

KAT ARNEY

Zbuntowana komórka

**Rak,
ewolucja
i tajniki życia**

Przełożył PIOTR KRÓLAK

MARGINESY

Rebel Cell

COPYRIGHT © Kat Arney 2020

COPYRIGHT © FOR THE TRANSLATION BY Piotr Królak

COPYRIGHT © FOR THE POLISH EDITION BY Wydawnictwo Marginesy,
Warszawa 2022

Za życie, miłość i stratę

*Kołując coraz to szerszą spiralą,
Sokół przestaje słyszeć sokolnika;
Wszystko w rozpadzie, w odśrodkowym wirze;
Czysta anarchia szaleje nad światem.*

W.B. Yeats (przeł. Stanisław Barańczak)

1

ZACZNIJMY OD SAMEGO POCZĄTKU

Na początek wystarczy jedna.

Mimo że jakieś 3,8 miliarda lat temu w pierwotnej zupie mogło się unosić wiele innych tworów, to LUCA* była komórką, do której uśmiechnęło się szczęście. Powstała w gorącym, ciemnym i dusznym środowisku, które otaczało znajdujące się w morskich głębinach kominie geotermalne, i była prostą, przypominającą bakterię komórką, której udało się zgromadzić wszystkie części niezbędne do samodzielnego życia: zestaw molekularnej maszyneryi i instrukcji genetycznych pozwalających na generowanie energii, utrzymywanie się przy życiu i co najważniejsze – replikację.

Jedna komórka stawała się dwiema, dwie – czterema, cztery – osmioma i tak dalej, i tak dalej. Minęły miliardy lat i oto jesteśmy. Każda komórka w twoim ciele, każda komórka drzewa za twoim oknem, każda komórka szczygła śpiewającego na gałęzi, a nawet kolonii bakterii czających się w twojej muszli klozetowej za sprawą nieprzerwanego łańcucha podziałów komórkowych wywodzi się od LUCA. Ten

* LUCA (Last Universal Common Ancestor – ostatni wspólny przodek) to nazwa nadana najnowszemu organizmowi, z którego wyewoluowało całe życie na Ziemi (choć prawie cztery miliardy lat niewątpliwie naginają określenie „najnowszy” do granic możliwości).

proces replikacji komórek jest podstawowym silnikiem zapewniającym obfitość życia na Ziemi. To on zmienia żołądzie w dęby, ciasto z dodatkiem drożdży w bochenek puszystego chleba, zapłodnione jajeczko w dziecko i komórkę rakową w śmiertelnego guza.

PRADAWNY I WSPÓŁCZESNY

Gdy człowiek dowiaduje się, że ma raka, jednym z jego pierwszych pytań jest często: dlaczego ja? Ja jednak chciałabym zadać pytanie: dlaczego my?

Śledząc nagłówki prasowe ogłaszające wciąż rosnące liczby zachorowań na raka, łatwo wpaść w pułapkę myślenia o nowotworach jako o współczesnej chorobie spowodowanej niezdrowym, nowoczesnym trybem życia. Kiedy jednak weźmiemy pod uwagę, że pojawienie się raka jest nieuniknione u niemal wszystkich gatunków organizmów wielokomórkowych, zrozumiemy, że to nieprawda.

W październiku 2010 roku, kiedy pracowałam w dziale komunikacji z mediami fundacji Cancer Research UK, Uniwersytet Manchesteru wydał komunikat prasowy na temat artykułu przeglądowego napisanego przez dwoje badaczy, Rosalie David i Michaela Zimmermana, opublikowanego w „Nature Reviews Cancer”. Autorzy postawili tezę, że skoro nowotwory rzadko odkrywa się w egipskich mumiach i innych starożytnych szczątkach, bez wątpienia są to niemal całkowicie nowe twory, za które możemy winić tylko siebie. Jak można było się spodziewać, sprawą szybko zainteresowały się media. Niebawem konkluzja badaczy trafiła do gazet i internetu, co skłoniło mnie do wkroczenia do akcji i zamieszczenia na blogu fundacji wpisu, w którym dowodziłam, że te twierdzenia są nie tylko mylące, ale wręcz fałszywe.

Zacznijmy od tego, że rzadkie nie znaczy nieistniejące. Nie mamy jak sprawdzić, czy częstotliwość występowania nowotworów w szczątkach znajdujących podczas wykopalisk archeologicznych

jest dokładnym odzwierciedleniem stanu zdrowia populacji, w której się pojawiły. Tworzenie dokładnych statystyk występowania raka dla dawno wymarłych populacji ludzkich jest właściwie niemożliwe, bo wydobyliśmy względnie niewielką liczbę ludzkich szczątków z czasów starożytnych w porównaniu z łączną liczbą ludzi kiedykolwiek zamieszkujących Ziemię. Co więcej, rak jest chorobą atakującą głównie osoby starsze, szansa jego wystąpienia gwałtownie rośnie po sześćdziesiątym roku życia. Wiele współczesnych społeczeństw ma szczęście unikać większości zagrożeń, które naszych przodków skazywały na przedwczesną śmierć, takich jak choroby zakaźne, niedobory w diecie, śmierć w czasie porodu i ogólnie niezbyt sprzyjające warunki życia. Wraz z ogólnoswiatowym wzrostem średniej przewidywanej długości życia rosną jednak również szanse na dożycie wieku, w którym rak staje się problemem.

W starożytnym Egipcie człowiek mógł żyć nawet pięćdziesiąt lat, a może i dłużej, jeśli był zamożny i dobrze się odżywiał, ale zwykli ludzie mieli szczęście, jeśli udawało im się przekroczyć trzydziesty rok życia. W piętnastowiecznej Anglii mężczyźni żyli średnio pięćdziesiąt lat, a kobiety zaledwie około trzydziestu, prawdopodobnie z powodu dużej umieralności podczas porodów. Archeolodzy potrafią dość skutecznie odgadywać wiek człowieka, którego szczątki udało im się odkopać, na podstawie stanu zębów, kości i towarzyszących mu przedmiotów, ale bardzo trudno jest stworzyć wykres przedstawiający występowanie nowotworów w zależności od wieku u ludzi, którzy opuścili ten padół już wiele tysięcy lat temu.

Poza tym większość okazów archeologicznych to niewiele więcej niż szkielety. Niektóre nowotwory zostawiają ślady w kościach, ale inne występują tylko w obrębie szybko rozkładających się organów wewnętrznych. To, że guzy odnaleziono w więcej niż jednym zmumifikowanym ciele, w którym zachowały się tkanki miękkie, nie wydaje się świadczyć o ich „niezwykłej rzadkości”. Z pewnością choroba ta była wystarczająco częsta, aby zasłużyć na wzmiankę u egipskich,

rzymskich i greckich medyków, a żyjący w drugim wieku naszej ery Galen, rzymski lekarz greckiego pochodzenia, napisał: „Wiele razy widzieliśmy w piersiach guzy. [...] Chorobę tę, jeśli były to jej początki, wielokrotnie udawało nam się wyleczyć, ale kiedy guz stawał się duży, nikt nie potrafił się go pozbyć bez operacji”. Przekonamy się, że u ludzi żyjących przed początkiem dwudziestego wieku udokumentowanych zostało ponad dwieście siedemdziesiąt pięć przykładów nowotworów, w tym zarówno niezwykle rzadkie nowotwory dziecięce, jak i te częściej spotykane. A to jedynie przypadki, o których wiemy. Ile cierpiących na raka piersi pacjentek Galena zniknęło z kart historii, bo po ich istnieniu nie pozostał żaden ślad – w postaci notatki bądź fizycznego dowodu?

Oryginalny artykuł przeglądowy był właściwie o wiele bardziej powściągliwy niż teksty publikowane w prasie. Michael Zimmerman jest szanowanym naukowcem, który stworzył szczegółowe opracowania na temat guzów odkrytych w zmumifikowanych ciałach, a w artykule bardzo szczegółowo opisał archeologiczne i kulturowe dowody na występowanie nowotworów w starożytności. Moglibyśmy w nieskończoność spierać się o to, czy można je nazwać rzadkimi, ale zdecydowanie większe zastrzeżenia mam do treści oryginalnego komunikatu prasowego uniwersytetu, który zawierał następujący cytat z Rosalie David: „W środowisku naturalnym nie ma niczego, co mogłoby powodować raka. W związku z tym musi to być choroba wywoływana przez człowieka, przez zanieczyszczenia i zmiany w diecie i trybie życia”.

Przykro mi, ale nie. Starożytna przeszłość z pewnością nie była zdrowotnym rajem. Z kilku kolejnych rozdziałów dowiemy się, że chociaż współczesny styl życia i zwyczaje mogą niewątpliwie zwiększać ryzyko zachorowania na raka, to środowisko naturalne jest pełne czynników wywołujących nowotwory, od wirusów i innych chorób zakaźnych po pleśń na produktach spożywczych i substancje chemiczne naturalnie występujące w roślinach (nawet tych „organicznych”).

Radioaktywny gaz zwany radonem ulatnia się z ziemi w wielu zakątkach świata, zwłaszcza w rejonach obfitujących w skały wulkaniczne. Uważa się go za przyczynę wyjątkowo dużej liczby przypadków raka wykrytych w szczątkach ludzi zamieszkujących południowo-zachodnią Amerykę około tysiąca lat temu. Nasze własne Słońce codziennie zalewa nas wywołującym nowotwory promieniowaniem ultrafioletowym. Rakotwórcze składniki, w które obfitują sadza i dym, od ponad stu tysięcy lat powstające podczas używania otwartego ognia do gotowania i ogrzewania, są wyjątkowo szkodliwe w zamkniętych pomieszczeniach, takich jak jaskinie czy kuchnie. Ponadto większość nowotworów dziecięcych nie ma wiele wspólnego z czynnikami środowiskowymi, są raczej konsekwencją tego, że normalne procesy rozwojowe wpadają w szal (patrz s. 142).

Aby dowiedzieć się więcej o tym, jak rak dręczył gatunek ludzki na przestrzeni wieków, spotkałam się z Casey Kirkpatrick, jedną ze współzałożycielek Paleo-oncology Research Organization (Organizacja Badawcza ds. Paleoonkologii; PRO), młodej, ale zdeterminowanej grupy badaczek analizujących przypadki raka w czasach antycznych. Podchodząc do tego zagadnienia bardzo poważnie, podążają one śladami kilkorga pionierów w dziedzinie badania starożytnych chorób (paleopatologii), zwłaszcza Eugena Strouhala, lekarza, który został egiptologiem, i amerykańskiej antropolożki Jane Buikstry. Jednym z pierwszych projektów PRO było stworzenie Cancer Research in Ancient Bodies Database (Bazy Danych Badań nad Nowotworami w Starożytności; w skrócie CRAB, co jest nawiązaniem do starożytnej etymologii nazwy choroby; patrz s. 210), w której badaczki zebrały wszystkie informacje, jakie udało się znaleźć na temat przypadków nowotworów u ludzi żyjących przed początkiem dwudziestego wieku.

Prace nad powiększaniem bazy danych nadal trwają, ale w momencie wydania tej książki znajdowało się w niej około dwustu siedemdziesięciu pięciu pozycji – znacznie więcej, niż opisano do 2010 roku, kiedy ukazał się artykuł Zimmermana i David. Może się wydawać, że

to i tak niedużo, ale wiele dawnych przypadków nowotworów pozostaje po prostu niezauważonych. Niełatwo przecież postawić diagnozę komuś, kto nie żyje od ponad tysiąca lat, zwłaszcza jeśli opieramy się tylko na kilku fragmentach kości.

Głównymi narzędziami do diagnozowania nowotworów w dawnych szczątkach są prześwietlenie i tomografia komputerowa. Pierwszy obraz rentgenowski mumii został opublikowany przez angielskiego pioniera w dziedzinie egiptologii Flindersa Petriego na początku 1896 roku, zaledwie cztery miesiące po odkryciu promieniowania rentgenowskiego (choć poszukiwał on raczej klejnotów schowanych pomiędzy bandażami, a nie nowotworów). Pierwsze przypadki raka u mumii odkryto w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku, ale przełomowy okazał się rozwój trójwymiarowej tomografii komputerowej dwie dekady później. Archeolodzy mogli odtąd wirtualnie zdejmować bandaże z mumii i zaglądać do środka, co doprowadziło do zdiagnozowania kolejnych przypadków.

Dziwny guzek albo nietypowa struktura kości w starożytnym szkielecie lub mumii nie musi automatycznie oznaczać raka – to mógł być nowotwór niezłośliwy, torbiel albo jedna z wielu innych chorób. Może to być oznaka fluorozы – przypadłości wywołującej kostnienie tkanek miękkich i spowodowanej wysokim stężeniem fluoru w otoczeniu, często występującym w okolicach wulkanów. Może to być wreszcie stan zwany pseudopatologią, kiedy normalny rozkład kości tworzy złudzenie choroby. Istnieją jednak pewne wskazówki, które mogą nas skierować w stronę raka.

Niektóre nowotwory wyglądają bardzo charakterystycznie – Casey Kirkpatrick i jej współpracownicy powiedziałyby, że mają określone cechy patognomiczne. Pozostałe nie są aż tak oczywiste. Mimo że tomografia i prześwietlenia potrafią ujawnić obecność nowotworu, dokładne wskazanie jego typu może przysparzać trudności, więc patopaleontolodzy mogą w najlepszym wypadku podać kilka możliwości, nie konkretną odpowiedź. Szpiczak mnogi – nowotwór wpływający

na białe krwinki w szpiku kostnym – zostawia w kościach takie same ślady jak guzy, które rozprzestrzeniły się w ciele z innego źródła, tymczasem nowotwory krwi, takie jak białaczka czy chłoniak, są w dawnych szczątkach praktycznie niewykrywalne. Poza tym podczas gdy współcześni pacjenci z podejrzeniem nowotworu są poddawani całej serii badań i testów, w przypadku historycznych pozostałości podobna standardowa ścieżka postępowania nie istnieje – na co zespół PRO stara się zwrócić uwagę.

Kolejnym problemem jest ustalenie, w jaki sposób choroby objawiały się w ciałach ludzi z odległej przeszłości. Przyczyny, liczby i rodzaje nowotworów pojawiających się wśród współczesnych populacji na całym świecie znacząco się od siebie różnią, a szanse na to, że mieszkaniec zamożnego kraju umrze na raka bez próby leczenia, są niewielkie. W związku z tym porównywanie Egipcjan sprzed czterech tysięcy lat, Inuitów żyjących w trzecim wieku naszej ery czy mieszkańców terenów Peru z czasów prekolumbijskich ze współczesnymi obywatelami Zachodu jest zwodnicze. Niektórzy badacze próbują czynić bardziej realistyczne porównania z mniej rozwiniętymi kulturami i populacjami bez łatwego dostępu do opieki medycznej, ale zbieranie dokładnych danych i statystyk w tych częściach świata to wyzwanie.

Problemy z diagnozowaniem doprowadziły do długotrwałych debat na temat tego, czy dziwne guzy i nierówności odnajdywane na starych szczątkach faktycznie są nowotworami, czy może wywołało je coś innego. Jednym z najsłynniejszych (i najbardziej kontrowersyjnych) przykładów są liczne wyrzuszenia na szczęce Człowieka z Kanam, skamieniałej pozostałości po prehistorycznym osobniku, którą poszukiwacz skamielin Louis Leakey i jego zespół wydobyli w 1932 roku w pobliżu kenijskiego brzegu Jeziora Wiktorii. Dokładny wiek wykopaliska i jego miejsce w ludzkim drzewie genealogicznym pozostają tematem dyskusji – chociaż sądzi się, że ma około siedmiuset tysięcy lat – podobnie jak natura narodził się na jego powierzchni. Jeśli, jak

sądzą niektórzy, są to pozostałości po nowotworze kości lub chłoniaku Burkitta, to guz ten jest jednym z najstarszych nowotworów u hominidów, o jakim wiemy. Może to też być po prostu – jak twierdzą inni specjaliści – przerost kości wywołany nieprawidłowym zróżnicowaniem się szczęki po złamaniu.

Do innych spornych przykładów należy prawdopodobny nowotwór kręgosłupa w skamieniałym szkielecie młodego australopiteka – jednego z naszych przodków wśród ssaków naczelnych ze wschodniej Afryki, żyjącego prawie dwa miliony lat temu – i dziwna narośl na żebrze liczącego sto dwadzieścia tysięcy lat neandertalczyka z okolic obecnej miejscowości Krapina na terenie Chorwacji. Ten drugi osobnik najprawdopodobniej nie chorował na nowotwór, tylko na dysplazję włóknistą, która sprawia, że tkanka kostna jest stopniowo zastępowana przez słabą, włóknistą.

Bardziej pewna diagnoza dotyczy kości dużego palca u stopy znalezionej w znajdującej się na terenie Republiki Południowej Afryki jaskini Swartkrans – „kolebki ludzkości”, uważanej za miejsce, z którego pochodzi nasz gatunek. Mimo że liczącej 1,6 miliona lat kości nie da się przypisać do przedstawiciela konkretnego gatunku, najprawdopodobniej była to istota spokrewniona z ludźmi. Niestety najwyraźniej cierpiała na agresywny nowotwór kości zwany kostniakomięśniakiem, który zazwyczaj atakuje nastolatków, a jego występowania nie łączy się ze środowiskiem ani stylem życia. Dziś jest to najstarszy dający się zidentyfikować nowotwór u przodka człowieka. W przyszłości, kiedy odkrytych zostanie więcej szczątków, a techniki diagnostyczne zostaną udoskonalone, może się to zmienić.

Istnieje wiele innych rozsianych po całym świecie przykładów potencjalnych nowotworów z dawnych czasów. Niezłोśliwy przypadek odkryto w liczącej dwieście pięćdziesiąt tysięcy lat szczęce dorosłego *Homo naledi* – przedstawiciela odkrytej niedawno wymarłej grupy przodków ludzi, której liczne kości odnaleziono w 2015 roku w jaskini Rising Star na terenie RPA. Jest również czaszka należąca do przodka

neandertalczyków, *Homo heidelbergensis*, który prawdopodobnie zmarł na raka mózgu jakieś trzysta pięćdziesiąt tysięcy lat temu na obszarze obecnych Niemiec. Wiemy też o Kobiecie z Lembudu – około dwudziestoletniej, o krzepkiej budowie ciała i nierównej szczęce, którą jakieś osiemnaście tysięcy lat temu pochowano w indonezyjskiej jaskini. Jej kości są usiane dziurkami wyglądającymi dokładnie jak ubytki wywoływane przez przerzuty nowotworowe. Niestety prehistorycznych skamieniałych szkieletów nie znajduje się zaopatrzonych w zachowaną dokumentację medyczną, więc możliwe, że nigdy nie poznamy prawdy na ich temat.

Nowe metody biologii molekularnej dają szansę na dalszy rozwój. Dzięki temu, że badania DNA stają się coraz dokładniejsze i tańsze, naukowcy mogą analizować małe fragmenty DNA pobrane ze szczątków. Jednym z najsłynniejszych przykładów użycia tych narzędzi jest zbadanie z mumifikowanego ciała włoskiego renesansowego władcy Ferdynanda I, które okazało się kryć wyjątkowo dobrze zachowany guz w miednicy. Pod mikroskopem komórki rakowe wyglądały tak, jakby nowotwór zaatakował jelita lub prostatę króla Neapolu. Testy genetyczne wykazały, że guz zawierał usterkę w genie zwanym KRAS, która jest powszechna przy guzach jelit, ale praktycznie nigdy nie występuje przy raku prostaty. W ten sposób Ferdynand otrzymał dokładną diagnozę jakieś pięćset lat po śmierci.

Mimo wszystko badania genetyczne mają ograniczenia, ponieważ wymagają zdobycia próbki DNA nowotworu z zachowanego organu lub zaatakowanych nim kości. Ich użyteczność może być jeszcze mniejsza, bo wiemy już, że najwyraźniej nawet zdrowe komórki mogą zawierać „rakowe” mutacje (patrz s. 115). Alternatywą jest szukanie wadliwych molekuł białek, które mogą być bardziej wiarygodnym wskaźnikiem nowotworu – tę metodę określa się mianem proteomiki. Identyfikowanie białek jest trudniejsze z technicznego punktu widzenia, a także droższe niż zwykle sekwencjonowanie DNA, więc analizę proteomiczną stosuje się zazwyczaj do badania najbardziej

wyjątkowych okazów z kolekcji paleopatologów. Koszty tej procedury stopniowo spadają, więc zapewne w przyszłości będzie wykorzystywana szerzej.

Pomimo coraz większej dostępności narzędzi czynnikiem ograniczającym zawsze będzie dostęp do ludzkich szczątków, do których badania można owe narzędzia wykorzystać. Idealnie zrównoważonej statystycznie populacji szkieletów nie da się ot tak wyczarować – mamy to, co mamy, i trzeba się z tym pogodzić. Istnieje również tak zwany paradoks osteologiczny (po raz pierwszy wspomnieli o nim w 1992 roku antropolog James Wood i jego współpracownicy): żaden archeologiczny przypadek nigdy nie będzie rzeczywiście reprezentatywny dla stanów chorobowych danej populacji. Częściowo wynika to z tego, że niektórzy ludzie ulegają chorobie bardzo szybko i nie pozostawia ona na ich szczątkach żadnych śladów, a częściowo z tego, że pełną prawdę o stanie zdrowia danej osoby można poznać w chwili jej śmierci. Na przykład szkielet piętnastoletniej dziewczyny, która zmarła dwa tysiące lat temu, nie powie nam nic o stanie zdrowia jej przyjaciół, którzy żyli dłużej. Wiemy natomiast, że na całym świecie, wśród różnych kultur i na przestrzeni tysięcy lat, odkryto wiele różnych odmian raka, w tym nowotwory, które obecnie określa się jako bardzo rzadkie.

Istnieją również inne, bardziej nieuchwytny czynniki wpływające na to, jakie szanse będą mieli naukowcy na odnalezienie konkretnych typów ludzi i chorób w dokumentacji archeologicznej albo informacjach na ich temat. Jeśli ktoś cierpiał na bardzo szybko postępujący nowotwór, mógł umrzeć nagle, bez diagnozy i śladów w kościach. Nawet jeśli przeprowadzono sekcję zwłok, wiele kultur stygmatyzuje raka, uważając go za coś grzesznego lub zaraźliwego, więc rodziny zmarłych mogły nie chcieć, aby wpisywano go jako przyczynę zgonu. Kwestie śmierci i pochówku regulują również tradycje kulturowe, które mogą wpływać na to, jaki rodzaj szczątków archeolodzy odnajdują po latach. Pewne społeczności grzebały na przykład swoje dzieci pod podłogami albo w ścianach własnych domów. Inne oddziały

żeńskie i męskie groby albo chowały ofiary pewnych chorób, takich jak dżuma lub trąd, w wyznaczonych miejscach.

Koniec końców problem sprowadza się głównie do liczb. Trzy szkielety ze śladami nowotworu znalezione na konkretnym obszarze mogą reprezentować trzy procent mieszkańców stuosobowej wioski, trzy dziesiąte procent mieszkańców dawnego miasta z tysiącem mieszkańców albo dziesięć procent trzydziestoosobowej grupy. Być może nowotwory faktycznie były rzadkością w historycznych i prehistorycznych populacjach. A może były znacznie częstsze, niż nam się wydaje, bo naukowcy ich nie poszukiwali. To ekscytujące, ile nowych poszlak mogą odkryć badania DNA i analizowanie białek, a także bardziej metodyczne podejście do prześwietleń i tomografii komputerowej szczątków w poszukiwaniu śladów raka. Coraz wyraźniej widzimy, że im gruntowniej poszukuje się dowodów na nowotwory w szczątkach, tym więcej się ich znajduje.

Mimo że jedne z najbardziej uderzających przykładów starożytnych nowotworów pochodzą z mumii, u których na kościach zachowało się więcej ciała niż u typowych szkieletów, nadal niewiele wiemy na temat tego, jak proces mumifikacji wpływa na konserwację guzów. W tym przypadku nie można po prostu chwycić za skalpel i wykonać sekcji zwłok, więc naukowcy usiłują zajrzeć do środka mumii za pomocą tomografii komputerowej. Według Casey Kirkpatrick w rzeczywistości jednak nie wiemy, na ile z mumifikowane nowotwory są widoczne w wynikach badań ani jak wiele informacji może nam umykać. Aby poznać prawdę, moja rozmówczyni i jej współpracowniczka Jennifer Willoughby zdecydowały się przeprowadzić nietypowy eksperyment.

Na początek połączyły siły z grupą naukowców z pobliskiego szpitala, którzy zapewнили im stały dostęp do myszy cierpiących na przeróżne nowotwory. Potem zajęły się mumifikowaniem zwierząt w każdy sposób, jaki przyszedł im do głowy. Niektóre wrzucono do bagna, aby odtworzyć mumie znajdowane na torfowiskach. Inne przykryto lodem lub zakopano w gorącym piasku. Na koniec Kirkpatrick i Willoughby

zafundowały kilku myszom pełen rytualny egipski pochówek: ostrożnie usunęły małe organy, napełniły ich ciała natronem i naturalnymi ziołami, a potem je zabandażowały*.

Kiedy proces mumifikacji dobiegł końca, umieściły myszy w tomografie i sprawdziły, czy nowotwory, na które cierpiały, przetrwały. Rezultaty były pokrzepiające: symptomy raka pozostały widoczne u wszystkich zmumifikowanych stworzeń, więc można zakładać, że metoda nie zawodzi też wtedy, kiedy służy do wykrywania nowotworów w ludzkich mumiach. „Rak nie jest współczesną chorobą – podkreśla Kirkpatrick. – Występował w całej naszej historii. Karcynogeny znajdują się w środowisku, istnieją również czynniki genetyczne i infekcje, których uniknięcie jest niemal niemożliwe. Uważam, że naprawdę musimy poinformować o tym opinię publiczną, zwłaszcza te osoby, które cierpią i sądzą, że pojawienie się nowotworu to ich wina”.

WSZYSTKIE STWORZENIA DUŻE I MAŁE

Rak nie jest chorobą wyłącznie ludzką – jestem tego aż nazbyt świadoma, odkąd na białaczkę zmarł nasz pierwszy pies, ukochany springer spaniel walijski o imieniu Sheba. Ale chociaż czasami twierdzi się, że sztuczne warunki towarzyszące udomowieniu powodują, że u zwierząt domowych pojawiają się guzy, podobnie jak u ludzi (i są uznawane za „współczesną chorobę”), to uznawanie raka za nieuniknioną konsekwencję wielokomórkowości sugeruje nam, że powinniśmy się spodziewać występowania nowotworów u wszystkich gatunków. I, z pewnymi godnymi uwagi wyjątkami, tak właśnie jest.

W 2014 roku chorwacki genetyk Tomislav Domazet-Lošo i jego współpracownicy z Uniwersytetu w Kilonii opublikowali zadziwiający

* Kirkpatrick zdradziła mi potem, że postawiły sobie granicę: było nią wybudowanie miniaturowej piramidy.

artykuł, w którym opisali guzy u dwóch różnych gatunków małego słodkowodnego stworzenia zwanego stułbią – najprostszego organizmu, o którym wiemy, że może zachorować na nowotwór. Będąca w zasadzie niewielką rurką z mackami stułbia składa się z dwóch warstw komórek utrzymywanych przez trzy odrębne grupy komórek macierzystych. Dwie z nich tworzą warstwy kanalika, podczas gdy trzecia – znana jako śródmiąższowe komórki macierzyste – jest wszechstronna i zdolna do wytwarzania różnych fragmentów prostego ciała stułbi, a także komórek rozrodczych, które ostatecznie przeobrażają się w komórki jajowe i nasienie. I to właśnie z nich, podczas gdy zajmują się produkcją jajeczek, wyrasta guz. Trudno oczywiście stwierdzić, czy stułbia źle się czuje, ale obecność raka z pewnością na nią wpływa, poważnie zmniejszając tempo wzrostu i płodność. Warto odnotować, że Domazet-Lošo i jego zespół w żaden sposób nie ingerowali w stan tych stworzeń, na przykład dokonując drobnych zmian genetycznych czy wprowadzając do wody jakieś paskudne chemikalia – guzy pojawiły się całkowicie samoistnie. Ich odkrycie rodzi interesujące pytanie: jeśli u czegoś tak nieskomplikowanego jak stułbia może rozwinąć się rak, co z innymi zwierzętami?

Jedną z osób usiłujących odpowiedzieć na to pytanie jest Amy Boddy, adiunkt na Wydziale Antropologii Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara. Wraz z kierowanym przez siebie zespołem zgromadziła ona imponującą ilość danych na temat występowania nowotworów u wielu różnych gatunków – korzystając z metody znanej jako onkologia porównawcza.

„Jedną z najtrudniejszych kwestii jest w pierwszej kolejności to, jak konkretnie zdefiniujemy nowotwór, zwłaszcza jeśli weźmiemy pod uwagę szalenie różniące się od siebie organizmy. Możemy być niemal pewni, że rak u psa czy myszy będzie w rozpoznawalny sposób podobny do guza ludzkiego. Ale co z dziwnymi komórkami małża lub osobliwym wybrzuszeniem na grzybie? Kiedy zaczynasz mówić o formach nowotworu u innych organizmów, po chwili zdajesz sobie sprawę, jak

niewiele wiemy o tej chorobie – mówi Boddy. – Kiedy pisaliśmy pierwszy artykuł o nowotworach u różnych organizmów, mieliśmy ogromne wątpliwości co do tego, co powinniśmy klasyfikować jako raka, ponieważ definicja medyczna odnosi się głównie do człowieka”.

Inwazyjność raka u ludzi definiuje się na podstawie tego, czy komórki nowotworowe przebiły się przez błonę podstawną – cienki ochronny arkusz molekularnej „folii spożywczej” spowijającej nasze tkanki i narządy. Wiele organizmów nie ma tej ochronnej warstwy, ale nadal mogą zostać dotknięte przez złośliwe komórki rozmnażające się poza kontrolą. Na roślinach rozwijają się duże narośle zwane galasami, zwykle w wyniku infekcji bakteryjnej, wirusowej lub grzybiczej – albo działania os. Występują też inne dziwne zjawiska, takie jak staśmione (skręcone ze sobą) kaktusy, z którymi zapoznamy się w następnym rozdziale.

W czerwonych algach można znaleźć masy podobne do guzów. Nawet grzyby nie są wolne od podejrzeń: w ich owocnikach zauważono nieinwazyjne narośle, a proste pleśnie mogą rosnąć w nieprawidłowy, nadmierny sposób. Chociaż grudki te są objawem nazbyt entuzjastycznego mnożenia się komórek, nazywanie ich nowotworami nie jest do końca słuszne, ponieważ sztywne ściany komórkowe i mocne struktury wewnętrzne grzybów i roślin zapobiegają rozprzestrzenianiu się złośliwych komórek po całym organizmie.

W świecie zwierząt rak pojawia się niemal wszędzie. Niedawno opublikowana lista tych, o których wiemy, że mogą zostać dotknięte nowotworem, liczy ponad dwadzieścia stron, a wykaz stworzeń morskich, u których wykryto guzy, przypomina menu z najdziwniejszej restauracji sushi na świecie: sercówki, małże, kraby, sumy, ryby jaskiniowe, dorsze, koralowce i quahogi. Do tego garbiki, skalary, akary i złote rybki. A także stynka, łosoś, dorada, konik morski... lista się nie kończy.

Nowotwory pojawiają się u żab, ropuch i innych płazów. Zostały też zaobserwowane u wielu gadów, takich jak węże, żółwie lądowe

i wodne, a także jaszczurki. Występują u licznych gatunków ptaków, od papug po pingwiny, u kakadu, kazuarów, drzewic czarnobrzuchych i papużek falistych. Nie wspominając o ciekawym przypadku trójnożnego rudzika z nowotworową masą w brzuchu, który pewnego dnia w 1919 roku trafił w ręce pana H.K. Coale'a z Chicago. Także ssaki, od hien grzywiastych po zebry, dotykają różne rodzaje raka – pojawiają się u wielorybów, miniaturowych kangurów, pawianów, borsuków, antylop bongo i prawie wszystkiego, co pomiędzy.

Podobnie jak w szczątkach dawno zmarłych ludzi, guzy występowały również u zwierząt, które znamy jedynie ze skamielin. W 2003 roku zespół kierowany przez Bruce'a Rothschilda z Uniwersytetu Medycznego Northeastern Ohio zbadał zbiory muzeów Ameryki Północnej za pomocą przenośnego aparatu rentgenowskiego. Wykonał zdjęcia ponad dziesięciu tysięcy kości dinozaurów. Chociaż znalazł guzy tylko w jednej rodzinie dinozaurów, roślinożernych kaczodziobych hadrozaurów sprzed około siedemdziesięciu milionów lat, wykrył aż dwadzieścia dziewięć przypadków u dziewięćdziesięciu siedmiu osobników. Guz odkryto również w kości kończyny skamieniałego prehistorycznego żółwia wodnego, który około dwustu czterdziestu milionów lat temu przemierzał triasowe morze obmywające dzisiejsze Niemcy. Istnieją dowody na obecność raka u innych gatunków dinozaurów, w tym gigantycznego tytanozaura, chociaż niektóre z tych obserwacji są kontrowersyjne*.

Badania dotyczące nowotworów u różnych form życia podważyły również niezmiennie popularne, chociaż błędne przekonanie, że rekiny nie chorują na raka. Ten dziwny pomysł narodził się w latach siedemdziesiątych dwudziestego wieku, kiedy Judah Folkman

* Podobnie jak prawidłowe diagnozowanie starożytnych ludzi to wyzwanie, tak jest też w przypadku zwierząt. Guzy w tkankach miękkich nie zostają zachowane. Niestety skamieniałości nie znajduje się z załączonym raportem weterynaryjnym, więc pozostawiają duże pole do dyskusji.

i Henry Brem ze szkoły medycznej na Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa w Baltimore w stanie Maryland zauważyli, że chrząstka – warstwa ochronna na końcach kości – zapobiega przemianie nowych naczyń krwionośnych w guzy. Szkielety rekinów są zbudowane w całości z chrząstki, a nie z kości, więc ludzie zaczęli sądzić, że zwierzęta te mogą być bardziej odporne na raka niż inne gatunki.

Eksperymenty laboratoryjne wykazały, że chrząstka rekina jest bardzo skuteczna w powstrzymywaniu rozwoju nowotworów naczyń krwionośnych, a próby chemicznego wywołania nowotworów u tych ryb nie powiodły się. Zważywszy na to, że nikt nie odnotował przypadku raka u żadnego rekina żyjącego na wolności, teoria wydawała się wiarygodna. Skończyło się to dość przewidywalnym pobożnym życzeniem i wyrażeniem sugestii, że chrząstka rekina może zapobiegać nowotworom, a nawet je leczyć. Po publikacji bestsellerowej książki *Sharks Don't Get Cancer* (Rekiny nie chorują na raka) Williama Lane'a z 1992 roku narodziła się cała prężna gałąź przemysłu. Poławiano, hodowano i zabijano miliony rekinów, aby wyprodukować pigułki zawierające ich chrząstkę, a następnie sprzedać je zdesperowanym pacjentom ze zdiagnozowanym rakiem, mimo że na ich nieskuteczność wskazywały wyniki badań klinicznych przeprowadzonych w co najmniej trzech ośrodkach.

Co ważniejsze, nawet podstawowe założenie tej teorii nie jest prawdziwe: guzy zauważono u wielu gatunków rekinów, w tym w potężnych szczękach żarłacza białego znalezionej u wybrzeży Australii w 2013 roku. Jak zauważył biolog morski David Shiffman w artykule na ten temat: „Rekiny chorują na raka. A nawet gdyby nie chorowały, jedzenie produktów z rekinów nie wyleczy nowotworu, tak samo jak zjedzenie Michaela Jordana nie uczyniłoby mnie lepszym koszykarzem”.

Może chrząstka rekina nie jest w stanie zapobiec chorobie ani jej wyleczyć, ale porównanie nowotworów u różnych gatunków może dostarczyć przydatnych informacji na temat tego, co może się dziać w naszych ciałach. Staje się to szczególnie interesujące, gdy zapytamy

nie o to, czy konkretny przypadek guza został znaleziony u danego typu zwierzęcia – bo tego należy się spodziewać, skoro rak jest zjawiskiem nieuchronnie związanym z wielokomórkowością organizmu – ale jak często się pojawia.

Może się to wydawać zaskakujące, ale potrafimy z całą pewnością stwierdzić, że rak nie tylko nie jest chorobą typową jedynie dla człowieka, ale również że nie jesteśmy nawet gatunkiem, który cierpi na nią najczęściej. Powszechnie przyjmuje się, że ludzie chorują na nowotwory częściej niż zwierzęta, ale przekonanie to opiera się na żałośnie niekompletnych danych. Tak jak nie mamy pojęcia o częstotliwości występowania raka w starożytnych populacjach ludzkich, bo brakuje nam usystematyzowanych danych, tak nikt nie przyjrzał się w metodyczny sposób występowaniu tej choroby u innych stworzeń.

Sporządzenie ogromnej listy wszystkich gatunków, u których wykryto jakikolwiek rodzaj nowotworu, to jedno; ustalenie, czy któryś z nich jest szczególnie rzadki lub powszechny, to zupełnie inna sprawa. Amy Boddy i jej koledzy z Santa Barbara stali się epidemiologami zwierzęcymi przesiewającymi dokumentację z ogrodów zoologicznych i wszelkie dające się zebrać dane o dzikich populacjach, aby przekonać się, jak często rak występuje u różnych gatunków.

„Zwierzęta z ogrodów zoologicznych żyją niezwykle długo w porównaniu ze swoimi dzikimi pobratymcami, a dane na temat niektórych z nich opierają się na niewielkich próbkach – ostrzega Boddy – ale nasze wstępne ustalenia wskazują, że w porównaniu z ludźmi zachorowania na raka u małych ssaków są dość częste. Obserwujemy sporo guzów u fretek, wygląda także na to, że lemurki myszate zapadają na wiele nowotworów”.

Badaczka wyjaśnia, że rak wydaje się występować częściej u zwierząt, które przeszły przez wąskie gardło – zdarzenie, które w pewnym momencie drastycznie zmniejszyło populację – co sprawia, że dzisiejsze osobniki są do siebie bardziej podobne genetycznie, niż byłyby, gdyby nie przeszły przez taką katastrofę. Chomiczki syryjskie

przecisnęły się przez wyjątkowo wąskie gardło i większość obecnie żyjących na świecie udomowionych osobników pochodzi z jednego miotu znalezionej na Pustyni Syryjskiej w 1930 roku. W rezultacie u niezwykle wysokiego odsetka samoistnie występują guzy.

Inne gatunki hodowlane czystej rasy i udomowione również są bardziej podatne na nowotwory. U psów występuje z grubsza podobne ryzyko zachorowania na raka jak u ludzi, przy czym różne typy nowotworów są mniej lub bardziej powszechne u poszczególnych ras. Nawet jedna trzecia kur hodowlanych zachoruje na raka jajnika z powodu przymuszania ich do ciągłej produkcji jaj.

Co ciekawe, ludzie przeszli w swojej historii przez kilka takich niebezpiecznych sytuacji. Istnieją na przykład przekonujące dowody na to, że około miliona lat temu populacja naszych przodków zmniejszyła się do niespełna dwudziestu tysięcy zdolnych do rozmnażania osobników, co doprowadziło nasz gatunek na skraj wymarcia – mogło to mieć jakiś wpływ na naszą dzisiejszą podatność na raka.

Naukowcy odkryli również, że „łuskowate” – ptaki i gady, które wywodzą się od dinozaurów – mają tendencję do chorowania na raka stosunkowo rzadko w porównaniu z „futrzaną” stroną drzewa ewolucyjnego. Powody tej różnicy jak na razie pozostają tajemnicą, ale Boddy ma kilka pomysłów.

„Sądzę, że ma to związek z ciążą i posiadaniem łożyska” – mówi i wyjaśnia, że podczas gdy ptaki i gady składają jaja, ssaki muszą zachować zdolność do wytworzenia inwazyjnej tkanki wypełnionej naczyniami krwionośnymi, która przedostaje się do ściany macicy, wysysając tlen i składniki odżywcze z ciała matki, aby odżywić rosnący płód. Komórki łożyska i płodu trafiają do krwiobiegu matki, a nawet mogą stać się częścią normalnych tkanek jej ciała – proces ten zwany jest mikrochimeryzmem. Jest to właściwie identyczny repertuar sztuczek biologicznych z tymi, których potrzebuje rak, żeby rosnąć i się rozprzestrzeniać. Wiele guzów przejmuje nawet te same geny i cząsteczki, żeby zdobyć w ciele przyczółek.

Przez jakiś czas popularna była hipoteza, że ssaki z bardziej inwazyjnymi łożyskami, w tym ludzie, mogą chorować na raka częściej niż te z bardziej powierzchownymi układami, takie jak konie lub krowy, a łożyska i ryzyko nowotworu u kotów i psów plasują się gdzieś pośrodku skali. Niestety zgrabna teoria została podważona, kiedy zespół Boddy zgromadził więcej danych dotyczących różnych gatunków. Poza tym badacze wciąż brakuje informacji na temat podatności na raka nieposiadających łożyska torbaczy, które rodzą młode i hodują je w torbie lęgowej, czy składających jaja stekowców, takich jak dziobaki. Mimo to Boddy jest przekonana, że istnieje związek między zdolnością gatunku do wytworzenia łożyska a większym prawdopodobieństwem zachorowania na raka.

„Myślę, że taka zależność zdecydowanie występuje – mówi, wskazując na to, że płód jest zbudowany z komórek, które są genetycznie podobne do komórek matki, ale nie identyczne, co może powodować śmiertelne w skutkach odrzucenie przez układ odpornościowy. – Mogliśmy wyewoluować tak, aby wszystko ograniczało się do macicy, ale wytworzyliśmy łożysko, które narusza każdą pojedynczą tkankę ciała matki i jednocześnie integruje się z nią. Sądzę więc, że potencjalnie ssaki nie są tak dobrze wyczułone na wykrywanie guzów, które są nieco zmutowaną wersją nas samych”.

ROZMIAR MA ZNACZENIE

Istnieje jeszcze bardziej intrygująca ciekawostka dotycząca zachorowalności na raka u ludzi i innych gatunków. Mianowicie: jeśli nowotwór jest nieuniknioną konsekwencją wielokomórkowości i może się pojawić w dowolnej populacji komórek, to powinno z tego wynikać, że im więcej komórek w danym organizmie, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia nowotworu. Im większa liczba komórek, tym większa proliferacja komórek, a tym samym większe niebezpieczeństwo, że coś pójdzie nie tak. Duży rozmiar wiąże się więc

z dużym ryzykiem, a problem ten powinien się nasilać u zwierząt długowiecznych.

„Wiemy, że im większy osobnik danego gatunku, tym wyższy wskaźnik zachorowalności na raka. Na przykład wyższym, większym ludziom grozi większe ryzyko niż niższym, mniejszym. To samo dotyczy psów – wyjaśnia Boddy. – Można to traktować w kategoriach prawdopodobieństwa, ponieważ mamy więcej komórek, ale niewykluczona jest również potencjalna selekcja płciowa. Jeśli szybko urośniesz, wcześniej zaczynasz się rozmnażać”.

Żeby dać przykład, badaczka opowiada mi o zwyczajach godowych piatek – małych kolorowych rybek, które pochodzą z Ameryki Środkowej, ale zamieszkują akwaria na całym świecie. Niektóre samce mają wadę genetyczną, która powoduje, że rosną niezwykle duże, co czyni je szczególnie atrakcyjnymi dla samic. Niestety ta sama mutacja sprawia, że samce są również podatne na czerniaka. Kiedy rozwija się niszczący ich zdrowie rak, jest za późno: są już dojrzałe i zdążyły się rozmnożyć, przekazując fełerny gen następnemu pokoleniu.

Podobnie wygląda przypadek jelenia bielika. Samce inwestują dużo czasu i testosteronu w wyhodowanie okazałego poroża (im większe, tym lepsze, przynajmniej tak zdają się twierdzić samice). Wysilek ten odbywa się kosztem zwiększonego ryzyka rozwoju antleromy – włóknistych guzów, które uciskają czaszkę i uszkodzają mózg, a nawet mogą doprowadzić do śmierci.

Tutaj sprawy zaczynają się jednak komplikować. Co prawda dopóki porównuje się osobniki tego samego gatunku, związek między większymi rozmiarami ciała a zwiększonym ryzykiem zachorowania na raka jest zauważalny, ale zależność ta zanika, gdy spojrzymy z szerszej perspektywy, na całe drzewo życia. Duże długowieczne zwierzęta, takie jak wieloryby i słonie, mają w rzeczywistości podobne wskaźniki zachorowań na nowotwory co małe, żyjące krótko stworzenia, na przykład gryzonie. Jest to niezwykle obserwacja, ponieważ dwustutonowy płetwal błękitny jest dziesięć milionów razy większy

niż ważąca dwadzieścia gramów mysz. Oznacza to, że kawałek ciała płetwala błękitnego wielkości myszy powinien być co najmniej dziesięć milionów razy bardziej odporny na raka od niej samej.

Ludzie mają wyższe wskaźniki występowania raka, niż można by oczekiwać po ich rozmiarach, więc wyraźnie odstają od tego schematu. Kiedy jednak usuniemy z równania swoje złe nawyki (zwłaszcza palenie papierosów), możemy dojść do wniosku, że jesteśmy niezwykle odporni na raka w porównaniu z mniejszymi stworzeniami, ale znacznie bardziej na niego podatni niż giganci wśród ssaków. Obserwacja, że ryzyko zachorowania na nowotwór nie zależy od wielkości ciała, jest znana jako paradoks Peto, na cześć Richarda Peto, brytyjskiego statystyka, który zauważył to po raz pierwszy w 1976 roku. Chociaż może się to wydawać nielogiczne, spojrzenie przez pryzmat rzeczowego paradoksu pozwala nam uzyskać fascynującą perspektywę na to, dlaczego ludzie – lub jakiegokolwiek inne organizmy – mogą, ale nie muszą zachorować na raka w danym momencie życia. Wszystko, czego potrzebujemy do rozwiązania tego problemu, to odrobina strategicznego myślenia.

Zwierzęta różnią się nie tylko wielkością, ale też długością życia. Na wolności, przy ciągłym ryzyku padnięcia ofiarą drapieżnika, mysz będzie mieć szczęście, jeśli przeżyje rok. Nawet w przytulnym zaciszu laboratorium najstarszym szczęściarzom zdarza się dobić do dwóch lat. Dla porównania rekin polarny – najstarszy znany kręgowiec – osiąga dojrzałość płciową w słusznym wieku stu pięćdziesięciu lat. Wiek najsędziwszego osobnika tego gatunku oceniono przy użyciu techniki datowania, za pomocą której bada się wpływ testów bomb radioaktywnych prowadzonych w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku na soczewkę oka. Okazało się, że rekin ma jakieś pięćset lat: chłodne wody Morza Arktycznego przemierzał po raz pierwszy, gdy na angielskim tronie zasiadała królowa Elżbieta I. Słonie afrykańskie żyją średnio około sześćdziesięciu, siedemdziesięciu lat, ale świnki morskie rzadko dożywają ósmych urodzin. Średnia długość życia

ludzi wynosi obecnie około siedemdziesięciu lat, podczas gdy nasi krewni, szympansy, mogą się spodziewać, że dobiją do pięćdziesiątki. Na drugim końcu skali wśród naczelnych są lemurki myszate, których średnia długość życia reprodukcyjnego wynosi około pięciu lat, chociaż w niewoli mogą dożyć nawet piętnastu.

Rozwiązanie paradoksu Peto wymaga ewolucyjnego kompromisu między wzrostem, długowiecznością i seksem. Mówiąc prościej: albo rozwijasz się, żeby żyć szybko i umierać młodo – ograniczając się do kilku krótkich niebezpiecznych lat wypełnionych reprodukcją – albo ewoluujesz powoli, rośniesz, raczej jesz, niż jesteś zjadany, masz potomstwo na późniejszym etapie życia i długo się nim opiekujesz.

Oczywiście gdyby wszyscy ludzie chorowali na raka, zanim zaczęliby się rozmnażać, nie zaszlibyśmy jako gatunek daleko – tak działa dobór naturalny. Ale utrzymanie dużego ciała w zdrowiu – bez nowotworów – przez dziesięciolecia wymaga mnóstwa energii i zasobów. Gatunki ewoluowały więc tak, aby zachowywać zdrowie przez cały czas trwania fazy rozrodczej, tak długo, jak może ona trwać, i ulegają rakowi, dopiero gdy wysiłek utrzymywania ciała w zdrowiu nie jest już tego wart. To dlatego dziewięćdziesiąt procent przypadków nowotworów u ludzi występuje u osób po pięćdziesiątce. Jest to najzupełniej logiczne: ewoluowaliśmy tak, aby przetrwać najważniejsze lata życia w dobrym zdrowiu, ale kiedy dzieci się urodzą i zostaną odchowane, wszystko staje się możliwe*.

Krańcowym przykładem strategii „żyj szybko, umieraj młodo” są myszowate torbacze znane jako chutliwce. W sierpniu, w środku

* Istnieje intrygująca różnica w zachorowalności na raka między płciami, która wydaje się niezależna od wszystkich innych czynników: prawdopodobieństwo wystąpienia nowotworu w młodszym wieku jest nieco większe u mężczyzn. Uznana za kontrowersyjną tzw. hipoteza babci sugeruje, że podczas gdy starsze kobiety są przydatne, ponieważ pomagają przy wnukach, to dziadkowie, którzy odgrywają w wychowywaniu dzieci mniejszą rolę, są w kategoriach ewolucyjnych zbędni.

australijskiej zimy, przez jakieś dwa tygodnie samce spółkują z jak największą liczbą samic w szalonych maratonach trwających nawet do czternastu godzin. Ale gdy okres godowy ma się ku końcowi, zaczynają się z nimi dzieć złe rzeczy. Sierść wypada, narządy wewnętrzne zaczynają szwankować, szybko rozwijają się infekcje. W ciągu kilku krótkich tygodni wszystkie samce są martwe, ponieważ całą swoją energię zainwestowały w rozmnażanie i dosłownie zakopulowały się na śmierć.

Ich partnerkom wiedzie się niewiele lepiej: matki zwykle umierają po odstawieniu młodych, pozostawiając sieroty same sobie do następnego roku, kiedy cykl zaczyna się od nowa. Strategia reprodukcyjna tych stworzeń może się wydawać dziwna, jeśli porównamy ją z ludzką, ale dla nich ma ewolucyjny sens. Chutliwce żywią się owadami, których wysyp zazwyczaj jest cykliczny. Szał związany z kopulowaniem ma miejsce w okresie największej bonanzy żywieniowej, więc matki są dobrze odżywione, gdy karmią młode, podczas gdy samce funkcjonują właściwie jedynie jako narzędzia dostarczające nasienie.

Po drugiej stronie spektrum znajdują się długowieczne gatunki, których umiejętność wieloletniego powstrzymywania raka doprowadziła naukowców do intrygujących odkryć. Postępy w sekwencjonowaniu DNA sprawiają, że możemy grzebać w genomach zwierząt i dowiadywać się, co sprawia, że działają w ten sposób.

Jednym z najbardziej znanych przykładów długowiecznego, odpornego na nowotwory ssaka jest golec piaskowy. Stworzonka te występują w dużych koloniach na afrykańskich pustyniach, a życie upływa im na nieustannym kopaniu tuneli w poszukiwaniu smacznych korzeni roślin i utrzymywaniu w ryzach stale rosnących zębów. W ich osłoniętych przed subsaharyjskim słońcem norach utrzymuje się stała temperatura trzydziestu stopni Celsjusza, więc zwierzęta te zrezygnowały ze wspólnego dla wszystkich innych ssaków wysiłku utrzymywania wysokiej temperatury ciała. Wydaje się, że nie odczuwają bólu, mogą przetrwać przy niebezpiecznie niskim poziomie tlenu, nie są nękanie przez drapieżniki i rzadko wychodzą na palące

światło słońca. Co jeszcze dziwniejsze u gryzoni, są eusocjalne: tylko kilka zwierząt w kolonii jest aktywnych seksualnie – jedna dominująca królowa, która rządzi społecznością, i garstka szczęśliwych reproduktorów – podczas gdy reszta to robotnicy niezwiązani z rozmnażaniem, odpowiedzialni za kopanie, utrzymanie i ochronę krętej sieci tuneli.

Chociaż początkowe zainteresowanie golcami piaskowymi było związane z ich niezwykle strukturą społeczną, badacze wkrótce zdali sobie sprawę z czegoś dziwnego: zwierzęta zabrane do laboratoriów nie umierały. W 2002 roku naukowcy z Nowego Jorku opublikowali raport o golcu z kolonii laboratoryjnej, który dożył co najmniej dwudziestu ośmiu lat, pokonując poprzedniego rekordzistę wśród gryzoni (dwudziestosiedmioletniego jeżozwierza). Rekord został pobity w 2010 roku przez golca zwanego Staruszkciem, który ostatecznie udał się do niebiańskiej pustynnej kolonii, dożywszy trzydziestu dwóch lat. Wiek większości gółców zbliża się do późnych lat dwudziestych, a nowotwory są wśród nich praktycznie niespotykane, z zaledwie kilkoma przypadkami udokumentowanymi u ponad tysiąca trzymanyh w niewoli zwierząt.

Nadal nie jest do końca jasne, jak golcom udaje się żyć tak długo i jednocześnie nie cierpieć na nowotwory. Może chodzi o ich niskokaloryczny styl życia i niską temperaturę ciała, które zdaniem badaczy ograniczają produkcję szkodliwych substancji chemicznych zwanych wolnymi rodnikami, powstających, gdy komórki wytwarzają energię. A może rozwiązanie zagadki tkwi w zmienionym poziomie hormonów i innych związków, które napędzają wzrost komórek, lub w diecie wegetariańskiej bogatej w polifenole. W 2013 roku naukowcy odkryli, że golce bardzo obficie wytwarzają wyjątkowo lepłą odmianę kleju komórkowego zwanego hialuronianem. Wysunięto hipotezę, że pomaga to wzmocnić więzy i komunikację między komórkami, powstrzymując je przed wymknięciem się spod kontroli i przekształceniem w raka.

Pewne geny zaangażowane w produkcję energii są znacznie aktywniejsze i występują w znacznie większej liczbie u gółców niż u myszy.

Być może dodatkowa dawka DNA działa jak bufor na rakotwórcze skutki uszkodzeń genetycznych, dzięki czemu te pierwsze mogą dożyć późnej starości. Zachodzą też inne kluczowe różnice w genach zaangażowanych w odpowiadanie na uszkodzenia DNA i inne związane ze starzeniem się procesy. Komórki pobrane od gólców są bardziej odporne na stres oksydacyjny i defekty niż komórki innych małych gryzoni. Badania, których wyniki opublikowano w 2019 roku, wykazały, że w porównaniu z myszami golce mają również bardzo nietypowy repertuar komórek odpornościowych, co może im pomagać trwać w zdrowiu tak długo.

Jakby tego było mało, przed nadmiernym wzrostem komórek chroni je jeszcze jedno: po prostu nie jest on tolerowany. W biologii istnieje zjawisko zwane hamowaniem kontaktowym – najłatwiej opisać je jako przestrzeń osobistą komórki, która powstrzymuje ich proliferację, jeśli robi się zbyt tłoczno. Komórki gólców piaskowych są niezwykle podatne na hamowanie kontaktu: zastygają w bezruchu, gdy tylko wykryją, że inna komórka znajduje się zbyt blisko, zapobiegając tym samym spiętrzeniom, które mogą zwiastować początek nowotworu.

Równie długowieczne ślepce rozwiązały paradoks Peto w inny sposób. Choć te gryzonie są mniej więcej tej samej wielkości co zwykłe szczury, żyją pięć razy dłużej i mają bardzo niski wskaźnik zachorowalności na raka. Często dożywają dwudziestych urodzin. Wydaje się to wynikać z tego, że ich komórki potrafią naprawiać potencjalnie rakotwórcze uszkodzenia DNA pięć razy skuteczniej niż komórki zwykłych szczurów – cecha ta mogła się rozwinąć, aby chronić je przed szkodliwymi cyklami wysokiego i niskiego poziomu tlenu, których doświadczają w podziemnych norach.

Jeszcze inną odpowiedź mają kapibary – cudownie wyluzowane gigantyczne świnki morskie z Ameryki Południowej, cieszące się reputacją najbardziej przyjaznych stworzeń w zoo. Ich niezwykle duże rozmiary są prawdopodobnie wynikiem nadmiernej aktywności

insuliny, hormonu, który kontroluje wzrost i metabolizm komórek. Zostając królami gryzoni, stworzenia te musiały również znaleźć sposób na powstrzymanie raka (pamiętajcie: im większe ciało, tym więcej komórek i większe ryzyko raka). Naukowcy badający genom kapibar odkryli niedawno, że chociaż poziom szkodliwych mutacji genetycznych zdaje się u nich wyższy niż u innych gryzoni, ich komórki odpornościowe są wyjątkowo czujne – sprawnie szukają złośliwych komórek i je niszczą, zanim te zdążą się rozwinąć w guz.

Słonie to zupełnie inna historia. Zamiast próbować naprawiać potencjalnie nowotworowe uszkodzenia w swoim DNA lub wzmacniać układ odpornościowy, utworzyły wiele kopii genu kodującego cząsteczkę o nazwie p53 – strażnika genomu, który w imię wyższego dobra uśmierca komórki przy pierwszych oznakach kłopotów. Ze względu na ogromne rozmiary tych zwierząt ma to sens: jeśli jesteś słoniem, możesz sobie pozwolić na spalanie komórek, więc będzie lepiej, jeśli od razu pozbędziesz się tych podejrzanych.

Naukowcy szczegółowo zbadali również geny stutonowego wala grenlandzkiego, którego trwające dwieście lat, stosunkowo wolne od nowotworów życie czyni go dobrym kandydatem na najdłużej żyjącego ssaka na naszej planecie. Na razie nie jest jasne, w jaki sposób mu się to udaje, ale możliwe, że jest to związane z uzyskaniem lub utratą pewnych genów zajmujących się naprawianiem uszkodzeń DNA lub kontrolowaniem proliferacji komórek.

Na drugim końcu skali znajduje się maleńki nocek Brandta, ważący mniej niż dziesięć gramów – jedną dziesięciomilionową masy potężnego wala grenlandzkiego i mniej więcej połowę tego, co typowa mysz laboratoryjna. To gatunek, do którego należy rekord długości życia wśród równie małych stworzeń – najstarszy udokumentowany osobnik przeżył oszałamiające czterdzieści jeden lat. Chociaż jednak nocki Brandta są złotymi medalistami igrzysk olimpijskich w długowieczności, wszystkie inne gatunki nietoperzy również żyją niezwykle długo w porównaniu z naziemnymi gryzoniami podobnej wielkości.

Z pewnością zdolność latania daje im pewną przewagę, ponieważ mogą zwyczajnie odlecieć, gdy tylko zbliży się do nich drapieżnik, ale wydaje się, że dysponują także kilkoma przydatnymi adaptacjami molekularnymi.

W 1961 roku amerykański mikrobiolog Leonard Hayflick zaobserwował, że większość komórek może dzielić się tylko około pięćdziesięciu razy, zanim zabraknie im pary i umrą. Teraz wiemy, że limit Hayflicka narzucają telomery – czapeczki z DNA i białka znajdujące się na delikatnych końcach chromosomów, które chronią je tak samo jak plastikowa nakładka na końcu sznurówki zapobiega jej strzępieniu się. W większości normalnych komórek zwierzęcych z powodu kapryśków mechanizmu kopiującego DNA telomery stają się odrobinę krótsze za każdym razem, gdy komórka się dzieli. Gdy telomery skurczą się do określonego rozmiaru, komórka umiera. Embrionalne komórki macierzyste obchodzą jednak limit Hayflicka, dzieląc się na potęgę, ponieważ tworzą wszystkie tkanki ciała podczas jego rozwoju. Aby uniknąć kryzysu chromosomowego, aktywują gen kodujący enzym zwany telomerazą, który odbudowuje telomery do odpowiedniej długości podczas każdego podziału komórki.

Ten molekularny minutnik jest naturalnym mechanizmem broniącym przed rakiem, zapobiegającym niekontrolowanemu namnażaniu się komórek. Tak więc reaktywacja telomerazy i zresetowanie zegara telomeru, aby umożliwić niekończącą się proliferację, jest kluczowym krokiem do rozwoju nowotworów. Co ciekawe, u najdłużej żyjących gatunków nietoperzy telomery nie kurczą się z wiekiem, więc mogą one naprawiać swoje małe ciała przez dziesięciolecia. Obchodzenie ograniczeń telomerowego zegara nie wydaje się jednak zwiększać u nich ryzyka zachorowania na raka, co sugeruje, że w ich organizmach muszą działać inne, jeszcze nieznanne mechanizmy przeciwnowotworowe.

Jedna z bardziej brawurowych teorii dotyczących zmniejszonego ryzyka zachorowania na raka u dużych zwierząt zakłada istnienie

czegoś w rodzaju hiperguzów. Są to „supernowotwory”, które pojawiają się w już i tak funkcjonującym wbrew zasadom guzie i jego otoczeniu, a następnie zaczynają niszczyć obecne tam wcześniej zło-wrogie komórki. Koncepcja guza w guzie może brzmieć dziwnie, ale jak zobaczymy później, skoro każdy rak wydaje się mozaiką gene-tycznie unikatowych skupisk komórek, z pewnością jest możliwe, że komórkowe walki wewnętrzne mogą do pewnego stopnia pomóc w stłumieniu wzrostu guza.

Wydaje się również, że istnieje związek między ryzykiem zachorowania na raka a zdolnością organizmu do samoleczenia. Ekspertka od zwierzęcych nowotworów, Amy Boddy, opowiedziała mi, jak udała się do swojej współpracownicy Tary Harrison z zoo w San Diego w poszukiwaniu komórek skóry. Większość ogrodów zoologicznych chętnie udostępnia pobrane w znieczuleniu miejscowym za pomocą małego urządzenia przypominającego dziurkacz niewielkie próbki skóry swoich podopiecznych. W przypadku jednego gatunku – olbrzymiego żółwia słoniowego – odpowiedź brzmiała jednak: nie. Celowe przebicie skóry tego łagodnego olbrzyma powoduje powstanie rany, która goi się ponad rok, podczas gdy u większości innych zwierząt żyjących w zoo trwa to krócej niż tydzień. Na takie zagrożenie dla dobrostanu swoich podopiecznych opiekunowie żółwi nie mogą się zgodzić.

Porównanie powolnego gojenia się pomarszczonej grubej skóry i ochronnej skorupy odpornego na raka żółwia z szybkim zasklepianiem się miękkiej skóry ludzkiej, którą można przeciąć choćby marnym kawałkiem papieru, z pewnością daje do myślenia. Myszy zdrowieją zresztą jeszcze prędzej. Wyewoluowanie zdolności szybkiego zdrowienia oznacza również, że komórki muszą być w stanie szybko przechodzić w tryb rozmnażania, co zwiększa szanse, że któraś z nich stanie się naszym wrogiem. Spośród tych dwóch strategii ewolucyjnych ludzie i myszy wybrali elastyczną skórę i szybkie gojenie kosztem powłoki potencjalnie chroniącej przed rakiem.

Poszczególne gatunki rozwiązały paradoks Peto na różne sposoby. Każdy z nich zastosował własną strategię, aby przetrwać lata reprodukcji w jednym kawalku. Nadal możemy się dowiedzieć wielu rzeczy, badając organizmy, które miliony lat temu obrały inną ewolucyjną ścieżkę niż my.

RAKODPORNE

Chociaż pozornie rak jest wszechobecny na wszystkich gałęziach drzewa życia, jest kilka zwierząt, które po prostu na niego nie chorują. Przynajmniej o ile nam wiadomo. Do tych szczęściarzy należą żebroplawy – przezroczyste stworzenia w kształcie pocisków, mieniające się opalizującymi kolorami tęczy widocznymi między falującymi grzebykami, których używają do przemieszczania się w morzu. Chociaż żebroplawy mogą osiągać rozmiary od zaledwie kilku milimetrów do półtora metra, nie znamy przypadku nowotworu u żadnego ze stu lub więcej opisanych do tej pory gatunków.

Kolejny przykład to płaskowce. Te nieuchwytnie organizmy wodne, uważane za najprostsze istniejące zwierzęta wielokomórkowe, są właściwie jedynie zbiorowiskiem kilku tysięcy komórek należących do raptem czterech typów. Trudno dokładnie określić, jak mógłby wyglądać nowotwór u płaskowców, ale nie wydaje się, aby na niego chorowały. Stworzenia te w niezwykle sposób opierają się rakotwórczym uszkodzeniom spowodowanym promieniowaniem rentgenowskim: po prostu wypychają z powierzchni swoich ciał skupiska uszkodzonych komórek, tak samo jak ty i ja możemy wycisnąć pryszczę.

Są też gąbki. Carlo Maley, dyrektor Centrum Nowotworów i Ewolucji na Uniwersytecie Stanowym Arizony w Tempe, zabrał mnie do swojego laboratorium, żeby pokazać mi wypełniony wodą morską zbiornik pełen kolczastych białych kulek, z których każda ma rozmiar mentosa. To *Tethya wilhelma* – jeden z wielu gatunków gąbek, które wydają się nie niepokojone przez jakąkolwiek formę nowotworów.

„Chcieliśmy znaleźć nowy modelowy organizm, który nadawałby się do badań, taki, którego genom został już zsekwencjonowany i który można wyhodować w laboratorium – mówi Maley i opowiada, że jego kolega Angelo Fortunato spędził kilka miesięcy na tworzeniu idealnego słonowodnego środowiska, aby gąbki były zadowolone ze swojego nowego domu. A teraz, po tym wysiłku, bombarduje je promieniami rentgenowskimi.

I nie jest to delikatne pieszczenie, tylko atak nuklearny pełną gębą. Dla porównania krótka, ostra dawka zaledwie pięciu grejów wysokoenergetycznego promieniowania wystarczy, aby zabić człowieka w ciągu dwóch tygodni od ekspozycji. Fortunato wystawia swoje gąbki na działanie oszałamiających siedmiuset, a one zachowują się, jakby nic się nie stało. Nie ma żadnych widocznych oznak uszkodzeń i z pewnością żadnych nowotworów.

Maley i jego zespół próbują ustalić, dlaczego supergąbki potrafią nie reagować na tak olbrzymią falę uderzeniową – w nadziei, że pomoże to odkryć nowe metody chronienia naszych własnych komórek przed uszkodzeniami wywołanymi promieniowaniem. Badania te mogą pomóc wzmocnić zabójczy wpływ radioterapii na komórki nowotworowe lub skuteczniej chronić zdrowe tkanki wokół nich. W chwili kiedy piszę tę książkę, arizońscy naukowcy wciąż szukają nowych tropów, ale inni badacze znaleźli w gąbkach szereg substancji chemicznych, które blokują wzrost guzów. Te małe morskie stworzenia zdecydowanie ukrywają w swoich niepozornych wnętrzach coś, co powinniśmy z nich wycisnąć.

NOWOCZESNE ŻYCIE TO BZDURY

Rak nie jest ani nową, ani wyłącznie ludzką chorobą, więc nie możemy obwiniać za niego wyłącznie współczesnego trybu życia. Powinniśmy się jednak zastanowić, dlaczego pojawia się tak często u przedstawicieli zamożnych społeczeństw. Według prognoz jedna na dwie osoby

urodzone w Wielkiej Brytanii po 1960 roku w pewnym momencie swojego życia zachoruje na nowotwór. Można to częściowo wytłumaczyć imponującym wzrostem oczekiwanej długości życia – coraz więcej z nas po prostu żyje wystarczająco długo, by umrzeć na raka w podeszłym wieku, zamiast paść ofiarą przemocy, drapieżników czy nieszczęśliwego wypadku albo umrzeć na chorobę zakaźną, z głodu czy podczas porodu.

Dziewiętnastowieczni lekarze byli przekonani, że rak jest chorobą cywilizacyjną, ale jak już wiemy, trudno uzyskać dokładne dane statystyczne dotyczące nowotworów w starożytnych populacjach. Gromadzenie danych na temat współczesnych nam społeczności łowiecko-zbierackich i populacji żyjących mniej „nowocześnie” również jest dużym wyzwaniem. Kraje takie jak Wielka Brytania mają niezwykle szczegółowe statystyki dotyczące nowotworów, opierające się na wyczerpującej dokumentacji medycznej przechowywanej przez National Health Service. Dlatego jest mało prawdopodobne, aby ktokolwiek w tym kraju zmarł na raka i aby nie zostało to odnotowane. Wciąż jednak w wielu częściach świata nowotwór często pozostaje nierozpoznany i nieudokumentowany.

Ludzie mają niezwykłą zdolność adaptowania się do ewoluującego świata – nasze geny potrafią robić to samo. Mamy dowody na zmiany genetyczne, które przetoczyły się przez ludzkie populacje w stosunkowo szybkim tempie, takie jak zdolność trawienia mleka po okresie niemowlęcym dzięki specyficznej zmianie genetycznej, która stała się powszechna około dziesięciu tysięcy lat temu, kiedy rozwinęła się hodowla bydła mlecznego. Wariacja genetyczna odpowiedzialna za niebieski kolor oczu również jest względną nowością, bo pojawiła się zaledwie sześć do dziesięciu tysięcy lat temu. Świat, w którym dziś żyjemy, przeobraża się jednak o wiele szybciej.

Nasze współczesne ciała rozwinęły się w świecie bez pewnego dostępu do żywności, wymagającym większej aktywności fizycznej, z prawdopodobnie innym zestawem chorób zakaźnych i odmiennymi

czynnikami rakotwórczymi. Starożytni mogli się wystawiać na działanie otwartego ognia w pomieszczeniach i chemikaliów będących efektem ubocznym wyprawiania skór lub hutnictwa, ale nie wdychali celowo dymu papierosowego ani nie smażyli się, leżąc na słońcu. Nasz styl życia też bardzo się zmienił. Na przykład kobiety w krajach bardziej rozwiniętych mają mniej dzieci i karmią piersią stosunkowo krótko, ponadto wcześniej zaczynają miesiączkować, a w okresie menopauzy mogą stosować hormonalną terapię zastępczą. Biorąc pod uwagę rolę hormonów we wzroście wielu nowotworów piersi, nietrudno dojść do wniosku, że zmiana równowagi hormonalnej na przestrzeni życia może mieć wpływ na ryzyko zachorowania.

Cała ta dyskusja o strategiach ewolucyjnych sprawia, że zastanawiam się, czy wraz z wydłużeniem życia i średniego wieku, w którym mamy dzieci, nie zaczniemy stopniowo ewoluować w kierunku unikania raka. Niestety każdy naukowiec, którego o to pytam, mówi, że jest to myślenie życzeniowe. Ewolucja działa na przestrzeni tysięcy, nie stuleci, i nasz gatunek po prostu nie miał wystarczająco dużo czasu na przystosowanie się do wszystkich zmian. Nic nie możemy poradzić na powolne tykanie zegara w naszych tkankach, udoskonalanego przez setki tysięcy lat doboru naturalnego.

Zbliżając się do czterdziestki, mam coraz wyraźniejszą świadomość, że powoli osiągam wiek, w którym ewolucja daje sobie ze mną spokój. Mogę robić, co w mojej mocy, nie palić, pilnować wagi, uważać na to, co jem, chronić się przed słońcem i ograniczać spożycie alkoholu, ale tak naprawdę wypowiadam wojnę swojemu biologicznemu przeznaczeniu*. Mimo to, kiedy rozmawiam z Amy Boddy o badanej przez nią menażerii, jestem podekscytowana myślą, że szersze

* Nie można też tego przeznaczenia oszukać. Choć ewolucja doprowadziła ludzi do punktu, w którym istnieje małe prawdopodobieństwo, że zachorują na raka w najlepszych, rozrodczych latach, to nie można go uniknąć, nie decydując się na dzieci.

spojrzenie na nowotwory może ujawnić ważne informacje o tej chorobie – chociaż dziedzina onkologii porównawczej wciąż jeszcze jest w powijakach.

„Moim zdaniem powinniśmy dążyć do tego, by lepiej rozumieć, jak działają nowotwory w innych organizmach i jak pomocna może być ta wiedza w ujawnianiu podstawowej biologii ludzkich słabych punktów. Żałuję też, że nie poświęca się wystarczającej uwagi różnicom między ludźmi z różnych zakątków świata, porównaniom innych populacji i niewielkich społeczności z populacjami zachodnimi – mówi Boddy. – To rozwijany przez miliony lat ewolucji zestaw narzędzi natury, który może dostarczyć nam wszystkich receptur i składników niezbędnych do wytworzenia różnych mechanizmów obronnych przed rakiem i zmniejszenia jego ryzyka. Ewolucja dała nam całkiem niezłą listę tego, co działa”.

Jest jeszcze jeden powód, żeby się zajmować nowotworami zarówno u zwierząt, jak i u ludzi, i to dla dobra tych pierwszych – coś, co często gubi się w antropocentrycznym świecie badań nad rakiem. Boddy z pasją podkreśla, że powinniśmy przykładać taką samą wagę do szukania odpowiedzi na pytanie, dlaczego zwierzęta chorują na raka, jak do tego, dlaczego spotyka to ludzi. Po pierwsze, weterynarze i obrońcy przyrody bardzo chcieliby dowiedzieć się więcej o raku u stworzeń udomowionych, żyjących w niewoli i dzikich – zarówno po to, żeby zrozumieć przyczyny, jak i po to, żeby ustalić, jak go skuteczniej leczyć. Po drugie, nieoczekiwane pojawienie się nowotworów u zwierząt żyjących na określonym obszarze może ujawnić obecność czynników rakotwórczych, których ich ludzcy sąsiedzi również powinni unikać. Być może przy okazji moglibyśmy nawet nauczyć się czegoś od swoich zwierzęcych przyjaciół, na przykład podpatrując najskuteczniejsze adaptacje przeciwnowotworowe w ich organizmach, aby móc je zastosować w swoich własnych zawodnych ciałach.

Świadomość, że rak jest z nami od zawsze i że dotyka prawie każdej gałęzi drzewa życia, nadal jednak nie wyjaśnia, dlaczego tak

jest. Co zmienia normalną, dobrze wychowaną komórkę w łobuza, który wymyka się spod kontroli i powoduje problemy? Aby to pojąć, musimy odkryć zasady rządzące zbiorowiskami komórek we wszystkich żywych istotach i sprawdzić, co się stanie, gdy zostaną złamane.