

i okazuje się, że może ona mieć spory wpływ na naszą aktywność w różnych dziedzinach – nie tylko na działalność naukową i nie tylko negatywnie. Są pomysły, aby używać tej bakterii jako naturalnej metody zwalczania szkodliwych lub przenoszących choroby owadów, na przykład przez wprowadzenie do populacji pewnej liczby samców zainfekowanych wariantem bakterii powodującym CI. Doprowadzi to do nieudanych kojarzeń i w efekcie do wymarcia

populacji. Innym pomysłem jest skracanie długości życia owadów – wektorów choroby poprzez zarażenie tą bakterią. Chodzi o to, aby owad nie dożył do momentu, kiedy przenoszona przez niego choroba może stać się groźna. Są też rozważane metody transgeniczne powiązane z tą bakterią. Wiele zagrożeń, nadziei, a przede wszystkim nowych pól naukowych do zbadania i nowych faktów do odkrycia czeka nas w związku z tym niewielkim endosymbiontem.

Mgr Benjamin Waclawik jest doktorantem w Zakładzie Entomologii Instytut Zoologii UJ. E-mail: beniamin@wacławik.eu.

TLEN: DAJE ŻYCIE I MÓWI O ŻYCIU – WYKORZYSTANIE TRWAŁYCH IZOTOPÓW TLENU W ANTROPOLOGII

Katarzyna Mądrzyk, Patrycja Noga, Małgorzata Kępa (Kraków)

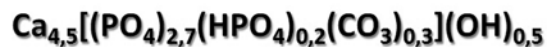
Podczas prac wykopaliskowych, kiedy odnalezione zostają szczątki ludzkie, antropolodzy i archeolodzy zadają sobie wiele interesujących pytań: kim byli ci, których odkryliśmy, jak żyli, co jedli i pili, czy podróżowali? Odpowiedzi na te pytania mogą dostarczyć analizy trwałych izotopów, którymi od kilku lat interesują się naukowcy. Trwałe izotopy takich pierwiastków jak azot, węgiel, stront oraz tlen są najczęściej wykorzystywane w powyższych badaniach (Tab. 1). Są one włączane w organiczne lub nieorganiczne elementy kości i zębów. W związku

Tab. 1. Procentowy udział izotopów wybranych pierwiastków wykorzystywanych w analizach antropologicznych.

Pierwiastek	Izotopy	Zawartość w środowisku [%]
Azot	¹⁴ N	99.63
	¹⁵ N	0.37
Tlen	¹⁶ O	99.76
	¹⁷ O	0.04
	¹⁸ O	0.2
Stront	⁸⁴ Sr	0.56
	⁸⁶ Sr	9.87
	⁸⁷ Sr	7.04
	⁸⁸ Sr	82.53
Węgiel	¹² C	98.89
	¹³ C	1.11

z faktem, że szkielet, jako bardziej odporny na zmiany tafonomiczne niż tkanki miękkie, jest podstawowym źródłem wiedzy odnośnie historii strategii życiowych naszych antenatów. Dzięki nowoczesnym technikom możliwe jest izolowanie i pomiar zawartości konkretnych izotopów w tkankach kostnych. Na podstawie otrzymanych wyników w zależności od badanego pierwiastka naukowcy mogą wnioskować między innymi o diecie osobnika, klimacie w jakim żył, a także określać długość okresu karmienia piersią czy badać migracje.

W trakcie życia człowiek pobiera wodę środowiskową, a znajdujący się w niej tlen wykorzystywany jest w różnych procesach metabolicznych, m.in. wbudowywany jest we frakcje nieorganiczne kości, jakimi są kryształy hydroksyapatytu (Ryc. 1). Źródłem obecnej w organizmie wody ustrojowej jest w zdecydowanej większości woda pitna, ale także ta

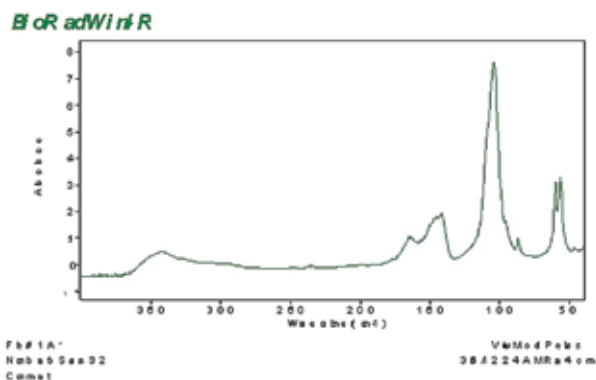


Ryc. 1. Wzór sumaryczny części nieorganicznej kości, czyli hydroksyapatytu.

zawarta w innych składnikach naszego pożywienia. Tlen z wody ustrojowej wchodzi w skład apatytów kostnych, a dokładniej wbudowuje się w reszty fosforanowe i węglanowe. Badania antropologów koncentrują się na wyizolowaniu tych reszt przy pomocy odpowiednich procedur analitycznych i dokonaniu pomiaru izotopów tlenu w nich zawartych z użyciem spektrometru masowego. W efekcie otrzymywane są

wartości składu izotopowego kości naszych przodków, a w przypadku trwałych izotopów tlenu wiedza ta jest podstawową informacją o ich pochodzeniu oraz długości karmienia mlekiem matki.

W trakcie zalegania szczątków w ziemi może zaistnieć interakcja pomiędzy tkanką kostną a otoczeniem grobowym. Dochodzić może wówczas do pośmiertnej wymiany pierwiastkowej (tzw. proces diagenety). W świetle prowadzonych badań izotopowych zjawisko diagenety jest bardzo niekorzystne, ponieważ wyniki uzyskane ze zmienionego w ten sposób materiału nie oddają stanu rzeczywistego. Obecnie powszechnie używana metodą do określania czystości próby materiału kostnego jest spektrometria w zakresie podczerwieni z transformacją Fourier'a FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry). Po wykonaniu dokładnej analizy widma spektralnego materiału osteologicznego (Ryc. 2) można wyznaczyć indeks krystaliczności oznaczany jako CI ($CI = (A_{[565]} + A_{[605]}) / A_{[595]}$), który może ukazać zmiany jakie zaszły w budowie danej kości po śmierci osobnika. Wynik odnosi się do normy, w obrębie której dana próbka powinna się znajdować. Zakres CI dla kości niezmienionej diagenetycznie wynosi od 2,50 do 3,3. Jeżeli badana kość mieści się w danym przedziale możemy dopiero zakwalifikować ją do dalszych badań bez obaw, że

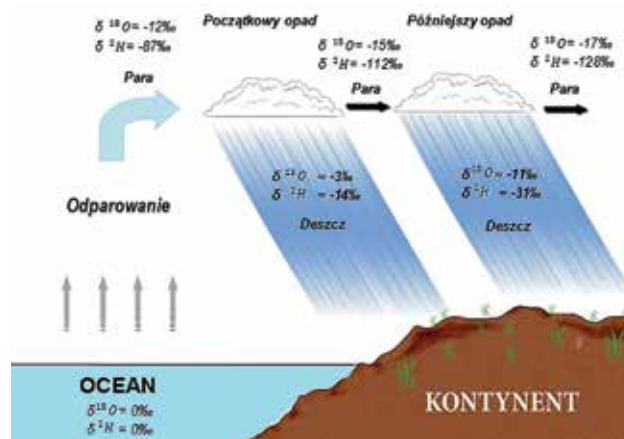


Ryc. 2. Przykładowe widmo spektralne, które następnie analizowane jest w celu potwierdzenia czystości próbki materiału osteologicznego.

uzyskamy błędne wyniki a w konsekwencji wnioski.

W poszukiwaniu wskazówek dotyczących mobilności danej grupy pierwszą i najprostszą czynnością możliwą do wykonania już na miejscu eksploracji jest analiza obrządku pogrzebowego lub wyposażenia grobowego w postaci różnorodnych artefaktów archeologicznych. Czasem jednak zdarza się, że te informacje nie są jednoznaczne lub poza szkieletem w grobie nie ma nic wskazującego na pochodzenie tej osoby. Z tego względu współcześnie badania trwałych izotopów tlenu stanowią metodologiczną podstawę w śledzeniu wędrówek dawnych ludzi. Tego rodzaju badania są możliwe w związku z faktem, że woda w różnych częściach świata

ma odmienne proporcje izotopowe – w jednym miejscu przeważa frakcja cięższego (^{18}O) izotopu tlenu w stosunku do lżejszego (^{16}O). Innymi słowy współczynnik $\delta^{18}\text{O}$ (wyliczany ze wzoru: $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left[\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{próbki}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000$) jest zmienny geograficznie i charakterystyczny dla danego miejsca, a jego wielkość zależy od takich czynników jak temperatura, wilgotność środowiska, wysokość nad poziomem morza oraz



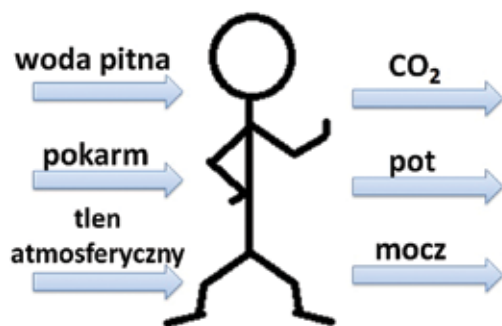
Ryc. 3. Zmiany $\delta^{18}\text{O}$ w środowisku (za Stepańczak 2011).

odległość od akwenów wodnych i morza (Ryc. 3).

Wartości izotopowe tkanki uzyskane z materiału kostnego, ze względu na to, że człowiek odżywia się tym, co jest dostępne na terenie, który zamieszkuje, są bezpośrednio związane z wartością izotopową tlenu danego środowiska. W związku z tym poziom izotopowy uzyskany ze szkieletu należy odnieść do tego pochodzącego z terenu przypuszczalnego miejsca pochodzenia badanych osobników. Jedną z możliwości jest uzyskanie tych informacji bezpośrednio ze środowiska, a dokładniej mówiąc m.in. z okolicznych zbiorników wodnych lub wody opadowej. Inną metodą jest odniesienie stosunku $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ analizowanej grupy do zebranych próbek szkieletów zwierząt zamieszkujących ten teren w tym samym czasie co badana grupa ludzi. Wybór gatunków zwierząt do tej analizy jest uzależniony np. od dostępności materiału na stanowisku lub fauny badanego regionu. W tym miejscu należy wspomnieć, że wartość stosunku izotopowego $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ w organizmie tak samo ludzi jak i zwierząt jest wypadkową procesów wchłaniania i wydalania (Ryc. 4) i w związku z tym mogą zaistnieć różnice międzygatunkowe w składzie izotopowym materiału osteologicznego. Wynikają one z odmiennej fizjologii organizmu związanej m.in. z wielkością ciała, tempem metabolizmu czy też rodzajem diety.

Dzisiejszy stan wiedzy na temat izotopów tlenu daje możliwości dokładnego oszacowania diety zarówno osobników dorosłych jak i dzieci. Od

pewnego czasu jednym z ważnych aspektów badań jest zagadnienie odstawienia dziecka od naturalnego pokarmu matczynego. W organizmie dzięki różnym



Ryc. 4. Ustalanie się równowagi izotopowej tlenu w organizmie.

procesom dochodzi do frakcjonowania izotopów w wyniku czego w naszych tkankach ustrojowych pozostaje wyższe... izotopu ^{18}O , niż w wodzie pitnej. Frakcjonowanie jest zjawiskiem, w którym obserwuje się odmienne proporcje izotopów w różnych związkach chemicznych lub stanach skupienia. Zmiana stosunków izotopowych zachodzi np. w trakcie parowania, a zjawisko to obserwowane jest także w procesach biologicznych. W zależności od aktywności osobnika i środowiska w którym żyje, lżejsze izotopy ^{16}O są silniej usuwane z naszego organizmu. W efekcie tego dziecko, które jest karmione wyłącznie mlekiem matki otrzymuje od niej więcej izotopu cięższego w stosunku do lżejszego. Natomiast karmiąca matka sama pozyskuje izotopy wraz z wodą pitą, jaką posiadała w diecie, której skład różni się od jej mleka. Poziomy troficzne dziecka i matki są inne, co odzwierciedla się w tym, że niemowlęta karmione piersią będą miały wyższy poziom izotopowy $\delta^{18}\text{O}$ niż ich matki oraz te niemowlęta, które nie są karmione piersią.

W trakcie śledzenia mobilności danego osobnika czy też wieku odstawienia od piersi antropolog wykorzystuje wiedzę z zakresu różnego tempa formowania się poszczególnych tkanek kostnych człowieka. Zęby formują się w okresie dzieciństwa i wczesnej młodości, lecz proces ten zaczyna się jeszcze w okresie płodowym, a kolejność powstawania zawiązków zębowych oraz wyrzynania jest stała i dobrze poznana. Kiedy zęby przyjmują swoją ostateczną formę przestają być metabolicznie czynne, co oznacza, że wszystkie izotopy, które zostały włączone w apatyty

w czasie powstawania zęba pozostają w stanie niezmienionym aż do śmierci. Inaczej jest w przypadku kości, których skład zmienia się w trakcie całego życia osobniczego. Proces ten znany jest pod nazwą remodelowania kostnego. Im organizm jest starszy, tym proces wymiany pierwiastkowej zachodzi wolniej (u dorosłych trwa ok. 10 lat, natomiast u dzieci ok. roku). Jeżeli badacz zmierzy poziom $\delta^{18}\text{O}$ z próbek zębów oraz kości z tego samego osobnika otrzymuje wówczas informacje z różnych etapów ontogenezy. W badaniach migracji ludności pradziejowej badacz uzyskuje ze szkieletu informacje o miejscu przebywania osobnika w okresie dzieciństwa (analiza zębów) oraz w ostatnich latach jego życia (badania kości). Izolując trwałe izotopy tlenu z materiału odontologicznego dzieci (dotyczy to zębów mlecznych oraz stałych) można określić, kiedy dziecko odstawione zostało od pokarmu matczynego.

Badania trwałych izotopów są obecnie coraz częściej wykorzystywane przy opracowaniach antropologicznych. Te metody, pod warunkiem rzetelnego wykonania całej procedury i potwierdzenia czystości próby przed dokonaniem pomiarów, są wiarygodne i razem z analizą archeologiczną uzupełniają się wzajemnie. Informacje jakie można uzyskać w ten sposób często były niemożliwe do otrzymania przy pomocy tradycyjnych metod badawczych. Analiza trwałych izotopów tlenu daje możliwości poznania mobilności ludności pradziejowej oraz długości karmienia dziecka mlekiem matczynym, co więcej, w dalszej interpretacji można wyciągać wnioski przykładowo na temat statusu społeczno-ekonomicznego tej populacji lub poszczególnych grup w jej obrębie oraz zmian paleoklimatycznych i środowiska naturalnego. Dodatkowo badania migracji można uzupełnić dokonując analizy z wykorzystaniem trwałych izotopów strontu, a w przypadku opracowywania procesu odstawienia od piersi – izotopów azotu.