



**prof. Andrzej W.
Ziemia**

Fizjolog. Zastępca dyrektora ds. operacyjnych w Instytucie Medycyny doświadczalnej i Klinicznej, im. M. Mossakowskiego, PAN. Wieloletni kierownik Zakładu Fizjologii Stosowanej. Badacz fizjologii wysiłków fizycznych, przemian energetycznych, mechanizmów termoregulacji. Były członek Komisji ds. Zwalczania Dopingu w Sporcie. Obecnie sekretarz Towarzystwa Medycyny Sportowej. Członek Rady Programowej Festiwalu Nauki. Odznaczony Srebrnym Krzyżem Zasługi.
ziemba@imdik.pan.pl

GRANICE WYTRZYMAŁOŚCI CZY MOŻLIWOŚCI?



Ekspedycja Nimroda (1907–1909) na Antarktydę, prowadzona przez Ernesta Shackletona, Archive of Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Wikimedia Commons



Z jednej strony nowe rekordy sportowe i podbój kosmosu. Z drugiej – bezbronność wobec skutków zmian klimatu czy nowych wirusów. O zdolnościach adaptacyjnych ludzkiego organizmu opowiada **prof. Andrzej W. Ziemba**.

Czy znamy granice adaptacji człowieka do warunków, jakie dyktuje nam przyroda?

ANDRZEJ W. ZIEMBA: To pytanie nasuwa mi na myśl znakomite dzieło *Granice przystosowania* wybitnego polskiego fizjologa Stanisława Kozłowskiego. Tam w dużej mierze znajduje się odpowiedź. Najogólniej mówiąc, organizm człowieka jest przystosowany do życia w dość wąsko zakrojonych warunkach śro-

dowiska: temperatury, ciśnienia, zawartości gazów w powietrzu itp. Wynika to z historii i ewolucji gatunku *homo sapiens*. Zwierzęta mają pod tym względem znacznie większe możliwości i odbierają znacznie szerszy zakres bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego.

Zacznijmy może od wyjaśnienia, jak wygląda funkcjonowanie człowieka. Trzeba w tym miejscu



Basen, w którym trenuje się stan nieważkości, NASA Neutral Buoyancy Laboratory w Johnson Space Center w Houston w Teksasie, Wikimedia Commons



podkreślić, że interakcja między organizmem i jego środowiskiem wewnętrznym a środowiskiem zewnętrznym jest podstawą adaptacji. Na związanych z nią mechanizmach opiera się koncepcja stresu Hansa Selyego. Zgodnie z nią bodziec ze środowiska (np. zmiana temperatury otoczenia) wyzwała w organizmie wiele reakcji prowadzących do przystosowania do niego. Funkcjonowanie i adaptacja człowieka opierają się na homeostazie, czyli dążeniu do utrzymania równowagi parametrów wewnętrznych. Jest to możliwe dzięki sprzężeniom zwrotnym uruchamiającym reakcje poszczególnych układów organizmu w zależności nie tylko od jego własnych potrzeb, np. w reakcji na posiłek czy wysiłek fizyczny, lecz także tych niezależnych od niego, np. wspomniana adaptacja do zmian temperatury otoczenia, ciśnienia i wszelkich innych warunków środowiska zewnętrznego, które na nas działają.

Czy mamy możliwość przesuwania granic między naszymi możliwościami a warunkami środowiskowymi?

Dzięki swojej inteligencji nasz gatunek wypracował metody omijania barier stawianych możliwościom fizjologicznym przez przyrodę. Najprostszym przykładem jest ochrona przed skrajnymi temperaturami. Teoretycznie człowiek może funkcjonować w stosun-

kowo niewielkim zakresie temperatur otoczenia. Służą mu do tego mechanizmy regulacji zatrzymania lub utraty ciepła. Jednak nasza cywilizacja, której celem jest zwiększanie komfortu życia, pozwoliła wypracować metody ułatwiające przetrwanie w warunkach wykraczających poza jego normalne zdolności adaptacyjne. Są to ogrzewane domy, ubrania na bardzo różną pogodę, klimatyzacja itp. Przekraczanie granic tych możliwości często wiąże się też z chęciami poznawczymi człowieka i marzeniami o przełamywaniu barier czy odkryciach. To właśnie dlatego wciąż testujemy swoje możliwości w podróżowaniu do najbardziej niedostępnych miejsc o skrajnych warunkach, takich jak głębia oceanu, przestrzeń kosmiczna czy wnętrza wulkanów.

Podjęcie tego typu wyzwań pokazuje, jakie szanse przetrwania w ekstremalnych okolicznościach ma człowiek. Literatura naukowa opisuje przypadki niewyobrażalnych wręcz zdolności jego adaptacji, które umożliwiły mu przetrwanie w niebывale trudnych warunkach przyrody. Fascynujące są np. opisy przeżycia człowieka w skrajnych temperaturach. Dotyczy to zwłaszcza wielkich wypraw polarnych Roberta Falcona Scotta, Roalda Amundsena czy Ernesta Shackletona sprzed ponad 100 lat. Szczególne niedowierzanie może do dziś wzbudzać ta ostatnia, podczas której 28 podróżników cudem przeżyło kilkunastomie-



BEN/PCC

sięcną tułaczkę po Antarktyce w skrajnie niesprzyjających warunkach. Równie niezwykła jest historia Jeana-Louisa Étienne'a. Jako pierwszy dotarł samotnie do bieguna północnego. Ciągąc ważące 50 kg sanie, przebył 1100 km w 63 dni w temperaturze otoczenia między -12 a -52 st. C. Jako lekarz Étienne prowadził szczegółowe zapiski dotyczące zmian zachodzących w jego organizmie, które doprowadziły do wielu ważnych wniosków dotyczących fizjologii przetrwania.

Pozostając w temacie ekstremalnie niskich temperatur, historia dostarcza przykładów przeżycia hipotermii, czyli stanu obniżenia ciepłoty ciała poniżej prawidłowego zakresu. Udało się to przetrwać części żołnierzy z wojsk Napoleona podczas odwrotu z Rosji zimą 1812 roku, a także niektórym rozbitkom z *Titani*ca, przez wiele godzin oczekującym na pomoc w lodowatej wodzie. Najniższa temperatura ciała odnotowana u człowieka, który przeżył hipotermię, to 13,7 st. C w odbycie (prawidłowa w tym miejscu to 37,6 st. C). Pomiaru dokonano u Szwedki Anny Bågenholm, która w 1999 roku uległa wypadkowi na nartach, a w jego wyniku utknęła pod warstwą lodu w ekstremalnie zimnej wodzie na 80 minut.

A jak jest ze skrajnie wysokimi temperaturami?

Tolerancja wysokich temperatur otoczenia przez człowieka jest ogólnie znacznie niższa niż w przy-

padku odchyień od normy poniżej zera i wymaga szczególnych warunków. Słynne eksperymenty w tej dziedzinie prowadził w XVIII wieku brytyjski lekarz Charles Blagden, który wraz ze współpracownikami, psem i surowym stekiem wystawiał się na działanie bardzo wysokich temperatur. Okazało się, że nawet gdy stek był już wysmażony, uczestnicy mogli nadal przebywać w rozgrzanej do ponad 120 st. C pomieszczeniu. Eksperymenty tego typu były powtarzane, a ważnym elementem, który umożliwiał badanym wyjście z nich bez szwanku, było utrzymywanie niskiej suchości powietrza przy jednoczesnej wysokiej temperaturze. Sprawiało to, że skóra nie doznawała poparzeń, a organizm mógł prawidłowo bronić się przed gorącym przez pocenie się.

Trzeba jednak pamiętać, że mechanizm oddawania nadmiaru ciepła nie działa bezkosztowo. Jego uruchomienie ponad normę może nieść z sobą niebezpieczeństwo odwodnienia, a wraz z nim utraty cennych elektrolitów, zwłaszcza sodu. W skrajnych sytuacjach może to prowadzić do przegrzania organizmu i śmierci z powodu hipertermii. Pocenie się jest oczywiście procesem, który towarzyszy nam na co dzień. Każdej doby w ten sposób i przez oddawanie moczu człowiek traci około 2,5 litra wody, co uzupełniamy przez picie. W literaturze opisano przypadki utraty nawet 14 litrów w bardzo wysokich temperaturach,

a podczas 90-minutowego meczu rozgrywanego w neutralnych warunkach termicznych piłkarze mogą stracić do sześciu litrów. Te utracone zasoby wody muszą być na bieżąco bilansowane przez uzupełnianie płynów.

Tym samym człowiekowi dużo trudniej przetrwać bez picia niż bez jedzenia. Strajki głodowe nie trwają dłużej niż trzy tygodnie, bo po tym czasie pojawiają się niebezpieczne objawy zagrażające życiu. Bez wody człowiek może przetrwać maksymalnie do trzech dni. Trzeba o tym pamiętać, nie tylko zabezpieczając organizm podczas letnich upałów, lecz także w obliczu zbliżających się zmian klimatu, kiedy jej brak stanie się problemem społecznym i politycznym.

Czy coraz lepsze wyniki sportowców z różnych dyscyplin też mogą wskazywać na przekraczanie możliwości fizycznych człowieka?

Jak najbardziej. Sytuacja wzmożonej aktywności fizycznej wymaga zwiększonej pracy większości układów organizmu, zaczynając od układu oddechowego, krążenia, mobilizacji rezerw energetycznych przez układ hormonalny itd. Reakcje człowieka na wysiłek fizyczny w różnych warunkach (w pracy albo np. przy chorobach krążenia), a także jego wpływ na inne procesy, np. starzenia się, leżą w centrum naszych zainteresowań badawczych. Wiele wyników uzyskanych w Zakładzie Fizjologii Stosowanej Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej im. M. Mossakowskiego PAN stanowi już dziś wiedzę podręcznikową. Obecnie we współpracy z Centralnym Ośrodkiem Me-

Próba wysiłkowa
przeprowadzana
w Instytucie
Medycyny Doświadczalnej
i Klinicznej PAN



dycyny Sportowej pracujemy nad tzw. syndromem przetrenowania, na który cierpią niektórzy sportowcy i który jest ewidentnym załamaniem możliwości adaptacyjnych organizmu do wzmożonej aktywności fizycznej. Manifestuje się to nagłym pogorszeniem zdolności wysiłkowych zawodnika i uzyskiwanych wyników sportowych.

Jest jeszcze inny interesujący temat: wysiłki ultrawyrzmałościowe. Są obecnie bardzo popularne i dotyczą wielodniowych zawodów sportowych, np. bieg przez Alpy czy triathlon Ironmen. To już nie są zwykłe maratony polegające na przebiegnięciu 42 km 195 m. W dążeniu do granic możliwości adaptacyjnych organizmu są organizowane zawody takie jak ultramaraton (bieg na dystansie większym niż maraton, czyli powyżej 42,195 km – przyp. red.) w Dolinie Śmierci w Kalifornii (dystans 217 km w temperaturze 50 st. C) czy z Sydney do Melbourne odbywający się w latach 80. W przypadku tego ostatniego zapadł mi w pamięć 61-letni farmer, Cliff Young, który pokonał dystans 875 km w ciągu 5 dni, 15 godzin i 4 minut. Udało mu się to m.in. dlatego, że – w przeciwieństwie do innych uczestników – nie robił przerw na sen. Są to spektakularne przykłady przekraczania granic możliwości fizjologicznych człowieka.

Takie wysiłki wiążą się z niewyobrażalnym wydatkiem energetycznym. Przykłady z literatury podają wartości nawet do 24 tys. kcal na dobę (dla porównania u człowieka prowadzącego siedzący tryb życia wydatek rzadko przekracza 3,5 tys. kcal). Mimo opracowania specjalnych strategii żywieniowych, zawierających m.in. wysokoenergetyczne batony, wytwarza się deficyt energetyczny. Wyczerpaniu ulegają zasoby węglowodanów i tłuszczów – podstawowych źródeł energii. Wówczas organizm zaczyna wykorzystywać do produkcji energii białka, w tym te tworzące jego strukturę. Innymi słowy: organizm zaczyna siebie sam zjadać. Taki efekt uważa się za najpoważniejszy negatywny skutek nadmiernego wysiłku fizycznego, a w skrajnych przypadkach można go porównać do stanu organizmu po wyniszczającej głodowce czy walce z nowotworem.

A z czym ludzki organizm może sobie zupełnie nie poradzić?

Moim zdaniem organizm człowieka nie ma wystarczających zdolności adaptacyjnych w obliczu postępujących zmian klimatu i innych globalnych wyzwań, jak kryzysy zdrowotne. Nie mamy odpowiednio wykształconych mechanizmów radzenia sobie z falami upałów, brakiem wody czy pojawianiem się nowych wirusów i bakterii przenoszonych przez gatunki inwazyjne z różnych stron świata. Równowaga między człowiekiem a środowiskiem została głęboko zaburzona i bardzo trudno ją dziś przywrócić. Rozwiązaniem problemu wysokich temperatur, które mogą stosować bardziej zamożne społeczeństwa, jest klimatyzacja.



BAKHUR NICK/SHUTTERSTOCK.COM

Astronauta na Księżycu

Jest to jednak rozwiązanie doraźne i pogłębiające wysokie zużycie energii leżące przecież u podstaw problemu tej kwestii. Nie potrafimy też funkcjonować bez wody, która jest źródłem każdego życia. O ile więc do tej pory cywilizacja radziła sobie całkiem nieźle w zabezpieczeniu możliwości adaptacyjnych człowieka przed szkodliwymi bodźcami środowiska zewnętrznego, to w pewnym momencie została przekroczona pewna bariera, w której ochrona możliwości przystosowawczych będzie już niemożliwa. I to się dzieje właśnie teraz.

A na czym powinniśmy się skupić, jeśli chodzi o poprawę zdolności obronnych organizmu ludzkiego?

Na tym, nad czym nauka pracuje obecnie – na polepszeniu adaptacji organizmu, jeśli chodzi o jego odporność na bakterie i wirusy. Zarówno na te, które nam zagrażają już dziś, jak i te, które nie są jeszcze znane. Przyroda dyktuje nam nowe wyzwania, nie tylko te związane ze zmianami klimatu, lecz także inne. Przykładem jest obecna pandemia COVID-19. Człowiek w wyniku swojej działalności drastycznie zmniejszył dystans między sobą a dziką przyrodą. Powoduje to zagrożenia, które przekraczają nasze zdolności adaptacyjne i na które nie jesteśmy przygotowani. Jest to jedno z globalnych wyzwań dotyczące wydolności ludzkiego organizmu. Nad metodami ochrony przez nowymi wirusami pracuje wiele laboratoriów na całym świecie. Nie jest to jednak łatwe, ponieważ większości zagrożeń nie znamy.

Jakie dziedziny zajmujące się granicami ludzkiego organizmu budzą dziś emocje naukowców?

Z mojej perspektywy jako fizjologa najbardziej inspirujące są badania nad przeniesieniem części ludz-

kości na inne planety. Myślę, że stworzenie takich uwarunkowań na innych planetach, by zamieszkała tam niewielka grupa osadników, jest całkowicie możliwe. Wymagałoby to oczywiście stworzenia dla tych śmiałków w sztuczny sposób warunków życia zbliżonych do ziemskich: temperatury, ciśnienia i zawartości powietrza oddechowego. Byłoby to możliwe dla niewielkiej liczby osób. Jestem jednak sceptyczny co do możliwości zaludniania wybranych planet na większą skalę. To właśnie życie na Ziemi wykształciło mechanizmy adaptacji, którymi dziś dysponujemy, czyli to, jak dziś funkcjonują nasze organizmy. Jednym z nich jest funkcjonowanie w określonych warunkach grawitacyjnych.

Trzeba pamiętać, że astronauta pozostający w stanie nieważkości, czyli pozbawieni siły ciężkości przez dłuższy czas, doświadczają wielu niekorzystnych i szkodliwych zmian w organizmie. Naukowa dokumentacja tych zjawisk jest bardzo bogata i pochodzi nie tylko z badań astronautów podczas lotów kosmicznych i po ich zakończeniu, lecz także z badań prowadzonych na Ziemi. Warunki zbliżone do kosmicznych można osiągnąć np. w głębokim basenie. NASA dysponuje takim głębokim na ponad 12 m obiektem w Houston, w którym prowadzi szkolenia i testy.

Przekraczanie granic możliwości często wiąże się też z chęciami poznawczymi człowieka i marzeniami o przełamywaniu barier czy odkryciach.

Wpływ braku ciężenia na ciało można też badać u człowieka, który przez dłuższy czas (dużo dłuższy niż zwykły czas wypoczynku) po prostu leży. Zmiany, jakie wówczas następują w organizmie, są niemal identyczne z tymi, które obserwuje się w podczas lotów poza sferę przyciągania ziemskiego. Człowiek leżący doświadcza braku grawitacji, bo jest pozbawiony wysiłku fizycznego i nacisku na kości długie. Taka utrzymująca się przez dłuższy czas sytuacja ma swoje poważne konsekwencje fizjologiczne obejmujące wszystkie układy organizmu. Podczas długotrwałego leżenia zmniejsza się masa i siła mięśni, upośledza się tolerancja glukozy (stan podobny do przedcukrzycowego), wzrasta utrata wapnia (zwiększa łamliwość kości) i elektrolitów z organizmu, obniża wydolność fizyczna itd. Badania na ten temat również prowadziłyśmy w naszym instytucie we współpracy z NASA.

ROZMAWIAŁA DR JUSTYNA ORŁOWSKA