnie oceanu istnieją bakterie i archeony żyjące w temperaturach sięgających 120-130 stopni Celsjusza. Mamy silne powody, by przypuszczać, że życie oparte na DNA nie wytrzymałoby dużo wyższych temperatur. Ale woda w pobliżu kominów nagrzewa się nawet do 350 stopni. Gdybyśmy więc znaleźli tam coś żywego przy, dajmy na to, 180-200 stopniach, wówczas to coś musiałoby być całkowicie inaczej zbudowane.

Drugi przykład: wiemy, że życie sięga ładnych parę kilometrów w głąb Ziemi. Tam nie tylko rosnąca temperatura stanowi problem – ze wzrostem głębokości pory w skałach stają się coraz mniejsze, aż w końcu są za małe nawet dla mikrobów, które znamy. Może jednak istnieć inna forma życia, prostsza, o mniejszej molekularnej maszynierii, która żyje jeszcze głębiej i pozostaje oddzielona od form nam znanych.

To przypomina historię ze słynnym marsjańskim meteoritem ALH84001, znalezionym na Antarktydzie, w którym rzekomo odkryto skamieniałości znacznie mniejsze od najmniejszych ziemskich bakterii...

Niestety ostatecznie okazało się, że te mikrostruktury były najpewniej efektem procesów związanych z przygotowaniem próbek do analizy. Nie były to nanobakterie z Marsa.



SCIENCE PHOTO LIBRARY / EAST NEWS

Zgodnie z hipotezą panspermii zarodki organizmów żywych wędrują w ośrodku międzygwiazdowym naszej Galaktyki. Wizja artystyczna.

Ale czy jest jednak możliwe, że życie podróżowało z planety na planetę za pośrednictwem meteoroidów, nawet jeśli narodziłoby się tylko raz w historii Wszechświata? Coś takiego głosi hipoteza panspermii.

Jak najbardziej. W 1991 r. zaproponowałem nową formę tej hipotezy. Z początku wzbudziła powszechne rozbowienie i długo trwało, zanim potraktowano ją poważnie. W pierwotnej wersji panspermii, pochodzącej od Svantego Arrheniusa, mikroby miałyby pokonywać przestrzeń międzygwiazdową popychane ciśnieniem światła gwiazd. Dziś wiemy, że promieniowanie ultrafioletowe byłoby zabójcze dla żyjątek frunących przez kosmos bez żadnej osłony. Ale gdyby ukryć je wewnątrz skały, byłyby bezpieczne. Rzecz jasna, bardzo nikła jest

szansa na to, by fragment ziemskiej skały, wybity uderzeniem meteorytu, trafił w przyszłości na ziemiopodobną planetę. Ale za to są spore szanse, że doleci on na Marsa i odwrotnie – że skały z Marsa dotrą na Ziemię. Ba! Wiemy, że docierają – mamy je na naszym uniwersytecie. Mikroorganizmy bez problemu mogłyby przeżyć taką podróż. Według mnie to wręcz nieuniknione, że wymianie materiału skalnego między Ziemią a Marssem towarzyszyła wymiana mikrobów. Nie wykluczone, że życie zaczęło się na Marsie, a stamtąd dotarło na Ziemię. Albo powstało i tu, i tu, po czym się wymieszało...

To chyba dodatkowo komplikuje poszukiwanie dowodów na drugą genezę...

Rzeczywiście, ludzie ekscytują się możliwością istnienia życia na Marsie, twierdząc, że miałyby ono kosmiczne konsekwencje. Nie musi mieć. Może się okazać, że nawet jeśli znajdziemy na Marsie mikroby, będą one podobne do ziemskich. Życie z Ziemi lub Marsa mogło w ten sposób zawędrować nawet na Europę, księżyc Jowisza. Choć raczej już nie dalej.

Rozmawialiśmy o początkach życia. A czy Pana zdaniem życie w rozszerzającym się Wszechświecie będzie mieć swój koniec?

To ciekawe i przygnębiające pytanie. Napisałem kiedyś książkę „Ostatnie trzy minuty”, w której zastanawiam się nad losem życia w dalekiej przyszłości. Rzecz jasna, terminu „życie” używam tu w bardzo ogólnym sensie. Tym, co cenimy najbardziej, nie jest w końcu konkretna biochemia – chodzi raczej o wytwory naszej kultury. Nawet jeśli uda nam się to wszystko zachować, być może w postaci specjalnie zaprojektowanych systemów (mówi się o komputerach i robotach, ale to terminy XX-wieczne – nikt dziś nie wie, czym takie systemy będą) i przetrwamy wypalenie się Słońca i gwiazd, to wciąż wszystko sprowadza się do pytania, czy zawsze będą dostępne źródła energii swobodnej, które pozwolą nam opierać się rozpadowi wynikającemu z drugiej zasady termodynamiki. A to mocno zależy od przyjętego modelu kosmologicznego. To kolejne pytanie, na które nie da się odpowiedzieć.

Mówimy o być może nieskończonej przyszłości Wszechświata. W perspektywie nieskończonego czasu dowolnie słabe zjawisko fizyczne, o którego istnieniu nie mamy dziś nawet pojęcia, może w ostatecznym rozrachunku stać się dominujące i zaważyć na losie całego kosmosu. ©

Rozmawiali

MICHAŁ ECKSTEIN i TOMASZ MILLER



PROF. PAUL DAVIES jest fizykiem i popularyzatorem nauki. Pracuje na Uniwersytecie Stanowym w Arizonie; dyrektor instytutu *Beyond: Center for Fundamental Concepts in Science*.

Autor wielu książek poświęconych fizyce kwantowej, kosmologii, astrofizyce i powstaniu życia. W Polsce ukazały się m.in. „Ostatnie trzy minuty”, „Kosmiczny projekt”, „Milczenie gwiazd”, „Plan Stworczy”. Od wielu lat zaangażowany w projekt SETI, skupiony na poszukiwaniu pozaziemskiego życia. W 1995 r. otrzymał Nagrodę Templetona.

Jak zbudować życiodajną planetę

PORADNIK KONSTRUKTORA

ANNA ŁOSIAK

Wyobraź sobie, że postawiono przed tobą zadanie zbudowania planety zdolnej do podtrzymywania życia. Do dyspozycji masz zasoby ograniczone jedynie twoją wyobraźnią i wiedzą. Jak się do tego zabrać?



MACIEJ FROLOW / GETTY IMAGES

Stosunkowo łatwo jest zdefiniować podstawowe wymagania – warunki konieczne, ale nie wystarczające:

1) występowanie odpowiednich składników (dużych ilości węgla, wodoru, tlenu, azotu, fosforu, siarki i niewielkich ilości innych pierwiastków, np. molibdenu, kobaltu i selenu);

2) występowanie właściwych warunków środowiska, umożliwiających składnikom reagowanie ze sobą (najlepiej powierzchni minerałów zanurzonych w wodzie);

3) występowanie stabilności środowiska przez dłuższy czas, tak aby nasze życie mogło się rozwijać.

Zastanówmy się, jak zbudować planetę lub satelitę, na której wszystkie te warunki są spełnione.

Właściwy czas i miejsce

Najpierw wybierzmy odpowiedni czas. Nie możemy zaczynać zbyt wcześnie po Wielkim Wybuchu; na początku cały Wszechświat składał się niemal wyłącznie z wodoru i helu. Cięższe pierwiastki, takie jak krzem, tlen czy węgiel, powstały dopiero w wyniku reakcji jądrowych zachodzących we wnętrzach gwiazd i w czasie wybuchów supernowych. Aby mogło powstać życie, wcześniej umrzeć musiało kilka pokoleń gwiazd.

Wytypujmy następnie właściwe miejsce w obrębie galaktyki. Z jednej strony musi się ono znajdować w pobliżu innych gwiazd, tak aby wcześniej wytworzone pierwiastki miały szansę zostać włączone do naszego układu słonecznego. Możemy wykluczyć więc obrzeża galaktyk. Z drugiej jednak strony, jeżeli jesteśmy otoczeni zbyt dużą liczbą gwiazd, w każdej chwili musimy oczekiwać katastrofy, np. w postaci pobliskiego wybuchu supernowej. Najlepiej więc trzymać się mniej więcej środka galaktyki.

W poszukiwaniu dobrej gwiazdy

Zdolne do podtrzymania życia planety nie mogą występować dookoła każdej gwiazdy. I w tym przypadku okazuje się, że najlepszą strategią jest unikanie skrajności. Największe i najgorętsze gwiazdy żyją bardzo krótko: o ile nasze Słońce żyje zapewne statecznych 10 miliardów lat, o tyle życie gwiazdy zaledwie 10 razy od niego cięższej trwa tylko 30 milionów lat! W tak krótkim (geologicznie) czasie

Powinniśmy koniecznie zainwestować w co najmniej jeden spory księżyc – to stabilizuje klimat.

powierzchnia ewentualnych planet skalistych powstałych dookoła takiego słońca nie zdążyłaby nawet dobrze ostygnąć. Z drugiej strony, małe gwiazdy również się nie nadają, bo są dużo bardziej niestabilne – od czasu do czasu emitują dawki promieniowania zdolne nie tylko zdmuchnąć dużą część atmosfery pobliskiej planety, ale również wysterylizować jej powierzchnię. Potrzebujemy więc gwiazdy, która jest mniej więcej wielkości Słońca – albo trochę od niego mniejsza.

Mamy już gwiazdę, zaprojektujmy teraz odpowiedni układ planetarny. Tu pojawia się pojęcie „ekosfery”. Ekosfera to strefa dookoła gwiazdy, w której ma szansę występować woda w stanie ciekłym: nie jest w niej ani na tyle gorąco, żeby znajdująca się na hipotetycznej planecie woda zamieniła się w parę, ale i nie na tyle zimno, żeby zamarzała. Zwróćmy koniecznie uwagę, aby nasza projektowana planeta znajdowała się mniej więcej w środku ekosfery, ponieważ gwiazdy typu Słońca świecą nieco silniej w wieku dojrzałym niż za młodu, tak więc ich ekosfera wciąż przesuwa się coraz dalej „na zewnątrz”. W rezultacie planeta, która z początku byłaby ułożona w pobliżu „ciepłego końca” ekosfery, po pewnym czasie może znaleźć się poza jej granicami – a wszystkie ewentualne organizmy na jej powierzchni zostaną ugotowane żywcem...

Oczywiście temperatura na powierzchni danej planety zależy nie tylko od jej odległości od gwiazdy, ale także od innych czynników, takich jak choćby skład atmosfery, który decyduje o poziomie efektu cieplarnianego. Dlatego m.in. nasza planetarna „zła bliźniaczka” – Wenus – nie nadaje się do zamieszkania.

A może na księżycu?

Jeżeli jednak nie zależy nam koniecznie, żeby nasze życie rozwijało się na planecie, możemy wybrać trochę inną konfigurację i zdecydować się na spory księżyc, krążący wokół olbrzymiej planety gazowej. ↳



Z dziejów ożywiania lalek ODC. 1

Pouczająca jest historia Alojzego z „Akademii Pana Kleksa”. Miał być to wspnianały przykład ożywionej lalki, a skończyło się – jak wiadomo – tragicznie. Wszystko dlatego, że jego konstruktor, golarz Filip, jak i udoskonalający później Alojzego Pan Kleks niepotrzebnie skoncentrowali się na powierzchniowych aspektach projektu.

Przykładowo, Filip pracowicie skonstruował fantomowy układ trawienny, dzięki któremu Alojzy mógł jeść makaron; jadł go jednak żartocznie i po zwierzęcemu. A przecież nie żołądek czyni człowieka, lecz zdolność do cywilizowanego napętniania go! Ba, na tym etapie owa lalka nie posiadała nawet syntezatora mowy ani samego aparatu artykulacyjnego. Pan Kleks również skupił się na tworzeniu zewnętrznych pozorów życia. Cenne godziny poświęcił na wcieranie maści powodującej wykształcenie się w gumowej skórce naczyń krwionośnych, równocześnie zaniehbując prace nad sztuczną inteligencją. Ostatecznie Alojzy – „ta niegodziwa karykatura człowieka”, jak zauważa Brzechwa – wyposażony, owszem, w układ trawienny i krwionośny, ale o kuriozalnie ubogim algorytmie moralnym, zniszczył Akademię. ©

■ Jan Brzechwa
„Akademia Pana Kleksa”,
wiele wydań

→ Mógłby być z grubsza podobny choćby do Pandory z filmu „Avatar”. Tam, mimo że mamy do czynienia z księżycem, a nie planetą, warunki przypominają te panujące na Ziemi, bo większość energii napędzającej życie pochodzi z gwiazdy. W rzeczywistości życie na powierzchni takiego księżyca nie byłoby jednak sielankowe – wokół gazowych gigantów mogą występować strefy bardzo silnego promieniowania, niezwykle utrudniającego przetrwanie na powierzchni.

Drugą intrygującą opcją jest potencjalna „zamieszkiwalność” księżyców znajdujących się poza ekosferą gwiazdy – jak np. Europy, księżyca Jowisza. Na ciałach tego typu pod wielokilometrową warstwą lodu może znajdować się równie głęboki ocean, dopiero pod którym znajdziemy skalny płaszcz i metaliczne jądro. Krytyczne znaczenie ma znów rozmiar. Jeżeli taki księżyc będzie zbyt mały, to szybko wystygnie. Biedne organizmy żyjące na takim księżycu byłyby skazane najpierw na śmierć z głodu, a później zamarznięcie ich doczesnych resztek. Na szczęście efekt ten może być w niektórych przypadkach zniwelowany przez bardzo duże siły pływowe, regularnie zniekształcające cały księżyc i zapobiegające zastygnięciu takiego ciała – jak to ma miejsce w przypadku innego księżyca Jowisza, Io.

Gdyby natomiast księżyc taki był zbyt duży, na dnie jego oceanu mogłaby utworzyć się warstwa wysokociśnieniowej postaci lodu, który, w przeciwieństwie do zwykłego lodu, jest cięższy od wody. Taka warstwa oddzieliłaby od siebie dwa niezbędne dla życia składniki: wodę i skały mogące być źródłem pożywienia dla organizmów. Byłby to więc ocean wciśnięty pomiędzy dwie warstwy lodu. Nie wiadomo, czy w takich warunkach mogłoby dojść do powstania życia i jego długotrwałego przetrwania.

Rozmiar ma znaczenie

Przyjrzyjmy się teraz kwestii występowania na naszej planecie atmosfery; i tutaj kluczową kwestią jest rozmiar. Jeżeli ciało jest zbyt małe, przyciąga cząsteczki gazu tak słabo, że dochodzi do powolnej utraty atmosfery, która dosłownie ulatuje w kosmos. Może to doprowadzić np. do tego, że woda przestanie być stabilna i w stosunkowo krótkim czasie ciało zamieni się w miejscę przyjaznego życia w pustynię (patrz: ramka). Z drugiej strony, zbyt duże ciało skaliste może aż nadto skutecznie przyciągać gazy pozostałe po tworzącej się gwiaz-

Jeżeli interesuje nas regularna dostawa świeżych, smakowitych minerałów, projektowana przez nas planeta musi koniecznie posiadać tektonikę płyt.

dzie, i w rezultacie taka planeta może skończyć jako gazowy olbrzym podobny do Jowisza czy Saturna.

Niewielkie planety tracą też szybciej pole magnetyczne, chroniące atmosferę przed szkodliwym wiatrem słonecznym. Wynika to z tego, że małe ciała stygną szybciej niż duże, ponieważ mają dużo większy stosunek powierzchni do objętości – a właśnie przez powierzchnię ciepło ulega wypromieniowaniu w przestrzeń kosmiczną. Gdy dana planeta ochłodzi się na tyle, że jej płynne żelazne jądro zmieni się w nieruchomą kulę metalu, to pole magnetyczne całkiem zanika. Prawdopodobnie to właśnie przytrafiło się Marsowi.

Jeżeli chcemy, aby nasza planeta była zdolna do podtrzymywania organizmów bardziej wymagających i delikatnych niż najprostsze mikroby, to powinna ponadto obracać się dookoła własnej osi, tak aby występowały tam dni i noce. Dzięki temu temperatura na jej powierzchni będzie bardziej wyrównana. Niedawno odkryty układ planetarny dookoła małej gwiazdy TRAPPIST-1 – z trzema skalistymi planetami w ekosferze – krąży tak blisko swojego słońca, że najprawdopodobniej wszystkie te ciała niebieskie są w obrocie synchronicznym. Oznacza to, że planety owe mają cały czas skierowaną tylko jedną półkulę ku gwiazdzie – jedna strona jest bardzo gorąca, druga bardzo zimna. Życie, o ile kiedykolwiek tam powstało, miałoby szansę utrzymać się tylko w cienkim pasie między wiecznym dniem i wieczną nocą.

Dodatkowo powinniśmy koniecznie zainwestować w co najmniej jeden spory księżyc. Dzięki temu nachylenie osi obrotu planety względem ekliptyki jest bardziej stałe, co stabilizuje klimat. Dla przy-

kładu – oś naszej Ziemi praktycznie się nie zmienia (waha się w niewielkim zakresie od 22.1° do 24.5° w cyklu trwającym 41 tysięcy lat), dzięki czemu zawsze najzimniej jest na biegunach, a najcieplej w okolicy równika. Mars nie ma satelity o znaczących rozmiarach, stąd jego oś zmienia się dosyć chaotycznie od 0° do niemal 80°. W rezultacie od czasu do czasu najcieplejsze marsjańskie rejony znajdują się w pobliżu jego biegunów! Co ciekawe, na zdjęciach satelitarnych wyraźnie widać, że niektóre rejony równikowe Marsa były kiedyś rzeźbione przez ogromne lodowce.

Wulkany dla życia

Nasza średniej wielkości, skalista planeta z wodą na powierzchni, z co najmniej jednym sporym księżycem, obracająca się dookoła własnej osi i obiegająca gwiazdę o podobnej wielkości co Słońce, powinna mieć coś jeszcze – aktywność wulkaniczną, najlepiej powiązaną z tektoniką płyt. Minerale, jak wszystko inne, zużywają się: po jakimś czasie powierzchnie, które na początku były źródłem schronienia i pożywienia dla organizmów, w końcu robią się zwietrzałe. Wulkany są miejscami, gdzie na powierzchni wydostają się „świeże” skały i mnóstwo użytecznych dla organizmów żywych związków chemicznych.

Zachodząca raz na kilkadziesiąt milionów lat erupcja wulkanu to jednak niewielka pociecha. Jeżeli interesuje nas regularna dostawa świeżych, smakowitych minerałów, projektowana przez nas planeta musi koniecznie zainwestować w tektonikę płyt. Terminem tym określa się zasadniczy „styl” geologiczny naszej planety, który z grubsza polega na tym, że jej zewnętrzna warstwa składa się ze sztywnych płyt przemieszczających się względem siebie po plastycznej (choć nie płynnej) głębszej warstwie. Wulkany powstają głównie na granicach płyt: w miejscach, w których płyty się rozchodzą, oraz tam, gdzie się zderzają lub zanurzają z powrotem we wnętrzu planety. W rezultacie cały glob otoczony jest pałęczyną wulkanicznych gór, zapewniających mnóstwo samoodnawialnych, przyjaznych życiu lokalizacji.

Tektonika płyt ma jednak więcej zalet – system ten jest kluczowy dla utrzymania stałej temperatury na powierzchni planety. Działa jak gigantyczny termostat regulujący w geologicznej skali czasowej temperaturę poprzez kontrolowanie ilości CO₂ w atmosferze, od którego z kole-

zależy poziom efektu cieplarnianego. Ów „termostat” działa w następujący sposób: CO₂ wydobywa się z wulkanów i gromadzi w atmosferze, podnosząc temperaturę na powierzchni. Wyższa temperatura zwiększa tempo rozkładu/wietrzenia skał, uwalniając pierwiastki, które następnie łączą się z CO₂ z powietrza, tworząc skały węglanowe (np. wapien, CaCO₃) odkładające się w oceanach. Po jakimś czasie część tych skał zawierających CO₂ wnika w miejscach zderzeń płyt tektonicznych z powrotem do wnętrza planety. Ze środka ponownie wydostaje się przy pomocy wulkanów – cykl się zamyka.

Tektonika płyt wydaje się więc być bardzo korzystną „opcją” przy projektowaniu planety odpowiedniej dla życia. Co ciekawe, Ziemia jest jedynym znanym nam obiektem w Układzie Słonecznym z tektoniką płyt w pełnym tego słowa znaczeniu, przy czym nie jest wciąż jasne, w jaki właściwie sposób ten proces został zainicjowany i dlaczego nie występuje powszechnie.

I trochę szczęścia

Ostatnim składnikiem, jakiego potrzebujemy dla rozwoju i utrzymania życia na naszym z trudem zbudowanym ciele niebieskim, jest odrobina szczęścia. Jeże-



Europa, księżyc Jowisza (po lewej) oraz Enceladus, księżyc Saturna

GDY MÓWI SIĘ O ŻYCIU POZAZIEMSKIM, prędzej czy później padają imiona tych dwóch bohaterów: sporych satelitów w zewnętrznym Układzie Słonecznym. Obydwa posiadają gruby płaszcz lodowy, który na pewnej głębokości – trochę pod wpływem ciśnienia, a trochę ze względu na własne

li w pobliżu naszej planety wybuchnie supernowa, może ona ją wysterylizować albo zniszczyć. Szczęście przyda nam się również do unikania zderzeń z innymi dużymi ciałami niebieskimi.

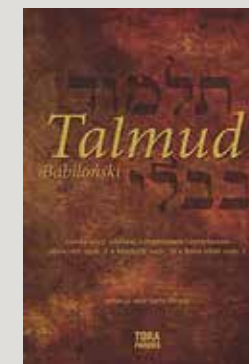
O ile takie rzeczy na samym początku istnienia planety nie szkodzą, a nawet mogą pomagać (w końcu takiemu właśnie zderzeniu zawdzięczamy najprawdopodobniej powstanie naszego własnego Księżyca), to o ile zdarzą się późno, mogą nie tylko zabić całe życie, ale nawet znacząco zmniejszyć wartości parametrów wyliczonych powyżej, czyniąc z planety przyjaznej życiu jałowe pustkowie.

Być może wcale nie musimy wchodzić z naszym projektem w fazę realizacji. W samej naszej galaktyce są miliardy gwiazd podobnych do Słońca, a planety wydają się krążyć dookoła znaczącej ich części.

Jest więc spora szansa, że gdzieś tam znajduje się ciało niebieskie, na którym mogłoby rozwinąć się pozaziemskie życie. ©

ANNA ŁOSIAK

Autorka jest geologiem planetarnym, absolwentką UW i Michigan State University, członkinią Geological Society of America. Obecnie przygotowuje doktorat na Uniwersytecie w Wiedniu.



Z dziejów ożywiania błota ODC. 2

W Księdze Psalmów czytamy: „Oczy twoje widziały, gdy byłem jeszcze w zarodku” (Psalm 129, 16). W oryginale hebrajskim terminowi „w zarodku” odpowiada jednak rzeczownik *galmi*, oznaczający surową, nieufornowaną materię. W Talmudzie tym samym słowem określany jest pierwotny stan Adama, gdy ów już był bezkształtną formą ulepioną z gliny, jednak przed tym, gdy Bóg „tchnął w jego nozdrza tchnienie życia”. Oto golem (zob. też ramka na str. 24). W należącem do Talmudu traktacie Sanhedryn przemiana pył–golem–Adam opisana jest bardziej szczegółowo niż w Biblii. „Dzień pierwszy składał się z dwunastu godzin. W pierwszej godzinie jego [Adama] pył został zebrany; w drugiej został ugnieciony w bezkształtną masę. W trzeciej uformowane zostały jego członki; w czwartej wlana została w niego dusza; w piątej podniósł się i stanął na nogi; w szóstej nadał zwierzętom imiona” (Sanhedryn 38b). Niektórzy teolodzy, np. David Jones, autor „The Soul of the Embryo” („Dusza embrionu”), twierdzą, że to określenie stosuje się również do zarodka ludzkiego, jeszcze zanim wykształci się w nim dusza. ©

■ „Miszna. Nezikin”.

Biologia i egzorcyzmy

ŁUKASZ KWIATEK

**Organizmy różnią się od materii nieożywionej.
Pytanie brzmi: jak bardzo oraz... co z tego?**

Był rok 1828. Friedrich Wöhler, niemiecki chemik, próbował uzyskać pewną substancję – cyjanian amonu – poprzez zmieszanie roztworów jonów amonowych i jonów cyjaninowych. Zdziwił się, gdy w wyniku doświadczenia zamiast nieorganicznej soli uzyskał mocznik – uboczny produkt przemiany materii wielu zwierząt. Razem z nim zdziwiło się całe środowisko naukowe: pierwszy raz w historii ktoś uzyskał substancję organiczną w reakcji, w której posłużono się wyłącznie związkami nieorganicznymi. Eksperyment Wöhlera wstrząsnął zwłaszcza niemieckim środowiskiem, gdzie w najlepsze rozkwitał witalizm – pogląd, zgodnie z którym przyroda ożywiona nie znajduje się pod jurysdykcją zwykłych praw fizyki i chemii.

Kilkanaście lat wcześniej były nauczyciel Wöhlera, szwedzki uczonec Jöns Jacob Berzelius, położył teoretyczne podwaliny pod witalizm, dzieląc związki chemiczne na dwa rodzaje: te, które występują wyłącznie w świecie ożywionym i są produkowane przez istoty żywe (związki organiczne), oraz te, na które natrafiamy w przyrodzie nieożywionej (związki nieorganiczne). Różnica między nimi miała mieć wręcz metafizyczny wymiar. Synteza związków organicznych z nieorganicznych była równie nie do pomyślenia, jak tchnienie ducha przez inżyniera w skonstruowaną przez niego maszynę.

Sama idea witalizmu nie była jednak nowa. Już Arystoteles posługiwał się, nieco mętnym, pojęciem „entelechii” – czynnika, który umożliwia rzeczom realizowanie drzemiących w nich potencjalności (mówiąc językiem Arystotelesa: przechodzenie z możności do aktu). U żywych organizmów entelechia była związana z „duszą” – tym, co je wszystkie ożywia i wprawia w ruch. Pojęcie entelechii powróciło w XIX w. (w pismach niemieckiego embriologa Hansa Driescha), stając się synonimem takich określeń jak „życiowy fluid” i „siła życiowa” lub „pęd życiowy” (*élan vital*), których stosowa-

nie było znakiem rozpoznawczym witalistów.

Dziś chemia organiczna to w zasadzie nauka o związkach węgla. Jej nazwa wyrosła z podziału Berzeliusa, ale została pozbawiona filozoficznego bagażu – związki węgla wprawdzie stanowią budulec życia, ale rządzą nimi dokładnie te same prawa i zasady, jakie spotykamy w chemii nieorganicznej. Próżno w niej szukać entelechii czy życiowych fluidów, które mogłyby na mocy autonomicznych zasad ożywiać materię. Nie oznacza to jednak, że wszystkie idee witalizmu zostały wyegzorcyzmowane wraz z rozwojem nauki.

Dwa jeżowce

Większość z nas intuicyjnie dostrzega różnice między piaskiem a trawą, psem a kamieniem, wodą a krwią, gałęzią drzewa a kawałkiem metalu czy kogutem a zegarkiem. Nie zawsze tak było. Nasi odlegli przodkowie mogli postrzegać całą przyrodę animistycznie, nawet w materii nieożywionej i zjawiskach przyrodniczych doszukując się elementów duchowych. Z kolei rewolucja naukowa wprowadziła umysł nowożytnej Europy na tory myślenia mechanistycznego. Najpierw wyrugowała wyjaśnienia nadprzyrodzone ze zjawisk fizycznych, potem wzięła się za przyrodę ożywioną. Głosem tej epoki była filozofia Kartezjusza, który odmówił duchowego pierwiastka wszystkim organizmom poza człowiekiem, w zasadzie zrównując zwierzęta z automatami. Tak narodził się fizykalizm – pogląd, zgodnie z którym wszystkie zjawiska, w świecie ożywionym i nieożywionym, sprowadzić można do fundamentalnych praw fizyki. Związane z nim przemiany światopoglądowe historyk nauki Eduard Jan Dijksterhuis nazwał „mechanizacją obrazu świata”.

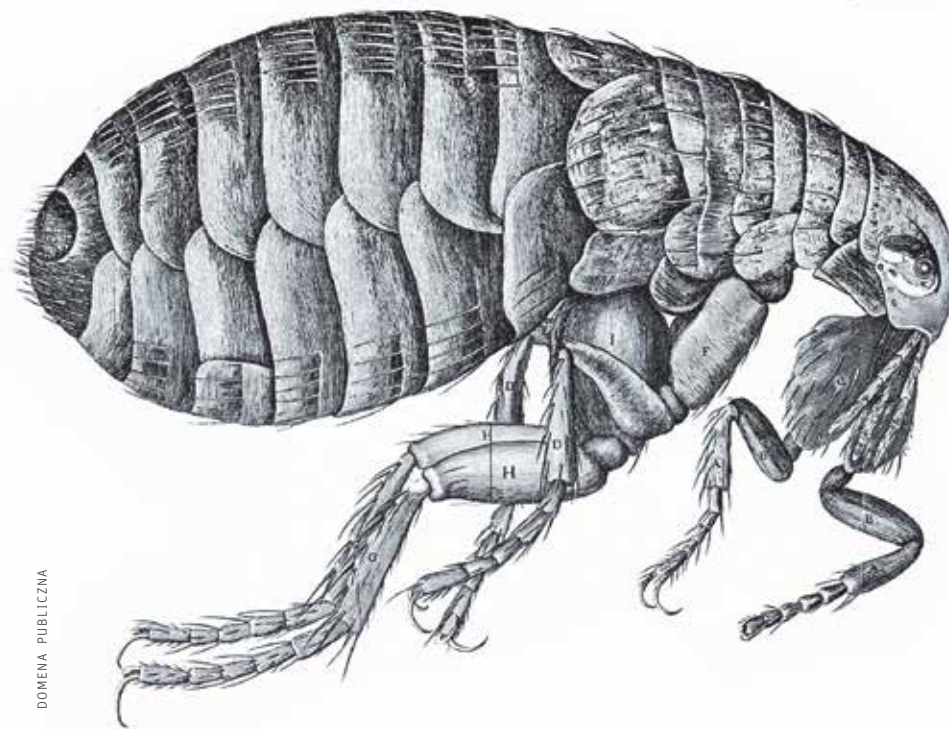
Mechanicizm (czy fizykalizm) czerpał z sukcesów metody redukcjonistycznej, która poznanie jakiegoś zjawiska czy obiektu sprowadzała do zbadania jego części składowych. Taktyka ta świetnie

sprawdzała się także w różnych dziedzinach biologii. Na przykład Matthias Schleiden stworzył podwaliny współczesnej botaniki, badając rośliny pod mikroskopem i dowodząc ich komórkowej budowy. Emil du Bois-Reymond zaproponował elektryczne, a więc całkowicie fizyczne, wyjaśnienie działania układu nerwowego, a Hermann von Helmholtz zmierzył prędkość przewodnictwa nerwowego. Ten sam uczonec badał także m.in. zjawiska cieplne w organizmach, uznając je za przekształcenia „zwykłej” energii – takiej samej, która pojawia się w przyrodzie nieożywionej. Metoda redukcjonistyczna znacznie wzbogacała wiedzę o świecie, także ożywionym, bez odwoływania się do tajemniczych entelechii i sił życiowych.

Mimo wszystko witalizm długo nie chciał wyzionąć ducha. Jeszcze w XIX wieku można było spotkać biologów, którzy uznawali fizykalizm za zbyt radykalny, a metaforę maszyny – za fałszywą. Nie było to aż tak nieracjonalne podejście. W końcu, jak ujął to Ernst Mayr w książce „To jest biologia”, w przeciwieństwie do żywego organizmu „żadna maszyna nigdy się sama nie zbudowała, nie powieliła, nie zaprogramowała ani nie dostarczyła sama sobie energii”. Metafora maszyny mogła więcej zaciemniać, niż wyjaśniać.

Jednym z ówczesnych witalistów był wspomniany Hans Driesch, miłośnik pojęcia entelechii, który „nawrócił się” na witalizm po tym, jak przeprowadził pewien eksperyment. Udało mu się rozdzielić embrion jeżowca w fazie, w której ten liczył dwie komórki. Mechanistyczna intuicja podpowiadała Drieschowi, że z każdej z nich wyrośnie połowa zwierzęcia. Przewidywania te nie sprawdziły się – z rozdzielonych embrionów wyrosły dwie całkiem zdrowe larwy. Tak jakby ich rozwojem rzeczywiście rządziła jakaś tajemnicza siła życiowa, która niczego sobie nie robiła z „mechanistycznej” interwencji niemieckiego badacza.

Myślenie Driescha obrazuje, jak naiwne były niektóre tezy fizykalistów. Ta naiwność, jak pisze Mayr, przejawia-



DOMENA PUBLICZNA

Pchła z gatunku *Ceratomyza fasciatus* z książki Roberta Hooke'a „Micrographia”, 1665 r.

ła się również w tym, że dla wielu z nich „nieakceptowalne witalistyczne stwierdzenia stawały się całkowicie do przyjęcia, gdy »siła życiowa« została zastąpiona równie niezdefiniowanym pojęciem »energii«”. Innym słowem wytrychem, którym fizykaliści posługiwali się, dokonując pozornych wyjaśnień zjawisk, był „ruch”. Tłumaczyli oni np. różne zjawiska zachodzące wewnątrz komórek ruchem atomów. Nie wyjaśniali jednak, jak to się dzieje, że ten „ruch” prowadzi do tak spektakularnych rezultatów, jak choćby rozwój zapłodnionego jaja w dorosły organizm. Witaliści, jak zauważa Mayr, dostrzegali słabość tego rodzaju wyjaśnień i jedynie szli o krok dalej – postulowali istnienie czynnika, który nadaje takim ruchom kierunek (i cel).

Więcej niż suma części

Witalistyczne poglądy często miały religijne inspiracje. Skoro witalizm zakłada pozafizyczną siłę, to natychmiast przywołuje na myśl transcendującego świat fizyczny Boga. Co więcej, w Biblii wielokrotnie pojawiają się takie określenia jak „pierwiastek życia”, „tchnienie życia” czy „boskie/nieśmiertelne tchnienie”, bliskie pojęciom używanym przez witalistów. Nieprzypadkowo wykorzystują one me-

taforę życia jako oddechu – w końcu właśnie od słowa „oddech” wywodzi się pojęcie „duszy”.

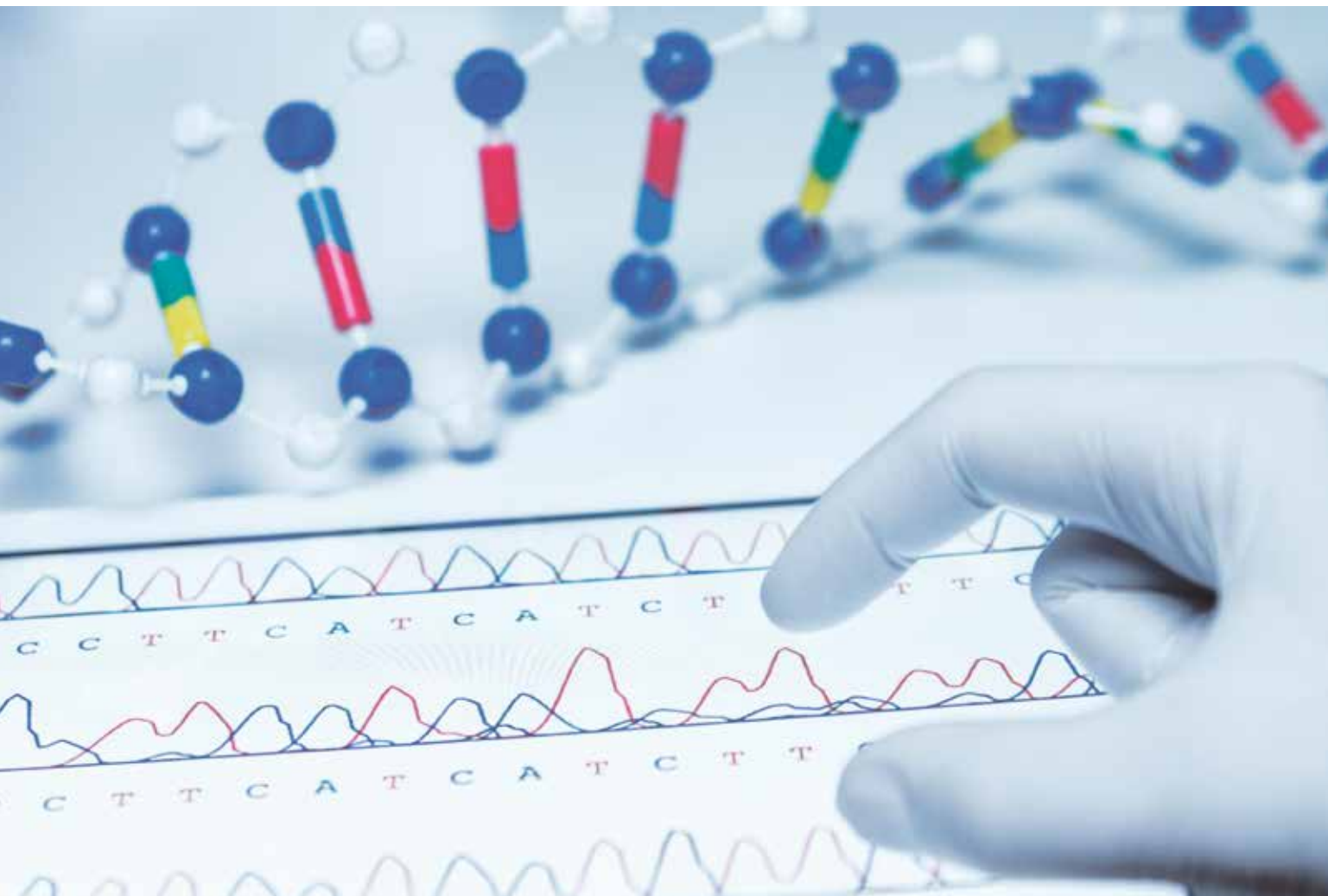
Witalizm musiał w końcu jednak zniknąć, a swoją schyłkową fazę osiągnął w latach 20. XX w. Z pewnością pomogło w tym pojawianie się pozytywizmu logicznego w filozofii, który odrzucał wszelkie przejawy metafizyki, a witalizm postrzegał właśnie jako pogląd bardzo metafizyczny niż naukowy. Jednocześnie tezy stawiane przez witalistów nie znajdowały żadnego potwierdzenia. Upadła np. idea „protoplazmy”, tajemniczej substancji lub specjalnego stanu materii, która miała wypełniać ciała komórek (zastąpiła ją „fizykalna” cytoplazma).

Uderzeniem w czuły punkt witalizmu był bujny rozwój metod syntezy związków organicznych, zapoczątkowany, jak pamiętamy, przez Wöhlera. Ale prawdziwą zgubę sprowadziły na witalizm ewolucjonizm i genetyka, które wyjaśniły kierunkowość „ruchów” ożywionej przyrody – mechanizm powstawania adaptacji oraz ukierunkowany rozwój osobniczy, realizowany zgodnie z genetycznym programem. Stało się jasne, że to, co dla witalistów stanowiło metafizyczną „siłę życiową” – a przynajmniej wiele jej kluczowych aspektów – tkwi w banalnie fizycznym DNA, sterującym budową i tendencjami do zachowań organizmów.

A więc jednak maszyny? Odrąbanie triumfu mechaniczemu byłoby mimo wszystko lekką przesadą. Witalizm nie odszedł bezpotomnie – w XX w. wyrósł z niego organicyzm, czyli pogląd, który co prawda przyjmuje, że organizmy zbudowane są z nieduchowych elementów, ale nie godzi się z tezami naiwnego redukcjonizmu. Organicyści podkreślają, że prawa fizyki rządzą zachowaniem elementów budowy organizmów na najbardziej drobiazgowym poziomie organizacji, ale ten poziom nie odgrywa wyróżnionej roli. Zjawiska fizyczne są ważne, gdy rozpatrujemy budowę błony komórkowej, ale mniej istotne na poziomie narządów, układów i całego organizmu. Nie atomowy skład organizmu, ale jego sposób organizacji sprawia, że realizuje on swoje funkcje życiowe. Całość zaś jest więcej niż zwykłą sumą części, ponieważ na różnych poziomach wyłaniają się nowe jakości.

Jeśli chcemy, możemy uznać, że organizm to maszyna, ale niezwykle skomplikowana. Potrafimy identyfikować jej najróżniejsze mechanizmy, ale nie powinniśmy zapominać, że jako całość realizuje ona wiele osobnych funkcji, które nie pojawiają się na innych poziomach organizacji – na przykład dba o zachowanie homeostazy, zdobywa energię i rozmnaża się. Tych zjawisk nie da się wyjaśnić, pozostając na poziomie fizyki czy biochemii. Co więcej, wszystkie te poziomy organizacji i realizowane przez nie funkcje wykształciły się w długim procesie ewolucji, któremu nie podlega przyroda nieożywiona. W rezultacie, zdaniem Mayra, organizm w istocie wykazuje pewien dualizm niespotykany w materii nieożywionej – ale nie jest to dualizm ducha i materii, tylko dualizm fenotypu i genotypu.

Organicyzm posiada pewne witalistyczne zabarwienie – zakłada istnienie w życiu czegoś (złożonej organizacji), czego w niezyciu próżno szukać. Podejrzliwy redukcjonista nieprzyjemną woń witalizmu może wyczuć w nacechowanych metafizycznie pojęciach organicyzmu – homeostaza i emergencja wydają się dobrymi przykładami. Mimo tych witalistycznych zabarwień współczesnego paradygmatu, nie spodziewałbym się, że w materii ożywionej znajdzie się jeszcze kiedyś miejsce dla wymykającego się metodzie naukowej ducha. Chyba że uznamy, iż sami go tam potrafimy umieścić dzięki biologii syntetycznej – że posiadliśmy wiedzę, jak tchnąć tchnienie życia w nieożywioną przyrodę. Ale te tony lepiej zostawmy potomom. ©



Wyniki sekwencjonowania DNA

Nowe stworzenie

ANNA BARTOSIK

Sztuczne życie – miniaturowe układy, które zachowują się jak żywe komórki, i to zgodnie z założeniami naukowców – jest już na horyzoncie współczesnej biologii.

Od dwudziestu lat lawinowo rośnie tempo, w jakim poznajemy molekularne podstawy życia. W laboratoriach na całym świecie prowadzone są eksperymenty, które generują terabajty danych na temat bogatego środowiska wewnętrznego komórek: od struktury i aktywności poszczególnych genów, aż po budowę, funkcje i oddziaływania pomiędzy białkami i setkami innych cząstek produkowanych w toku metabolizmu komórkowego. Równolegle rozkwit przeżywa

wiele dziedzin biologii, jednak szczególnie miejsce zajmują blisko ze sobą powiązane: biologia obliczeniowa oraz obficie korzystająca z jej osiągnięć biologia syntetyczna.

Biologia obliczeniowa (*computational biology*) to termin obejmujący wszelkie próby odtwarzania życia *in silico*, czyli w postaci symulacji komputerowych. Dzięki szczegółowej wiedzy o tysiącach genów i białek, a także dzięki rosnącym możliwościom obliczeniowym, możliwe jest dziś modelowanie na komputerze

dynamiki komórki żywej z niespotykaną wcześniej dokładnością. Biologia syntetyczna (*synthetic biology*) to szybko rozwijająca się nauka, skupiająca się na rzeczywistym odtwarzaniu prostych układów ożywionych – czy to na bazie faktycznych organizmów żywych, czy też „od zera”, choćby w pęcherzykach tłuszczowych stanowiących proste modele komórek. Zdobyta w ten sposób wiedza pozwala naukowcom na coraz lepsze rozumienie żywych komórek, co ma niebagatelne znaczenie choćby w medycynie.

Jedną z najlepiej znanych w środowisku naukowym platformą do symulacji komórek jest system E-Cell, opracowany w 1999 r. To oprogramowanie pozwala na analizę zachowania całej komórki, biorąc pod uwagę takie parametry jak metabolizm, synteza białek, transport błonowy, transkrypcja, translacja, replikacja DNA czy wreszcie przekaz sygnału wewnątrz komórki. Po raz pierwszy platforma E-Cell została wykorzystana do modelowania „wirtualnej bakterii”, wyposażonej w 127 kluczowych dla podtrzymania życia genów, wchodzących w skład genomu bakterii *Mycoplasma genitalium*. Komputerowy model był w stanie symulować transport glukozy i produkcję cząsteczek będących nośnikiem energii w komórkach – ATP. Co więcej, naukowcy modelowali także wykorzystanie ATP m.in. do produkcji fosfolipidów, czyli cegiełek strukturalnych błony komórkowej, czy do utrzymania mechanizmu odpowiedzialnego za odczytanie informacji genetycznej zawartej w DNA i syntezy na tej podstawie białek. Przez kolejne lata platforma E-Cell była udoskonalana, a jej funkcje poszerzane tak, by mogła coraz bliżej opisywać funkcje żywej komórki.

Między innymi z tego rodzaju modeli korzystają biolodzy syntetyczni, którzy tworzą sztuczne obwody genetyczne, zdolne imitować niektóre funkcje komórek. Tego rodzaju twory mogą mieć szerokie zastosowanie – np. w produkcji leków.

Logika w DNA

W pracy opublikowanej pod koniec grudnia 2015 r. na łamach magazynu „Nature Nanotechnology” naukowcy z Georgia Institute of Technology w Atlancie opisali wykorzystanie nici kwasów nukleinowych do prowadzenia prostych operacji komputerowych we wnętrzu żywych komórek ssaczy. Jak wyjaśniał na łamach portalu ScienceDaily prof. Philip Santangelo: „Cały pomysł opiera się na tym, by logikę wykorzystywaną przez komputery wprowadzić do komórek”.

W opisanych doświadczeniach naukowcy skorzystali z nowo rozwijającej się gałęzi biologii syntetycznej, mianowicie nanotechnologii DNA. Łańcuch DNA zbudowany jest z dwóch komplementarnych nici, które łączą się ze sobą w sposób przypominający zamek błyskawiczny. Odpowiada za to komplementarne parowanie zasad: adeniny, cytozyny, guaniny i tymidyny, opisane po raz pierwszy przez Watsona i Cricka, co przyniosło im Nagrodę No-

bla. Proces ten jest ściśle określony: adenina zawsze łączy się z tymidyną, a guanina z cytozyną. Przez ostatnie dziesięciolecia naukowcy dużo lepiej opisali ten proces i znają jego szczegóły biochemiczne i termodynamiczne. Opracowano metody pozwalające na syntezę w laboratorium sekwencji DNA o określonej strukturze. Na przestrzeni lat również znacznie spadły koszty takiej syntezy DNA w probówkach, co sprawiło, że metoda stała się dostępna dla wielu laboratoriów.

W swoim eksperymencie naukowcy z Atlanty podmienili fragment łańcucha DNA w komórce ssaczki, by wprowadzić dwie podstawowe funkcje logiczne: ORAZ i LUB. Dzięki temu można tak zaprogramować pewne geny, by ulegały włączeniu lub wyłączeniu w odpowiedzi na zewnętrzną stymulację. W ten sposób powstają tzw. przełączniki DNA.

„Zainstalowanie” ich w komórkach okazało się trudne i zajęło wiele lat badań. Najważniejsze było, żeby samo wprowadzanie „przełączników” do komórek nie powodowało śmierci komórek. W końcu udało się obejść te trudności. Kolejny, jeszcze trudniejszy etap badań polega na skonstruowaniu „przełączników”, które będą stymulowały komórki do produkcji określonych białek.

Fabryka komórkowych żarówek

Na jeszcze inny sposób wykorzystania obwodów DNA wpadli naukowcy z Massachusetts Institute of Technology z prof. Edwardem Boydenem na czele. Pod koniec ubiegłego roku w czasopiśmie „Nature Chemistry” ukazała się ich praca, w której wykazali, w jaki sposób obwody genetyczne mogą być izolowane w syntetycznych komórkach, tak by nie wpływały na siebie nawzajem – co wcześniej sprawiało wiele problemów – i jak nauczyć takie „komórki”, aby się ze sobą komunikowały.

Naukowcy z MIT jako sztuczne komórki wykorzystali liposomy. Są to kropelki zbudowane z błony tłuszczowej, przypominającej błony otaczające „normalne” komórki. Liposomy zostały wyposażone w maszynę potrzebną do odczytania informacji genetycznej zawartej w DNA (również wprowadzonej do liposomów), a następnie syntezy na tej podstawie białek. Opracowana metoda pozwoliła stworzyć różne populacje liposomów, z różną informacją zawartą w cząsteczce DNA, a tym samym – odmienną funkcją. Dzięki obecności błony tłuszczowej, która jest półprzepuszczalna

dla cząsteczek w pewnym zakresie wielkości, poszczególne liposomy z różnych populacji mogą się ze sobą komunikować za pośrednictwem wydzielanych cząsteczek.

Zespół profesora Boydena wprowadził jeszcze dodatkową trudność do swoich eksperymentów, poprzez próbę połączenia dwóch populacji liposomów, z których jedna zawierała informację genetyczną pochodzącą od bakterii, a druga DNA z komórki ssaczki, czyli dwóch bardzo odległych ewolucyjnie organizmów żywych.

By udowodnić, że ich technologia działa, naukowcy posłużyli się obwodem genetycznym, w którym geny bakteryjne odpowiadają na stymulację organicznym związkiem – teofiliną, naturalnie występującym w ziarnach kakao i liściach herbaty. Obecność tego związku powoduje wydzielanie z liposomów „bakteryjnych” produkowanego tam innego organicznego związku – doksylicykliny. Doksylicykлина może przeniknąć przez błonę drugiej populacji liposomów – ssaczki – i poprzez wiązanie do specjalnych białek, które łącząc się bezpośrednio z DNA, aktywuje proces, którego zwińczeniem jest produkcja białka zwanego lucyferazą, które generuje światło. Dzięki temu liposomy „ssa-cze” świecą.

„Jeśli pomyślicie o obwodzie bakteryjnym jako kodzie dla programu komputerowego, a o obwodzie ssaczki jako kodzie dla fabryki, to możecie połączyć je w unikalny system hybrydowy” – tłumaczył w portalu ScienceDaily profesor Boyden. Takie systemy mogą być wykorzystane do produkcji leków czy przeciwciał, które do tej pory trudno było uzyskać metodami standardowymi. Ale ta technologia może też rzucić światło na początki życia oraz pomóc w jego poszukiwaniach, także w odległych zakątkach kosmosu.

To, co jeszcze na początku XXI wieku w biologii wydawało się marzeniami szalonych naukowców i bardziej kojarzyło się z *science fiction*, powoli staje się częścią naszego życia. Z jednej strony możemy symulować „życie” w komputerach, z drugiej – „komputery” trafiają do żywych komórek. To może być początek zmiany w myśleniu o tym, jak definiowane jest życie. ©

Autorka jest biologką i popularyzatorką nauki, prowadziła badania w Instytucie Biochemii Maxa Plancka, Europejskim Laboratorium Biologii Molekularnej oraz w Międzynarodowym Instytucie Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie.

Co mówią zwłoki

DR FILIP BOLECHAŁA:

Dla medyka sądowego podstawową wskazówką są tzw. znamiona śmierci: pośmiertne plamy opadowe i stężenie pośmiertne. Ich pojawianie się i zachowanie można rozpatrywać na osi czasu. A to pozwala oszacować czas zgonu.

MICHAŁ KUŹMIŃSKI: Jesteś lekarzem ostatniego kontaktu. Życia już nie ratujesz. Co zatem ratujesz?

DR FILIP BOLECHAŁA: Wiedzę o tym, co działo się z człowiekiem przed śmiercią i dlaczego umarł. Żeby – jeśli śmierć była skutkiem przestępstwa – można było ująć sprawcę, udowodnić mu winę i wymierzyć karę. Ratuję pamięć o zmarłym, żeby jego rodzina nie pozostała z poczuciem, że odszedł w sposób niewyjaśniony, a sprawca uniknął sprawiedliwości.

Kiedy kończy się życie?

Dawniej mówiło się, że gdy „przestało bić czyjeś serce”, dziś sięga się po stwierdzenie śmierci pnia mózgu.

Na gruncie naukowym wszyscy są zgodni co do tego, kiedy i w jakich sytuacjach można kogoś uznać za zmarłego. A wykorzystuje się obie te definicje – rzecz w tym, kiedy. Otóż, gdy ktoś umiera na ulicy i zespołowi ratunkowemu przez określony czas nie udaje się przywrócić samoczynnej akcji serca, osobę tę uznaje się za zmarłą – trudno sobie wyobrazić poddawanie jej jeszcze badaniom pnia mózgu. Jeżeli zaś ktoś umiera w szpitalu, gdzie podtrzymywane są jego funkcje życiowe – oddycha za niego respirator, pompuje się aminy presyjne, podtrzymujące akcję serca, a dializator zastępuje nerki – to gdyby tę osobę odłączyć od aparatury, nie wiedzielibyśmy na pewno, czy faktycznie już nie żyła. Wówczas przydatne są nowe definicje śmierci – za pomocą wielospecjalistycznych badań stwierdza się, że martwy jest pień mózgu tej osoby, odpowiedzialny za podstawowe funkcje życiowe: utrzymanie krążenia i oddychania. A to, że pozornie ona oddycha i funkcjonuje jej krążenie, wynika z interwencji medycznej.

Dla medyka sądowego zaś pewną oznaką śmierci jest pojawianie się tzw. znamion śmierci: pośmiertnych plam opadowych i stężenia pośmiertnego.

Które pomagają zarazem ustalić czasu zgonu.

Tak, bo ich pojawianie się i zachowanie można rozpatrywać na osi czasu. A to pozwala oszacować czas zgonu, rzecz jasna: w pewnym przybliżeniu.

Prześledźmy tę oś czasu. Co się kolejno dzieje ze zwłokami po śmierci i co mówią one medykowi sądowemu?

Zacznijmy od pośmiertnych plam opadowych. Gdy przestaje bić serce, na krew w tętnicach i żyłach działa już tylko jedna siła – grawitacja. A zatem zaczyna się ona w naczyniach krwionośnych przemieszczać do najniższej położonych części ciała i tam gromadzić. Również w naczyniach podskórnych, co sprawia, że skóra w tym miejscu robi się sinoczerwona. W ten sposób tworzą się plamy – z początku drobne placuszki, które później zaczynają się zlewać w większe, aż obejmą całą najniższą położoną część ciała. Jeśli np. ciało leży na plecach, plamy opadowe utworzą się w rejonie karku, grzbietu, tylnych powierzchni kończyn dolnych.

Co bardzo przydaje się śledczym, bo pozwala stwierdzić, czy ktoś po śmierci ruszał zwłoki.

Nie od razu. Z początku krew jest płynna i stabilna, więc jeżeli do kilku godzin po zgonie ktoś odwróciłby ciało, krew się przemieści do nowych najniższych położonych miejsc. Ale z biegiem czasu krew gęstnieje, zaczyna się rozpad czerwonych krwinek i uwalnia się barwnik krwi – hemoglobina. W efekcie krew nie będzie się już tak swobodnie przemieszczać i jeśli wtedy odwróci się ciało, część plam zostanie w miejscu pierwotnym. Przychodzi wreszcie moment, gdy krew wiąże się w naczyniach i nie przemieści się w ogóle, bo będzie zbyt gęsta.

Dlatego plamy opadowe bada się, uciskając skórę w miejscu, gdzie powstają. Jeśli pod wpływem ucisku krew ustąpi, a gdy puścimy palec – szybko wróci na miejsce,

oznacza to fazę początkową. Ale w miarę upływu czasu lekki ucisk nie wystarczy, a jeśli uciśniemy mocniej, to zbledniecie dużo wolniej będzie się na powrót wypełniało krwią. Aż do momentu, w którym nawet bardzo mocne uciskanie nie spowoduje powstania zblednięcia. Dzięki temu można szacować, ile czasu upłynęło od zgonu.

Gdy plamy już się wytworzą i utrwala, to rzeczywiście, jeśli śledczy zauważą podczas oględzin, że ułożenie zwłok nie zgadza się z układem plam, dojdą do wniosku, że ktoś w międzyczasie odwrócił lub przemieścił ciało.

A stężenie pośmiertne?

Mięśnie składają się z włókien tworzących pasma aktywności i miozyny – substancji, które reagując ze sobą, powodują skurcz i rozkurcz mięśnia. Żeby je rozłączyć, a więc spowodować rozkurcz, potrzebny jest składnik energetyczny, zwany w skrócie ATP. Po śmierci organizm przestaje go produkować. I gdy jego pozostałe w ciele zapasy zostaną zużyte, mięśnie się spinają i zamykają w zastanej pozycji. Znow spójrzmy na oś czasu. Najpierw zjawisko to zachodzi w małych mięśniach: twarzy czy palców; potem obejmuje większe grupy mięśniowe: żuchwę, nadgarstki; wreszcie – mięśnie otaczające duże stawy – łokciowe czy barkowe, ograniczając możliwości ruchów w stawie.

Chcąc określić czas zgonu, bada się także przełamanie stężenia pośmiertnego: póki jeszcze gdzieś znajdują się resztki ATP, to jeśli siłą wymusimy ruch w stawie, stężenie będzie się tam w stanie wytworzyć na nowo. Ale po pewnym czasie, jeśli rozerwiemy włókna, nie będą one się już mogły z powrotem połączyć.

Co z temperaturą ciała? Ustalenie czasu zgonu na jej podstawie utrudnia pewnie wpływ otoczenia?

Tak, choć istnieją schematy łączące zależność między temperaturą zewnętrzną



Rembrandt „Lekcja anatomii doktora Tulpa”, 1632 r.

a wychładzaniem się ciała. Ciało jest bryłą podlegającą ogólnym prawom fizyki. I to właśnie fizycy stworzyli modele tempa utraty ciepła przez ciało przy danej temperaturze otoczenia, warstwach odzieży, wilgotności powietrza itd. W efekcie przynajmniej do 24 godzin po śmierci temperatura może nam sporo powiedzieć.

A żeby było jeszcze dokładniej, można wprowadzić przez skórę elektrodę termometru do mięszu wątroby i zmierzyć jej temperaturę – bo ciało wewnątrz będzie się chłodzić bardziej stabilnie niż przy skórze, gdzie bezpośrednio oddziałuje nań temperatura otoczenia.

Na ile to dokładne metody?

Niestety, nie są precyzyjne, a im więcej czasu mija od zgonu, tym gorzej. Powiedzmy od razu: nie da się na gruncie jakichkolwiek aktualnie stosowanych metod określić czasu zgonu z dokładnością typu „między 10.45 a 11.05”. To naukowo niemożliwe.

Gdy przesuniemy się dalej na osi czasu, zaczynają się procesy rozkładu. Do akcji ruszają mikroorganizmy. Gdy

my umieramy, w pewnym sensie życie w nas rozkwita...

Zdecydowanie. I medyk sądowy walczy z czasem, bo w miarę zaawansowania procesy rozkładu zacierają rysunek narządów wewnętrznych, później ich strukturę, i w efekcie bardzo poważnie ograniczają – choć nie niweczą – nasze możliwości badawcze.

Czy procesy rozkładu trzymają się jakichś reguł? Wiadomo, jak będzie wyglądać ciało po tygodniu, miesiącu, roku?

Niestety, nie do końca. Proces gnicia i towarzyszący mu proces autolizy – czyli uwalniania się z komórek enzymów, które zaczynają trawić ciało – jest zupełnie niekontrolowany i lawinowy. W dodatku rozkład zależy od wielu różnych czynników – temperatury i jej zmian, wilgotności powietrza i jej zmian, dostępu powietrza do ciała, ruchu powietrza w tym miejscu, rodzaju podłoża – jedno może kumulować wilgoć, inne ją odprowadzać... Do tego dochodzą działania owadów. Nie udało się do tej pory w żadnych badaniach wykazać, że jakieś związane z rozkładem zjawisko po-

jawia się w, powiedzmy, 6 czy 18 godzin po zgonie. Spotkałem się z przypadkiem, gdzie ciało od pasa w górę było kompletnie rozłożone, tak że tkanki miękkie odchodziły od kości, zaś dolna część ciała wyglądała na prawie nietkniętą.

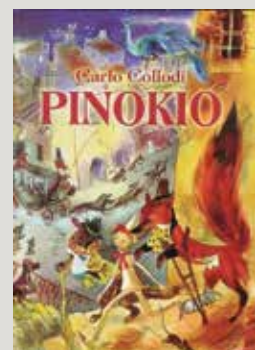
Jak to możliwe?

Ta osoba zmarła z przyczyn naturalnych, w lesie. Górna część ciała, która została objęta zaawansowanym gniciem, leżała poza ścieżką, na mszystym podłożu utrzymującym wilgoć. Dolna zaś na ubitej, suchej ścieżce. To najlepszy przykład, że na podstawie stopnia gnicia nie da się ustalić, ile czasu upłynęło od zgonu. Przecież nogi tej osoby nie zmarły później.

Wspomniałeś, że na naszej osi czasu pojawiają się goście z zewnątrz.

Czy medyk sądowy musi być po trosze entomologiem?

Entomologia dostarcza bardzo obiecujących i bardzo naukowych metod oceny czasu od zgonu. Ciałem zaczynają się interesować rozmaite owady. Żerują na nim, składają w nim jaja, z których wylęgają się żywiące się nim larwy. Wiele nam tu



Z dziejów ożywiania lalek

ODC. 2

Metodologia ożywiania Pinokia była znacznie bardziej wyrafinowana niż dzieje Alojzego (zob. ramka na str. 13). Przede wszystkim zrezygnowano z walki o ludzki wygląd i Pinokio do końca utrzymał formę prostego, drewnianego pajaca. Opiekunowie projektu postawili na indukowanie autentycznych przeżyć egzystencjalnych. Pinokio wykazywał początkowo szcztątkową kontrolę motoryczną, kopiując np. tuż po swoim powstaniu Dżepetta – nie złośliwie, lecz odruchowo. Stopniowo wykształcało się u niego coraz lepsze opanowanie impulsów, niechybny znak rozwoju kory przedczołowej. Punktem przelomowym w procesie wyłaniania się jego podmiotowości był bez wątpienia upokarzający epizod, gdy noga utknęła mu w drzwiach i musiał w nieskończoność czekać na pomoc ślimaka. Dopiero poczucie bezwolności uświadomiło mu możliwość istnienia autentycznej woli. Co ciekawe, w ostatnim rozdziale w tóżku Pinokia budzi się pewien „wesoty i inteligentny chłopczyk o włosach kasztanowych”, a na krześle leży bezwładny drewniany pajac. Pozostaje tajemnicą, dlaczego przerwano tak dobrze rokujący projekt i kim właściwie był chłopczyk, który obudził się w tóżku Pinokia. ©

■ Carlo Collodi „Pinokio”, przeł. Z. Jachimecka, wiele wydań

→ mówią preferencje kulinarne tych owadów: niektóre gatunki much wolą ciało w miarę świeże, innym odpowiada żer mocniej rozłożony. Np. żuki przychodzą niemal na sam koniec. A zatem, gdy znamy cykl rozwojowy tych owadów, to obserwowanie, które z nich aktualnie kolonizują ciało i w jakim stadium są ich jaja czy larwy – może dostarczyć informacji o czasie zgonu. Rzecz jasna, znów nieprecyzyjnie. Bo żeby rozkład był na tyle zaawansowany, by ciało skolonizowały owady, musi minąć około dwóch tygodni. Ale możemy stwierdzić, czy minęły dwa tygodnie, czy np. miesiąc.

Oczywiście wymaga to znajomości ekosystemu danego regionu, także w kontekście pory roku. Inne owady obserwować będziemy na wiosnę, inne zimą. Entomologia dostarcza nam grubych podręczników wiedzy.

Obok czasu zgonu medyk sądowy szuka też wskazówek co do jego przyczyny. Często to, co z pozoru wyglądało na śmierć z przyczyn naturalnych, na stole sekcyjnym okazuje się zbrodnią?

Przynajmniej kilka razy w roku. I niestety śledczy zbyt łatwo przyjmują przedzałożenia – jeżeli ekipa oględzinowa zakłada, że ma do czynienia np. z samobójstwem, automatycznie przekłada się to na jakość oględzin miejsca ujawnienia zwłok. A gdy później, przy sekcji, okaże się, że jednak była to zbrodnia, nie da się ich już powtórzyć.

Utkwił mi w pamięci jeden przypadek. W pustostanie na krakowskim Podgórzu znaleziono zwłoki bezdomnego, miejscowego zbieracza złomu. Zewnętrznie nie stwierdzono ewidentnych obrażeń, na miejscu było też ciemno, a ekipa nie miała specjalistycznego oświetlenia. Dopiero gdy na stole sekcyjnym ogoliliśmy bardzo obfity zarost zmarłego, okazało się, że na szyi ma obrażenia typowe dla duszenia – plackowate podbiegnięcia krwawe, odpowiadające opuszkom sprawcy. Po specjalistycznym otwarciu szyi potwierdziliśmy, że człowiek ten z całą pewnością został uduszony. Później okazało się, że zabójcą był inny bezdomny, również zbieracz złomu.

Na sali sekcyjnej krakowskiego Zakładu Medycyny Sądowej nie widziałem znanego z seriali w rodzaju „CSI” przyrzędu do oglądania utrwalonego na siatkówce oka ofiary wizerunku mordercy... Co o sprawcy potrafią powiedzieć zwłoki?

„CSI” to bardzo przyjemny serial i przedstawia wiele metod faktycznie używanych w medycynie sądowej lub pokrewnych jej naukach kryminalistycznych. Ale, jak to w tego typu produkcjach, chodzi w nim o poruszenie widza, poprzez pokazanie rzeczy, które wydają się niemożliwe do odkrycia. Dużo tam więc fikcji, rzeczy niemożliwych i nierealnych – jak ten obraz na siatkówce oka – albo przerysowywania możliwości naszych metod.

Jednak ciało oraz miejsce, gdzie zostało znalezione, mogą wiele powiedzieć o tym, jak przebiegał czyn, co się działo przed i po nim. A to się przekłada na wiedzę o tym, co łączyło sprawcę z ofiarą i z jakich pobudek działał sprawca. Możliwe jest opisanie *modus operandi* – sposobu działania sprawcy, w którym odzwierciedlają się cechy charakteru, osobowość, temperament, doświadczenie życiowe. Ślady, które znajdujemy na ciele, są punktem wyjścia do odpowiedzi na pytanie, kto mógł być sprawcą i dlaczego to zrobił.

Zawsze się udaje?

Medyk sądowy ma o tyle łatwiej w porównaniu z lekarzem klinicznym, że nie musi się martwić, czy pacjent mu umrze, i nie ogranicza go czas – pacjent na stole operacyjnym nie może leżeć w nieskończoność, a my możemy badać ciało tak długo, jak to potrzebne.

I nie musicie się martwić o poskładanie go z powrotem...

Naturalnie ciała oddajemy w należytych stanie. A odpowiadając na pytanie: pewne typy zgonów sprawiają w badaniu trudności. Nie mogę mówić o wszystkim, żeby nie układać instruktażu dla przyszłych zabójców, ale ogólnie rzecz biorąc, np. grupa uduszeń gwałtownych bywa trudnym wyzwaniem. Niemniej nie ma takiej sprawy, w której, jeśli się dobrze przyłożyć, to koniec końców nie doprowadzi się do tryumfu sprawiedliwości. Choćby spóźnionego.

Ze względu na procesy rozkładu medyk sądowy walczy z czasem, ale istnieje pojęcie tzw. pośmiertnych przemian utrwalaających. Co ono znaczy?

Niekiedy etap gnicia, ze względu na warunki, w których znajduje się ciało, obiera mniej typową ścieżkę i zamiast do rozpląnięcia się ciała, prowadzi do zachowania niektórych jego struktur, nawet na bardzo długo. Np. w warunkach suchych i przy dostępie powietrza może dojść do mumifikacji. Mówiąc obrazowo



ULRICH BAUMGARTEN / GETTY IMAGES

Zwłoki mężczyzny w chłodni Instytutu Medycyny Sądowej przy Uniwersytecie w Bonn

wo – do wysuszenia zwłok. Na wiele lat zachowuje się struktura narządowa oraz powłoki skórne, i można w nich szukać śladów chorób czy urazów. Tak się np. stało ze szczątkami generała Sikorskiego, które spoczywały w sarkofagu. Pozwoliło to nam wiele wyczytać z jego ciała po kilkudziesięciu latach. Nie znaleźliśmy na nim żadnych obrażeń, które nie byłyby typowe dla ofiar katastrof lotniczych. Żadnych zmian, które by wskazywały na zastrzelenie, duszenie itp.

Z kolei w środowiskach wilgotnych i bez dostępu powietrza zachodzi tzw. przemiana tłuszczowo-woskowa, gdy tłuszcze przekształcają się w woski. Nie jest ona szczególnie wdzięcznym polem badawczym, ale i tak pozwala wiele zobaczyć. Zdarzają się też rzadkie przypadki przemian zachodzących w torfowiskach, czyli w warunkach kwaśnych. Mogą utrwalić ciało, choć demineralizują kości, które w efekcie stają się elastyczne. Z kolei w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury, ale nie nazbyt wysokiej, żeby nie doszło do spalania, może dojść do tzw. miniaturyzacji termicznej.

My, laicy, powiedzielibyśmy: uwęźdzenia?

Mniej więcej. Utrwalają się wtedy obrysy i kształty narządów, choć stają się one znacznie mniejsze niż fizjologicznie. Wreszcie bywało, że ciała przetrwały tysiące lat w lodzie.

Nie da się na gruncie jakichkolwiek aktualnie stosowanych metod określić czasu zgonu z dokładnością typu „między 10.45 a 11.05”. To naukowo niemożliwe.

Da się przyzwyczaić do pracy z ciałem w zaawansowanym stanie rozkładu?

Z pomocą przychodzi nam fizjologia. Gdy długo przebywa się w atmosferze intensywnego zapachu, po pewnym czasie przestaje się go odczuwać. Dla mnie najuciążliwsze są przemiany tłuszczowo-woskowe. Zdarzało mi się aż cofnąć od drzwi sali sekcyjnej, gdzie leżały takie zwłoki.

Czasem śledczy znajdują szczątki, ledwie fragment szkieletu. Czy oś czasu, o której rozmawiamy, ma kres?

Medyk sądowy szuka w tym, czym dysponuje. Są ślady przemocy, które zostają też na kościach. Jesteśmy w stanie wskazać

złamania, ślady działania narzędzia, które się odwzorowało na powierzchni kości, postrzału. Mając do dyspozycji tylko kości, wciąż da się prowadzić badania genetyczne, a nawet toksykologiczne.

Jak trwały jest nasz materiał genetyczny?

W kościach i zębach – bardzo. Oznaczenie profilu genetycznego może się udać nawet po kilkudziesięciu latach.

Zdarza się, że ciało uparcie milczy? Że docierasz do granic możliwości?

Oczywiście, taka granica istnieje. Zwłoki uparcie milczą przy pewnych typach śmierci, ale na szczęście prawie wszystkie wiążą się z chorobami, nie z zabójstwami. Niekiedy mimo sekcji oraz histopatologicznej analizy wycinków narządów – a więc badań mikroskopowych, toksykologicznych itd. – nie widzimy przyczyny zgonu. Bywa tak np. u osób z nieuchwytnymi morfologicznie zmianami w sercu, które skutkują gwałtownymi zaburzeniami jego pracy. Miewamy czasem do czynienia ze zgonami w wyniku ataków padaczkowych, które też przeważnie nie zostawiają charakterystycznego śladu. Zdarzają się tzw. zgoni łóżeczkowe niemowląt. Istnieje wiele teorii na temat ich przyczyn, ale żadna nie tłumaczy ich kompleksowo.

Co wtedy?

Idziemy drogą wykluczenia. Upewniamy się, że zgon nie nastąpił z wielu innych przyczyn. W przypadkach, gdy zwłoki, nad którymi usilnie pracujemy, konsekwentnie milczą, praktycznie zawsze możemy wykluczyć przestępstwo.

À propos, istnieje zbrodnia doskonała?

Zdecydowanie nie. Każda ma słabe punkty. Owszem, gdy dostaniemy ciało w bardzo zaawansowanym rozkładzie, to gdy np. urazy obejmowały wyłącznie tkanki miękkie, które już się nam rozpadają w rękach – możemy nie być w stanie wykazać zbrodniczej przyczyny śmierci. Medycyna sądowa też ma swoje granice – dlatego jest tylko jednym z narzędzi śledczych. Skuteczne śledztwo opiera się na korzystaniu z wiedzy naukowej, ale też na mozolnej pracy śledczych, którzy wykorzystują choćby słabość ludzkiej psychiki – bo ta pozostawia luki w nawet najlepiej zakamufłowanej zbrodni. Śledztwo bazuje też na postępie technologicznym: dziś wykorzystuje się monitoring czy logowania telefonów komórkowych, o czym jeszcze →



Z dziejów ożywiania błota

ODC. 3

W żydowskiej dzielnicy Pragi krąży plotka o Golemie: glinianym człowieku, sztucznie ożywianym poprzez „magiczne słowo liczebne” wypowiedziane przez pobożnego rabina, który postanowił odtworzyć akt stwórcy Boga. Wszyscy twierdzą, że go widzieli: jego nienaturalnie bladą, martwą twarz, wyłaniającą się nagle gdzieś spomiędzy kramów. Ktokolwiek jednak go ujrzał, drętwiał i nie był w stanie wyrzec słowa, dopóki postać Golema nie zniknęła w brudnej bramie. Bohatera opowieści Meyrinka fascynuje to, jak kruche jest życie, podtrzymywane przy swoim istnieniu tylko przez słowo, przez najlżejszy strzep sensu odróżniający coś, co nieożywione, od czegoś, co żyje. „I jak ów Golem drętwiał natychmiast w posąg gliniany w chwili, gdy tajemniczą sylabę jego życia cofał swymi ustami zaklinacz, tak niewątpliwie, sądzą, tracą swój byt duchowy wszyscy ci ludzie, skoro tylko w mózgu u jednego zagasto jakiegokolwiek nikłe wyobrażenie, podrzędna dążność, może zbyteczne przyzwyczajenie, u innego zaś tylko głuche oczekiwanie jakiejś rzeczy całkowicie niezrozumiałej”. ©

■ Gustav Meyrink „Golem”, przeł. A. Lange, wiele wydań

→ stosunkowo niedawno nikomu się nie śniło. Nawet jeśli więc zwłoki nie powiedzą nic medykowi sądowemu, powiedzą coś innemu ekspertowi pracującemu przy śledztwie.

Na sali sekcyjnej najbardziej chyba zdumiewa prostota narzędzi: zwykłe noże, chochelki, plastikowe kuchenne pojemniczki, piły, nożyczki. Co jest ważniejsze – technologia czy intuicja?

Mamy też, rzecz jasna, do dyspozycji bardziej zaawansowane narzędzia: specjalne szkła powiększające, igły z przewodnikami, neurochirurgiczne przyrządy do otwierania kanału kręgowego, tomograf, którego obraz możemy później złożyć w trójwymiarowy model... Choć rzeczywiście w podstawowym zakresie do wykonania sekcji zwłok nie potrzebujemy szczególnie skomplikowanych narzędzi. Nie jesteśmy zamknięci na postęp techniczny, czego przykładem są np. genetyka czy toksykologia sądowa. Ale ważniejszy jest bez wątpienia umysł. Żadna technologia sama w sobie nie rozwiąże problemu, a co więcej – zła interpretacja wyników badań dostarczonych przez technologię może prowadzić na manowce. Na końcu zawsze jest człowiek: jego wiedza, kreatywność i otwartość.

Metody określania czasu zgonu nie zmieniły się niemal od zarania medycyny sądowej. Nowoczesna nauka i technika nic tu nie wskórają?

Od dziesięcioleci prowadzi się badania mające dostarczyć nowych, bardziej precyzyjnych metod. Niestety, ich wyniki, jeżeli nawet do czegoś prowadzą – a rzadko się tak dzieje – to praktycznie zamykają się w ścianach laboratorium. To znaczy: pokazują coś w warunkach kontrolowanych, ale kompletnie nie da się ich użyć na miejscu oględzin zwłok.

A jakie możliwości się bada?

Na warsztat brano np. zmiany stężenia jonów potasu i sodu w płynie gałki oka w miarę upływu czasu od zgonu. Stwierdzono pewne korelacje, ale nijak nie da się tego badać w terenie. Próbowano też mierzyć markery substancji rozpadających się w organizmie. Problem w tym, że po śmierci z naszych komórek zaczyna się uwalniać dosłownie wszystko – i bardzo trudno byłoby znaleźć marker, który zachowywałby się w sposób stabilny, np. którego zmiana stężenia przebiegałaby w sposób liniowy.

Badania na zwłokach nie są łatwe, bo budzą społeczny opór, dostęp do zwłok jest dość ograniczony, a już na pewno problemem jest taki ich dobór do badań, żeby mieć kontrolę nad tym, co działo się z nimi przed śmiercią: np. zmarłych tylko w szpitalu i o określonym czasie. Nie sposób stworzyć kontrolowane warunki do badań, a żadna komisja bioetyczna w Europie nie zgodziłaby się na badania w tzw. „fermach zwłok”, gdzie w sposób bardzo kompleksowy obserwowano by zachowanie się ciała po śmierci.

To prawda, że robią to Amerykanie?

Robią – nie na szeroką skalę, ale w kilku miejscach udało się nieco takich badań przeprowadzić.

Tak boimy się trupów?

Śmierć to temat tabu, a mimo wszystko od zawsze fascynuje ludzkość. Zwłoki odstręczają, ale też magnetycznie przyciągają uwagę. Zwłaszcza jeśli śmierć wiąże się z przestępstwem. Jako cywilizowani ludzie odżegnujemy się od niego, uważamy je za zło, ale to zło nas fascynuje. Gdyby nie to, nie sięgalibyśmy po kryminały. Trup, którego każdy się boi, z drugiej strony nie daje spokoju. Nie chcemy go dotknąć, ale chcemy się o nim jak najwięcej dowiedzieć.

Może się w ten sposób mierzymy z nieuchronnością własnej śmierci? Próbujemy się z nią choć trochę oswoić, chcemy poznać jej arkana, żeby nieco uśmierzyć lęk przed nieznanym?

Kontakt ze śmiercią, który mam w mojej pracy, daje mi po pierwsze szacunek do życia, a po drugie świadomość, jakie to ważne, żeby się cieszyć życiem, póki trwa. Najlepszy sposób osvajania się ze śmiercią polega na tym, żeby wiedząc, iż ona nieuchronnie nastąpi, starać się o lepsze życie tu i teraz. Żeby nie dać się rzucić w wir ciężkiego konfliktu z sobą i z innymi. Szkoda życia na to. ©

Rozmawiał MICHAŁ KUŹMIŃSKI



MICHAŁ KUŹMIŃSKI

DR FILIP BOLECHAŁA jest specjalistą medycyny sądowej, pracownikiem Zakładu Medycyny Sądowej Collegium Medicum UJ. Orzekał w wielu głośnych sprawach, współpracuje m.in. z policjantami z tzw. Archiwum X, badającymi niewyjaśnione zbrodnie z przeszłości.

To straszne słowo na „ś”

ŁUKASZ JACH

Wszyscy boimy się swojej śmiertelności, tego, że nas nie będzie, samego umierania. Gdy poszukujemy pocieszenia, na ratunek przychodzi choćby religia, ale równie chętnie kierujemy się ku wartościom narodowym, pieniądзом czy... nauce.

Sylogizm to rozumowanie, w przypadku którego z dwóch prawdziwych przesłanek wyprowadzamy niezawodnie prawdziwy wniosek. Pierwszy sylogizm opisał Arystoteles, a jeden z najsłynniejszych przykładów brzmi następująco:

- Przesłanka 1: każdy człowiek jest śmiertelny.
- Przesłanka 2: Sokrates jest człowiekiem.
- Wniosek: Sokrates jest śmiertelny.

Tak, Sokrates jest śmiertelny, ponieważ jest człowiekiem. Ale przecież człowiekiem jestem także ja i ty, czytelniku, a zatem... „z niezawodną pewnością” my także kiedyś umrzemy. Nie myślimy o tym na co dzień. Co jednak dzieje się w sytuacji, gdy poczucie śmiertelności wychyli się choćby na chwilę z „komórki pod schodami”, którą zwykle zajmuje w ludzkim umyśle? Inaczej mówiąc, jak życie reaguje na informację o swojej skończoności? Kwestie te od dawna znajdują odzwierciedlenie w psychologicznych badaniach oraz teoriach.

Lęk przed śmiercią, czyli właściwie co?

Na pozór sprawa wydaje się prosta – boimy się śmierci, ponieważ oznacza ona koniec życia, a więc tego, co znane, oswojo-

ne i umożliwiające realizację naszych celów, rozumianych tak na sposób biologiczny (dający się mniej więcej sprowadzić do treści tytułu jednego z utworów grupy King Crimson: „Sex, Sleep, Eat, Drink, Dream”), jak i bardziej humanistyczny (zawarty z grubsza w tajemniczym słowie „samorealizacja”).

Jak się jednak okazuje, śmierci można bać się na różne sposoby, o czym świadczy choćby liczba wymiarów Skali Lęku Przed Śmiercią i Umieraniem autorstwa Randolpha Ochsmanna. Pod etykietą ogólnego lęku przed śmiercią kryją się w tym przypadku lęki przed spotkaniem ze śmiercią, przed śmiertelnością, przed końcem swego życia, przed fizycznym zniszczeniem, przed życiem po śmierci i przed procesem umierania. Oznacza to, że różne osoby mogą bać się śmierci w podobnym stopniu, jednak nieco inaczej.

Przeprowadzone przez Pawła Pabicha badania na polskich studentach wykazały, że czynnikiem zdolnym redukować prawie wszystkie wymienione formy lęku natycznego może być wysoki poziom nadziei podstawowej, czyli przeświadczenia o tym, że świat jest uporządkowany i zasadniczo przychylny ludziom. Nadzieja podstawowa nie miała jednak związku z lękiem przed samym procesem umierania, co sugeruje, że osoby dostrzegające w świecie więcej ładu i sensu wciąż niekoniecznie lepiej radzą sobie z oba-

wami przed długotrwałym czy bolesnym procesem umierania.

Magdalena Żemojtel-Piotrowska i Jarosław Piotrowski wykazali natomiast, że ogólny lęk przed śmiercią wiąże się z silniejszymi tendencjami do oceniania jej jako „brudnej”, „ciemnej” i „okrutnej”. Co ciekawe, badacze twierdzą również, że własna śmierć z różnych przyczyn może stanowić nie tylko źródło lęku, ale również... fascynacji, której poziom rośnie wraz ze skłonnością do oceniania śmierci jako „czystej” i „litościwej”, ale, co zastanawiające, również „gwałtownej”. Dla osób zafascynowanych śmiercią prawdopodobnie bardziej pociągająca bywa więc jej szybka i niespodziewana wersja.

Pieniądze i nauka jako źródło otuchy

Zgodnie z teorią opanowania trwogi (*terror management theory*, TMT) u ludzi uświadamiających sobie własną śmiertelność pojawia się lęk egzystencjalny, który można obniżyć poprzez działania zgodne z przekonaniami światopoglądowymi typowymi dla danej kultury. Tym, co zmniejsza lęk, jest np. obietnica nieśmiertelności jednostki w sposób rzeczywisty (np. zbawienie duszy) lub symboliczny (np. upamiętnienie w pamięci pokoleń). Osoby konfrontujące się

→ z własną śmiertelnością nie tylko wykorzystują tego typu wyobrażenia jako bufor chroniący przed lękiem, ale również podejmują działania w celu „zabezpieczenia” swoich przekonań.

Klasykne już badania Jeffa Greenberga i współpracowników wykazały, że osoby, u których wzbudzano myślenie o śmierci, formułowały bardziej przychylnie opinie względem członków własnej grupy wyznaniowej i większą liczbę negatywnych ustosunkowań oraz stereotypowych opinii względem członków odmiennej grupy wyznaniowej. Amerykanie konfrontowani z własną śmiertelnością mniej chętnie zgadzali się z osobami wygłaszającymi negatywne opinie na temat systemu politycznego USA, zaś wyższy poziom sympatii do osób wyrażających podziw i szacunek dla ich kraju. Badania Abrama Rosenblatta i jego zespołu wykazały natomiast, że osoby, u których wzbudzone świadomość własnej śmierci, chętniej zgadzają się na restrykcyjne karanie wykroczeń względem powszechnie uznawanych norm moralnych.

Myśląc o kontekstach kulturowych, które mogłyby służyć jako wsparcie w sytuacji konfrontacji ze śmiertelnością, w pierwszej chwili myślimy zwykle o swojej religii czy grupie etnicznej; a być może także o doktrynach politycznych lub społecznych. Okazuje się jednak, że w świecie hołdującym triadzie wartości „*money, image & fame*”, przed lękiem egzystencjalnym chronić mogą również odwołania do wartości materialnych. Tim Kasser i Kennon M. Sheldon zauważyli, że badani przez nich młodzi Amerykanie, gdy myśleli o własnej śmierci, podwyższają oczekiwania względem uzyskiwanych w przyszłości zarobków oraz możliwości wydawania pieniędzy na wartościowe przedmioty i przyjemne doznania. Na gruncie polskim liczne badania tego typu przeprowadziła Agata Gąsiorowska. Wykazała między innymi, że konfrontowani z własną śmiertelnością badani nie tylko mieli wyższe oczekiwania zarobkowe, ale również silniej pożąдали pieniędzy (czego wskaźnikiem było przeszacowywanie wiel-

Osoby o niskim poziomie religijności, u których wywoływano świadomość własnej śmiertelności, wyrażały później bardziej przychylnie opinie na temat nauki.

kości monet) i trudniej im było oczekiwać na odroczone w czasie nagrody. W książce „Psychologiczne znaczenie pieniędzy” opisano badanie, w którym niższy poziomu lęku przed śmiercią związany był z fantazjowaniem na temat wydawania pieniędzy lub, co ciekawe, ich oszczędzania.

Okazuje się, że nie tylko wartości materialne mogą we współczesnym świecie chronić przed lękiem towarzyszącym świadomości własnej śmiertelności. Miguel Farias i współpracownicy badali kwestię zwracania się w sytuacji egzystencjalnej trwogi ku naukowym wyjaśnieniom rzeczywistości. Zauważyli oni, że osoby o niskim poziomie religijności, u których indukowano myślenie o własnej śmiertelności, wykazywały następnie tendencję do bardziej przychylnych opinii na temat nauki. Wyniki badań wskazywały zatem na występowanie ogólnej potrzeby „przyłgnięcia” do któregoś z całościowych systemów oferujących opisy i wyjaśnienia rzeczywistości. Potrzeba ta może być realizowana w kontekście religijnym, patriotycznym, ekonomicznym lub naukowym. Lista ta nie jest jednak zamknięta i inne zagnieżdżone w kulturze systemy mogą zapewne pełnić podobne funkcje.

Warto dodać, w jaki właściwie sposób wzbudza się lęk przed śmiercią przy przeprowadzaniu

tego typu badań. Wykorzystywane bodźce nie muszą być wcale drastyczne i tchnąć sugestywnym realizmem, jak choćby w średniowiecznych wizualizacjach „tańca śmierci” – choć i takie się zdarzają. Zwykle prosi się po prostu badanych o udzielenie odpowiedzi na pytania o to, co stanie się z nimi po śmierci, albo jakie emocje towarzyszą ich rozmyślaniom na ten temat. W grupach kontrolnych wykorzystuje się natomiast np. metody wzbudzające lęk przed zabiegiem dentystycznym – również kojarzącym się z bólem i brakiem kontroli nad sytuacją, ale niewywołującym trwogi egzystencjalnej.

Faust i Mefistofeles współcześnie

Zdaniem brytyjskiego socjologa Anthony’ego Giddensa współczesny człowiek traktuje życie jak osobisty refleksyjny projekt, zaś swoje ciało jako narzędzie pozwalające mu tenże projekt urzeczywistnić. Z tej perspektywy śmierć może być spostrzegana jako osiągnięcie przez ciało-narzędzie stanu minimalnej funkcjonalności, czy też po prostu sytuacja, w której jednostka traci nad nim jakąkolwiek kontrolę. Brak kontroli nad tym, co dzieje się z człowiekiem i jego ciałem po śmierci, to zresztą kolejny temat, który ludzkość stara się oswoić od niepamiętnych czasów. Poszukiwany przez alchemików kamień filozoficzny oprócz mocy przemiany metali nieszlachetnych w złoto miał być także źródłem nieśmiertelności, a wieczne życie – po spełnieniu pewnych warunków, zapisanych drobnym druczkiem w rogu umowy – było jednym z punktów ofert składanych przez diabła Faustowi i mistrzowi Twardowskiemu w zamian za ich dusze.

Obecnie nie tylko wielcy magowie i alchemicy mogą podejmować próby uzyskania nieśmiertelności lub kontroli nad tym, co będzie się z nimi działo po śmierci. Osobom snującym marzenia o wiecznym życiu z pomocą przychodzą rozwiązania oparte na odkryciach i koncepcjach naukowych. Wydaw-

szy niebagatelną sumę, można na przykład poddać się zabiegowi krioprezewacji, polegającemu na spróbowaniu ciała do temperatury, w której ustają biochemiczne reakcje komórkowe. Ludzie wyrażający chęć wprowadzenia się w taki stan mają nadzieję, że za jakiś czas będzie możliwe ich „wybudzenie” w świecie, w którym ludzkości uda się znaleźć lekarstwa na aktualnie nieuleczalne choroby lub rozgryźć zagadkę nieśmiertelności. Nadzieja ta może z różnych przyczyn okazać się jednak trudna do zrealizowania, co z psychologicznego punktu widzenia nie musi wcale oznaczać braku jakichkolwiek korzyści w relacji do ponoszonych kosztów materialnych. Na określenie stanu nie-życia w temperaturze kilkuset stopni poniżej zera nie używa się już jednak budzącego grozę słowa zaczynającego się na „s”, lecz naukowo brzmiący wyraz „kriostaza”.

A co, jeśli nieśmiertelność dałoby się osiągnąć bez konieczności zachowania ciała, w którym wiele elementów może ulec uszkodzeniu w trakcie reanimacji bądź pozostawać niemożliwymi do naprawienia pomimo mijających dekad? Wizja utrwalenia w nienaruszonym stanie samego tylko mózgu ludzkiego stanowi podstawę działania The Brain Preservation Foundation. Jej prezes i współzałożyciel Kenneth Hayworth wychodzi z założenia, że ludzka tożsamość, wiedza oraz wspomnienia mają swoje fizyczne podłoże w konkretnych układach neuronalnych, a w związku z czym stworzenie wiernego odwzorowania takiego układu (model taki nazywany jest konektomem) pozwoliłoby odtworzyć również zakodowany w tymże układzie umysł.

W publikowanych przez fundację materiałach (www.brainpreservation.org) mówi się m.in. o możliwości „wgrывania” (*uploading*) mentalnej zawartości mózgu w układy elektroniczne, co otworzyłoby drogę ku nieśmiertelności w oderwaniu od aspektu biologicznego. Zgodnie z postulatami Giddensa jednostka będzie mogła realizować swój indywidualny projekt, tyle że bez konieczności polegania na z natury nietrwałym i niedoskonałym zbiorze różnego rodzaju tkanek.

Sposobów na przywracanie poczucia kontroli poprzez przynajmniej częściowe opanowywanie zjawisk i procesów towarzyszących śmierci jest oczywiście znacznie więcej. Formą kontroli nad śmiercią jest również zadecydowanie o tym, jak uczynić doczesne szczątki użytecznymi również wtedy, gdy przestaną być już potrzebne właścicielowi. Lektura książki „Sztyniak” amerykańskiej dziennikarki Mary Roach pokazuje, że lista bynajmniej nie kończy się na oddaniu organów do przeszczepu. Stąd biorą się rozmaite kreatywne sposoby, na jakie można dziś postępować z ludzkimi zwłokami. Za odpowiednie pieniądze można dziś zlecić: przekształcenie szczątków własnych lub innej osoby w diament, złożenie prochów w biodegradowalnej urnie, z której po jakimś czasie wyrosnie drzewo, czy zamówienie trumny ze specjalnym alarmem, włączającym się w sytuacji omyłkowego pochowania wciąż żywej osoby.

Zarówno takie symboliczne formy uniesmiertelnienia, jak i postulowane możliwości osiągnięcia nieśmiertelności np. w formie pakietu danych odczytanych z konektomu mogą dodawać otuchy i umożliwiać spostrzeganie śmierci jako czegoś nieco mniej pewnego i nieuchronnego niż dotychczas. Osłabienie trudnego do zniesienia poczucia śmiertelności wciąż nie oznacza jednak dla człowieka wolności od spraw tyleż wzbudzących lęk, co trudnych do wyeliminowania. Do rzeczy nieuniknionych, obok śmierci, należą także również podatki...

© ŁUKASZ JACH

Autor jest doktorem psychologii, pracownikiem US w Katowicach. Zajmuje się psychologią ewolucyjną i ekonomiczną oraz wizerunkiem nauki we współczesnym świecie.



Z dziejów ożywiania lalek

ODC. 3

Philip K. Dick idzie dalej od Collodiego i Brzechwy (zob. ramki na str. 13 i 22), opisując androida do złudzenia przypominającego człowieka, wyposażonego ponadto w wysoce zaawansowany elektroniczny mózg. Konstruktorzy androidów wciąż mają jednak problem z programowaniem ich umysłów: aby były one dokładnie na tyle świadome, ile trzeba, ale nie więcej.

W filmie Ridleya Scotta, na motywach książki Dicka, wątek ten został poważnie rozbudowany. Genialny konstruktor dr Eldon Tyrell, prezes firmy produkującej androidy, wpada na pomysł: kluczem do tożsamości jest pamięć. „Zaczelśmy zauważać, że u androidów wykształcają się dziwne obsesje. Cóż, są niedoświadczeni emocjonalnie. Mają zaledwie kilka lat na zebranie doświadczeń, które pan i ja traktujemy jako coś oczywistego. Gdy otrzymają od nas dar przeszłości, ich emocje zostaną obudowane jak gdyby poduszką bezpieczeństwa. Znacznie łatwiej ich wtedy kontrolować”. U eksperymentalnych androidów wyposażonych w fikcyjne wspomnienia wystąpił jednak poważny defekt: z czasem zaczynały domyślać się, że nie są ludźmi. ©

■ Philip K. Dick „Czy androidy marzą o elektrycznych owcach?”, przeł. S. Kędziński, wiele wydań; „Blade Runner”, reż. Ridley Scott, USA 1982