

Nasza wewnętrzna bioróżnorodność

Myśląc o funkcjonowaniu naszego ciała, myślimy o skomplikowanym mechanizmie działającym wewnątrz pewnej formy życia. Tymczasem prawda widziana z punktu widzenia biologii jest znacznie ciekawsza. Człowiek nie jest wyraźnie oddzielony od reszty świata, stanowi również twór raczej chaotyczny. Jako rezultat milionów lat podążania krętymi ścieżkami ewolucji, jest doraźnym rozwiązaniem służącym replikacji genów, pomysłodawców idei człowieka. Świadczą o tym liczne atawizmy i prowizoryczne rozwiązania konstrukcyjne w naszym ciele.

Spojrzenie na ciało człowieka z tej najniższej perspektywy pozwala na zupełnie nowy poziom rozumienia mechanizmów jego funkcjonowania i zależności pomiędzy tym konkretnym fragmentem świata, który uważamy za domenę naszego „Ja” a resztą środowiska. Granica jest bowiem zaskakująco płynna. Co więcej, towarzyszące nam każdego dnia organizmy w wyraźny sposób wpływają na nasze zachowania, a nawet – być może na kształt naszych myśli.

Gdzie się kończy i gdzie zaczyna człowiek?

Człowiek nie stanowi jednolitego tworu. Rzut oka na ludzki genom pozwala dopatrzeć się w nim fragmentów kodu genetycznego pochodzących prawdopodobnie od wirusów, które z biegiem czasu utraciły swoją naturę, niejako wplatając się w kod genetyczny człowieka. Niewielkie fragmenty kodu genetycznego żyją zaś własnym życiem, nie pełniąc większej funkcji, jedynie się replikując.

Ponieważ mitochondria w komórkach zwierząt i chloroplasty w komórkach roślinnych przed milionami lat stanowiły prawdopodobnie odrębne jednokomórkowe organizmy, które połączyły się z innymi, dając początek komórce, nasze ciało jest rezultatem symbiozy różnych organizmów. We współczesnej biologii powszechne jest rozumienie ewolucji z punktu widzenia genów (powodujących w środowisku określone efekty, nazywane przez nas organizmami), podlegających doborowi naturalnemu pod kątem skuteczności ich funkcjonowania w środowisku. Patrząc z tej perspektywy, ciało ludzkie opisać można jako kolonię komórek, czyli kolonii symbiotycznych organizmów, powstałą z inicjatywy współpracujących ze sobą genów, które w drodze ewolucji nauczyły się (oczywiście metaforycznie, uczenie to odbywało się bowiem na podobnej zasadzie, jak przesiewanie piasku przez sito) tworzyć dla siebie taki, a nie inny wehikuł podróżujący przez czas i przestrzeń.

Najciekawszy jednak jest fakt, że to, co nazywamy ciałem człowieka, jest środkiem realizacji interesów wielu genów, należących do różnych gatunków. Warto poświęcić chwilę na uściślenie tych pojęć. Gatunek jest bowiem dość powszechnie rozumiany przez biologów jako grupa osobników mogących się ze sobą krzyżować. Tym niemniej, z punktu widzenia ewolucji trudno niekiedy postawić wyraźne granice pomiędzy gatunkami. Wystarczy przywołać choćby różne gatunki należące do rodziny ludzkiej – Neandertalczyków, niedawno odkrytych Denisowańczyków¹ i Homo sapiens sapiens, które, jak wskazują badania genetyczne, krzyżowały się między sobą. Kilka procent nas wciąż ma w sobie ich geny i prawdopodobnie przyczyniło się to do polepszenia funkcjonowania naszych układów odpornościowych, dzięki nabyciu nowych przeciwciał. Znacznie lepszym opisem rzeczywistości życia na Ziemi jest „rzeka genów” (metafora użyta przez Richarda Dawkinsa) – nieprzerwana nić łącząca pierwsze żywe komórki z ich żyjącymi współcześnie potomkami, ciągły przepływ genów pomiędzy różnymi tymczasowymi nośnikami (organizmami). Patrząc w ten sposób na różnorodność organizmów zamieszkujących Ziemię, znacznie łatwiej docenić ich wzajemne pokrewieństwo.

Jednym z takich zbiorowisk genów, zainteresowanych skupiskiem materii organicznej znanej jako ciało ludzkie, jest oczywiście Homo sapiens sapiens. Najbardziej oczywistym przykładem jego

towarzyszy jest ludzka flora fizjologiczna. Wchodzące w jej skład bakterie, grzyby i archeony zamieszkują całą niemal powierzchnię skóry, wewnątrz jamy ustnej i układu oddechowego czy kręte zaułki naszego przewodu pokarmowego, a nawet powierzchnię spojówek. W większości wypadków, wchodzące w jej skład organizmy są wobec nas obojętne lub nieszkodliwe. Jednak w stanach osłabionej odporności lub wskutek zaniedbań w dziedzinie higieny, delikatna równowaga populacyjna zostaje niekiedy zaburzona – mówimy wtedy o infekcji oportunistycznej.

Najbardziej zaskakującym faktem dotyczącym tych mikroskopijnych towarzyszy jest ich liczebność względem naszych własnych komórek. Różne zakamarki ludzkiego ciała zamieszkują bowiem rzesze organizmów przekładających się na dziesięciokrotnie więcej komórek niż tych wchodzących w skład ludzkiego ciała. W przypadku dorosłego mężczyzny może to oznaczać nawet dwa kilogramy z wagi ciała! Ponieważ zdarza się, iż odgrywają one istotne funkcje w naszym organizmie, to czy nie powinniśmy co najmniej zacząć się do nich przyznawać i przestać traktować jako obce? Towarzyszą nam one bowiem od samego początku pobytu na świecie, kolonizację nowego człowieka rozpoczynając w momencie narodzin. Niedawne badania pokazują nawet, iż pośród ludzkiej populacji wyróżnić można trzy podstawowe enterotypy, czyli powtarzające się kombinacje mikrobów. Zważywszy na zależność stanu naszego zdrowia od stanu populacji naszych mikroskopijnych towarzyszy, odkrycie to może okazać się istotne dla rozwoju medycyny.

Podszepty wewnętrznej różnorodności

Wpływ pożytecznych mieszkańców naszego układu trawiennego nie ogranicza się wyłącznie do wspomaganego trawienia węglowodanów czy wytwarzania niektórych witamin. Niedawne badania wyraźnie wskazują na to, iż bakterie żyjące w naszych jelitach mają wpływ na nasze zachowanie, nastroje, a nawet osobowość.

Szczególne znaczenie ma w tym wypadku oś podwzgórze-przysadka-nadnercza, czyli układ nieustannej wymiany informacji wewnątrz mózgu, jak również pomiędzy mózgiem a gruczołami nadnerczy. To właśnie przy jej pomocy organizm reguluje reakcje na stres, kieruje trawieniem, układem odpornościowym, a także naszym nastrojem i emocjami. Dużo substancji chemicznych regulujących nasze zachowanie przewija się właśnie przez ten układ, w dużej mierze zresztą wspólny dla wielu organizmów żyjących na Ziemi. Przypuszcza się, że jego zaburzenia odgrywają rolę w powstawaniu niektórych postaci depresji. Ponieważ przez układ pokarmowy przemierzają się ogromne ilości pokarmu – obcej materii organicznej – zarazki i pasożyty mogą skorzystać z owego konia trojańskiego, by wnikać do wnętrza organizmu. W rezultacie, właśnie w przewodzie pokarmowym zbiegają się zawile zależności pomiędzy układem odpornościowym, hormonalnym i neuroendokrynnym (za pomocą produkcji określonych substancji chemicznych regulującym działanie układu nerwowego). Realizuje je m.in. wspomniana wcześniej oś podwzgórze-przysadka-nadnercza.

Nie od dziś wiadomo, że zakłócenia w komunikacji z naszymi niedostrzegalnymi towarzyszami mogą skutkować coraz bardziej rozpowszechnionymi chorobami autoimmunologicznymi, w których układ odpornościowy zwraca się przeciwko komórkom swojego organizmu. Ostatnie odkrycia naukowców z kanadyjskiego McMaster University wskazują, że podobnie może mieć się sprawa z zaburzeniami zachowania. Badacze obserwowali proces uczenia się laboratoryjnych myszy w czasie pokonywania nieznanego im wcześniej labiryntu. Okazało się, że myszy, których organizmy zostały uprzednio wyjałowione z symbiotycznych bakterii, zachowywały się inaczej. Wydawały się znacznie bardziej lękliwe i mniej chętne do eksplorowania labiryntu. Zmiany zaszły także na poziomie fizjologicznym. U myszy wystąpiło również rozregulowanie wydzielania BDNF², substancji kluczowej dla rozwoju neuronów i tworzenia się pomiędzy nimi synaps. Niedostateczna ilość tej substancji obserwuje się czasami u ludzi dotkniętych wieloma rodzajami zaburzeń psychicznych, w tym również zaburzeniami

wywołanymi chronicznym stresem. Inne badania pokazały, że podobne zasiedlenie mysich organizmów przez właściwe im szczepy bakterii powodowało odwrócenie się zmian w zachowaniu.

Interesujące zależności znaleźć można także w wypadku tzw. probiotyków. Zaobserwowano bowiem, że niektóre szczepy bakterii wchodzące w ich skład obniżają poziom lęku i stresu u badanych ludzi. Co więcej, mają również pozytywny wpływ na nastrój pacjentów dotkniętych zespołem jelita drażliwego, często związanego z zaburzeniami natury psychicznej. Mechanizm tego wpływu wciąż wymaga dokładniejszych badań, wydaje się jednak, że bakterie te redukują stany zapalne i poprawiają ogólne odżywienie organizmu. Istnieją dane wskazujące także, iż niektóre typy bakterii zmniejszają produkcję hormonów stresu czy osłabiają biochemiczne procesy występujące u ludzi dotkniętych depresją.

Czy to jeszcze ja, czy już pierwotniaki?

Bardzo ciekawy wpływ na zachowanie człowieka i innych zwierząt ma także toksoplazmoza, choroba pasożytnicza wywoływana obecnością pierwotniaka *Toxoplasma gondii*. Jego ostatecznym żywicielem są koty domowe, rozsiewające jaja pasożyta w odchodach. Do najczęstszych nosicieli należą małe dzieci, bawiące się w piaskownicach dzielonych z poczciwymi dachowcami, które korzystają z nich jako kuwet. Sama choroba pojawia się jednak relatywnie rzadko. Jednym z podstawowych źródeł zakażenia u ludzi jest jedzenie niedogotowanego mięsa i kontakt z odchodami.

Pierwotniaki wywierają specyficzny wpływ na zachowanie nosiciela. Zainfekowane nimi gryzonie tracą wrodzony lęk i stają się beztroskie w obliczu kotów. W niektórych przypadkach wydają się nawet być zainteresowane kontaktem z nimi. Dla gryzonia jest to oczywiście nieporozumienie, dla kota – i zawartych w ciele gryzonia pierwotniaków – doskonała okazja. Zjadając swoją ofiarę, koty wchłaniają oczywiście również pierwotniaka, który trafia w ten sposób do organizmu upragnionego ostatecznego żywiciela. Jest to o tyle istotne, że poza zmianami w zachowaniu, zarażony gryzoń wygląda na zdrowego i nie wzbudza podejrzeń, stanowiąc atrakcyjny kąsek dla drapieżnika. Na czym polega to zjawisko? Okazuje się, że szczególnie dużo cyst pierwotniaka można znaleźć wokół ciała migdałowatego nosiciela, fragmentu mózgu regulującego m.in. emocję strachu.

U ludzi sprawa ma się równie poważnie. Szczególnie dużo osób zakażonych toksoplazmozą znajduje się w populacji schizofreników. Wydaje się, że schizofrenia może być, przynajmniej w niektórych wypadkach, częściowo wywoływana przez zakażenie tymi pierwotniakami. Jednak zdrowi nosiciele *toxoplasma gondii* również przejawiają pewne znaczące zmiany w zachowaniu. Badania przeprowadzone w Czechach wykazały, że mężczyźni mający w organizmach pierwotniaka toksoplazmozy byli bardziej wycofani, mniej skłonni do innowacji, wolniejsi, bardziej metodyczni i lepiej zorganizowani. Częściej też powodowali wypadki drogowe, co może mieć związek z ich opóźnioną reakcją motoryczną. Być może jest to sposób, w jaki w zamierzchłej ewolucyjnej przeszłości pasożyt podsuwał swoje ludzkie ofiary polującym na nie wielkim kotom. Jeśli chodzi o kobiety, stawały się one natomiast bardziej otwarte, wylewne, ufne i mniej podejrzliwe. Czuły się mniej skrępowane, bardziej pewne siebie i usatysfakcjonowane, przejawiały też więcej inicjatywy, co wiązać się może z otwartością seksualną.

Na co dzień towarzyszą nam także znacznie większe organizmy. Jest bowiem niemała szansa, iż właśnie w tej chwili na naszych rękach, skórze lub wewnątrz gruczołów łojowych przechadzają się maleńkie roztocza. Za dnia tkwią zagłębione w skórze, wieczorem wyruszają na poszukiwania pożywienia – łoju, innych wydzielin gruczołów łojowych i złuszczonego naskórka. Maleńki (liczy sobie ledwie 0,1-0,4 mm) nużeniec ludzki to pasożytniczy roztoczek, bardzo rozpowszechniony wśród ludzkiej populacji. Według niektórych szacunków, niemal każdy dorosły może mieć na sobie kilka nużeńców, zwłaszcza na terenach wiejskich. Badanie przeprowadzone na kilkuset mieszkańcach

Nowego Jorku pokazało, iż dzieci i młodzież mają go w $\frac{1}{3}$, dorośli w $\frac{1}{2}$, a ludzie starsi w $\frac{2}{3}$ przypadków.

Zwykle koegzystencja nużeńców z ludźmi przebiega stosunkowo bezproblemowo – zazwyczaj są one po prostu niegroźnymi komensalami i nie wywołują poważniejszych objawów chorobowych. Osłabienie organizmu wywołane np. przebytą chorobą, dużym wysiłkiem lub silnym stresem może spowodować, iż układ odpornościowy utraci kontrolę nad populacją nużeńców i pojawi się ich zbyt dużo. To zaburzenie równowagi nazywane jest demodekozą.

Dziki życie w nas samych

Istnieją jednak całe rzesze znacznie bardziej groźnych pasożytów, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Do niedawna jeszcze nieliczni ludzie byli od nich wolni. Pasożyty stanowiły poważne zagrożenie dla zdrowia i życia całych populacji, odgrywając istotną rolę w doborze naturalnym. W niektórych rejonach świata wciąż są chlebem powszednim, co wydaje się nieprawdopodobne człowiekowi żyjącemu w zachodniej cywilizacji. Okazuje się również, że organizmy te mogły mieć ogromny wpływ na ewolucyjną historię naszego gatunku i kształt dzisiejszych ludzkich społeczeństw, a nawet uprawianej przez nas polityki.

Przez miliony lat nasi przodkowie koegzystowali z pasożytami, co przyczyniało się do nieustannego wyścigu zbrojeń. Z drugiej strony, z punktu widzenia organizmu bardziej opłacalne mogło być niekiedy nie tyle całkowite pozbycie się pasożytów, co raczej utrzymywanie ich populacji w ryzach lub po prostu minimalizowanie wywoływanych przez nie strat. Tzw. hipoteza starych znajomych zakłada, że nasze układy odpornościowe, dostrajając swoją czułość, nauczyły się funkcjonować ze stałą obecnością sublokatorów i dostosowały się do środowiska, jakie stwarzają wydzielane przez nie związki chemiczne, mające za zadanie osłabić czujność naszych przeciwciał. Porównanie szczurów laboratoryjnych (żyjących w sterylnych warunkach) i ich dzikich kuzynów, stanowiących rezerwuuar pasożytów wewnętrznych i zewnętrznych, pokazało, że komórki śledziony tych pierwszych wykazują nadmierną aktywność, jeśli chodzi o reakcję odpornościową. Najprościej rzecz ujmując, ich układ odpornościowy, funkcjonując przy niskim poziomie stresu ze strony patogenów, nie ma nic lepszego do roboty i niejako z nudów atakuje komórki należące do własnego organizmu.

Być może nie inaczej jest z ludźmi. Rewolucja w higienie, jakiej jesteśmy świadkami właściwie od niedawna, zmieniła ową delikatną równowagę sił diametralnie, co zbiegło się ze znacznym wzrostem zachorowań na choroby autoimmunologiczne. Statystyki pokazują, że w niektórych krajach nawet 40% populacji cierpi z powodu jakiejś formy alergii. Jednym z proponowanych wyjaśnień tego faktu jest tzw. hipoteza higieny. Ponieważ nasz genom jest jeszcze niedojrzały, a środowisko, w jakim żyjemy, za sprawą naszej działalności zmieniło się nie do poznania, nie jesteśmy przystosowani do warunków, w których przyszło nam żyć. Nie mamy już towarzyszy, wraz z którymi ewoluowaliśmy.

Pojawiają się już jednak pomysły ponownego zasiedlania ludzkich organizmów towarzyszami, których pochopnie się pozbyliśmy. W wielu doświadczeniach, w których ludzi i zwierzęta w kontrolowany sposób infekowano pasożytami (lub po prostu podawano wydzielane przez nie substancje), rzeczywiście zaobserwowano zmniejszenie objawów w przypadku cukrzycy typu I, zespołu jelita drażliwego, reakcji alergicznej na orzeszki ziemne czy artretyzmu. Spośród obserwowanych przez kilka lat pacjentów chorych na stwardnienie rozsiane, ci, którzy przypadkowo zasiedleni zostali przez pasożyty, mieli mniej objawów. Prowadzi się dalsze badania nad podawaniem pacjentom starannie wyselekcjonowanych pasożytów, bezpiecznych dla nich i dostosowanych do konkretnego przypadku.

Obecność pasożytów w otoczeniu człowieka ma także zaskakujący wpływ na jego stosunek do świata. Przykładowo, brud i obiekty powszechnie uważane za odrażające – zwiastujące obecność patogenów – sprawiają, iż stajemy się bardziej rygorystyczni moralnie. Choć wydaje się to nieprawdopodobne,

zależność ta jest prawdziwa także na znacznie szerszą skalę. Im mniej sterylne środowisko, tym mniej ludzie gotowi są tolerować odmienne od własnych punkty widzenia w kwestiach stylu życia, obyczajowości i moralności. Wzrasta także nacisk, jaki kładą na zachowania mające na celu dobro ogółu. Rozpowszechnienie na świecie postaw liberalnych i konserwatywnych, powiązanych ze stopniem demokratyzacji danego społeczeństwa, być może dałoby się wytłumaczyć rozpowszechnieniem na danym terenie pasożytów i patogenów. Społeczności niechętne wobec odmienności i innowacji żyją najczęściej na obszarach obfitujących w tego typu zagrożenia dla zdrowia. W miarę poprawiania się warunków sanitarnych, ludzie pozwalają sobie na znacznie większą otwartość, tolerancję i indywidualizm. Niektórzy badacze łączą przemiany społeczne, takie jak rewolucja seksualna lat 60. czy zmiany w systemach wartości Europy Zachodniej, z poprawą ogólnej sytuacji zdrowotnej i sanitarnej, a tym samym z mniejszym kontaktem z patogenami w środowisku.

Nasi nieodłączni maleńcy towarzysze, obecni z nami od milionów lat, od zarania dziejów naszego gatunku niezauważalnie wpływają na nasze życie. Ich subtelne podszepty i wynikające z nich zależności wyraźnie pokazują, jak trudno jest wyznaczyć granicę pomiędzy człowiekiem a resztą środowiska. Nasze myśli, poglądy i nastroje stanowią część zachodzącej nieustannie komunikacji między nami i miliardami mikroorganizmów, bez których nie bylibyśmy sobą.

Michał Kosakowski

Michał Kosakowski (ur. 1988) – student psychologii na poznańskim UAM, pasjonat jej biologicznych i ewolucyjnych aspektów. Biega długodystansowo, uwielbia turystykę rowerową, literaturę science-fiction i z zasady nie odmawia dobrej herbaty.

Bibliografia:

- Cryan, J.F., & O'Mahony, S.M. (2011). The microbiome-gut-brain axis: from bowel to behavior. *Neurogastroenterology and motility: the official journal of the European Gastrointestinal Motility Society*, 23 (3)
- Dawkins, R. (1995). *Rzeka genów*. Warszawa: Most
- Neufeld, K.M.; Kang, N.; Bienenstock, J. & Foster, J.A. (2011). Reduced anxiety-like behavior and central neurochemical change in germ-free mice. *Neurogastroenterology and motility: the official journal of the European Gastrointestinal Motility Society*, 23 (3)
- Smith, R. (2010). The worms within. *Scientific American*. Pobrano dnia 10.09.2011 z <http://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/2010/12/17/the-worms-within/>
- Thornhill, R., Fincher, C., & Aran, D. (2009). Parasites, democratization, and the liberalization of values across contemporary countries. *Biological Reviews*, 84 (1)

Przypisy:

1. W marcu 2010 r. w jaskini Denisova w Kraju Ałtajskim odkryto kości palca kobiety, prawdopodobnie należącej do nowego gatunku z rodzaju Homo.
2. BDNF (ang. *brain-derived neurotrophic factor*) – mózgowo pochodny czynnik neurotropiczny.