

ALEKSANDRA LISOWSKA-GACZOREK, KRZYSZTOF SZOSTEK, JACEK WRZESIŃSKI

Analiza trwałych izotopów węgla i azotu w szczątkach osobników pochowanych na grodzisku w Grzybowie

ABSTRAKT: Artykuł prezentuje wyniki badań izotopowych kości ludzkich z dwóch grobów szkieletowych odsłoniętych w trakcie badań wykopaliskowych w roku 2018. Materiał badawczy stanowiły zęby ze szkieletu osobnika dorosłego, mężczyzny zmarłego w wieku *Maturus* (grób nr 1/2018) i zęby dziecka zmarłego w wieku *Infans I* (grób nr 2/2018). Jako materiał porównawczy w badaniach wykorzystano kości długie i zęb zwierząt z obiektów, w które wkopane były groby. Rekonstrukcję diety osobników przeprowadzono poddając analizie 8 prób – cztery pobrane ze szkieletów ludzkich i cztery z kości zwierzęcych.

SŁOWA KLUCZOWE: Grzybowo, stan. 1, wczesnośredniowieczne groby szkieletowe, analiza trwałych izotopów węgla i azotu, rekonstrukcja diety osobników

ABSTRACT: The article presents the results of isotopic studies of human bones from two skeletal graves uncovered during the 2018 excavations. The study material consisted of teeth from the skeleton of an adult male who died at the age of *Maturus* (grave no. 1/2018) and teeth of a child who died at the age of *Infans I* (grave no. 2/2018). Long bones and a tooth of animals from the sites into which the graves were buried were used as comparative material in the study. Reconstruction of the diet of individuals was carried out by analysing 8 samples – four taken from human skeletons and four from animal bones.

KEYWORDS: Grzybowo, site 1, early medieval skeletal graves, analysis of stable isotopes of carbon and nitrogen, reconstruction of the diet of individuals

Wstęp

Badania trwałych izotopów stanowią nowoczesną, sprawdzoną metodę analizy materiału szkieletowego. Praco- i czasochłonne badania laboratoryjne wynagradzają bardziej precyzyjne niż w przypadku metod pośrednich wnioski na temat pochodzenia czy strategii odżywiania naszych przodków. Dlatego analizy izotopowe są obecnie uznawane za „złoty standard” w rekonstrukcji diety populacji

historycznych, a także wiarygodną metodę w analizach pochodzenia. Techniki izotopowe stosowane są coraz częściej w odniesieniu do populacji historycznych z obszaru całego świata, reprezentujących różne okresy chronologiczne [np. Fischer et al. 2007; Turner et al. 2007; Stantis et al. 2016; Mnich et al. 2020; Tomczyk et al. 2020a].

Analizom trwałych izotopów poddano szczątki wyeksplorowane na stanowisku archeologicznym w Grzybowie¹. Przekazany do badań ludzki materiał szkieletowy pochodził z badań archeologicznych prowadzonych na wczesnośredniowiecznym grodzisku w Grzybowie, stan. 1 (gm. Września). Dwa groby (osobnika dorosłego i małego dziecka) zostały zarejestrowane w wykopie II/2018. Badania były prowadzone przez Rezerwat Archeologiczny Gród w Grzybowie, oddział Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy. Wykonane badania ¹⁴C (materiału kostnego osobnika dorosłego) pozwalają sytuować pochówki w obrębie wieku XII-XIII. Oba groby są niezwykle ważne dla badań grodziska. Po pierwsze, są to dwa pierwsze pochówki, jakie ujawniono nie tylko na terenie grodu, ale i w szerszym odniesieniu, w obrębie grzybowskiemu ośrodka osadniczego. Po drugie, ich datowanie na wiek XII-XIII pozwala przesunąć koniec funkcjonowania grodu, co najmniej na wiek XIII. Dotąd uważano, że gród funkcjonował do połowy XI wieku.

Jako materiał porównawczy dla szczątków ludzkich z grobów 1/2018 i 2/2018 do badań przekazano próby kości zwierzęcych pochodzące z wykopu II/2018, pozyskane w ramach archeologicznych prac wykopaliskowych.

Cele

Plan badań izotopowych przeprowadzonych na szczątkach ludzkich wyeksplorowanych na stanowisku w Grzybowie obejmuje określenie pochodzenia i ewentualnych migracji osobników (izotopy tlenu) oraz rekonstrukcję ich diety (izotopy węgla i azotu). W związku z trwającą procedurą oznaczenia proporcji izotopowych tlenu w próbkach fosforanów apatytowych wyizolowanych w Laboratorium Badań Izotopowych UKSW w Warszawie, dane izotopowe nie mogą zostać poddane interpretacji. Zrealizowany zostanie cel związany z rekonstrukcją diety osobników.

Materiał

Rekonstrukcję diety osobników przeprowadzono z zastosowaniem analizy trwałych izotopów węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i azotu ($\delta^{15}\text{N}$). Materiał badawczy stanowiły szczątki dwóch osobników. Pierwszym z nich był mężczyzna w kategorii wieku *Maturus* (grób 1/2018), ze szkieletu którego pobrano dwa zęby stałe – górny lewy I² oraz

¹ O odkryciu grobów i badaniach grodu w Grzybowie patrz Wrzeńska, Wrzeński w tym tomie.

dolny prawy M_2 . Drugim osobnikiem było dziecko w kategorii wieku *Infans I* (grób 2/2018), od którego do analizy pobrano ząb mleczny dolny lewy m_2 i ząb stały dolny M_1 lewej strony. Materiał szkieletowy wydatowano metodą radiowęglową na wiek XII-XIII.

W związku z faktem, iż dostępny był materiał odontologiczny, analizy skoncentrowały się na rekonstrukcji sposobów odżywiania na wczesnych etapach rozwoju ontogenetycznego badanych osobników.

Materiałem porównawczym w badaniach były fragmenty kości długich trzech świń (nr inw. 107/2018) oraz ząb przedtrzonowy szczęki czwartego zwierzęcia (nr inw. 127/2018), będącego również przedstawicielem gatunku świnia domowej (*Sus scrofa f. domestica*).

Podsumowując, analizę przeprowadzono łącznie na 8 próbkach. Cztery z nich pobrano ze szkieletów ludzkich (po 2 próbki pobrane od każdego osobnika) oraz 4 z kości zwierzęcych (każda próbka pochodziła ze szkieletu innego zwierzęcia z gatunku *Sus scrofa f. domestica*).

Metody

Procedurę izolowania kolagenu z próbek przeprowadzono z zastosowaniem metody zaproponowanej przez H. Bocherensa oraz H. Bocherensa i D. Drucker [Bocherens et al. 1997; Bocherens, Drucker 2003]. Kolagen został wyizolowany z korzeni zębów ludzkich (m_2 , M_2 , I^2), z zębiny korony ludzkiego zęba M_1 oraz z fragmentów istoty zbitych trzonów kości długich i korzenia jednego zęba w przypadku materiału zwierzęcego. Materiał oczyszczono mechanicznie w myjce ultradźwiękowej. Następnie uzyskane fragmenty zostały wysuszone i zmielone w młynie wibracyjnym (Testchem). Zmielony materiał odważono na próbki o wadze około 0,3 g. Do każdej próbki zawierającej naważkę materiału dodano 1M HCl i pozostawiono na 20 minut. Następnie nierozpuszczoną frakcją próbki inkubowano w 0,125M NaOH przez dobę w temperaturze pokojowej celem oczyszczenia próbki. Po upływie tego czasu dodano kolejny odczynnik 0,001M HCl i przeprowadzono inkubację próbek w łaźni wodnej w temperaturze 90°C przez 17 godzin, aż do całkowitego rozpuszczenia pyłu kostnego/zębowego. Około 1-2 ml roztworu rozpuszczonej próbki przeniesiono do probówek z filtrem (Amicon). Proces filtrowania pozwolił na wychwycenie białek niekolagenowych i uzyskanie czystego kolagenu, który następnie poddano procesowi liofilizacji. Oznaczenie składu izotopowego $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ wykonano z wykorzystaniem Analizatora elementarnego Costech ECS 4010 sprzężonego z Thermo Scientific ConFlo IV i ze spektrometrem masowym Thermo Scientific Delta V Advantage z przepływem ciągłym w Scottish Universities Environmental Research Centre (SUERC).

Analiza obejmowała również wyznaczenie wartości parametrów charakteryzujących stan zachowania analizowanego materiału (%C i %N w kolagenie oraz C/N). Kolagen, który nie został zanieczyszczony *post mortem* w stopniu, który

mógłby zaburzyć właściwą interpretację wyników badań, charakteryzuje się stosunkiem C/N w zakresie od 2,9 do 3,6 [DeNiro 1985; Jørkov et al. 2007], natomiast jego procentowa zawartość węgla i azotu powinna być większa niż 25% w przypadku węgla i 10% w przypadku azotu [Ambrose 1990: 431-451; Pate et al. 2016].

Wzorcami laboratoryjnymi użytymi w analizach były: azot atmosferyczny (AIR) oraz PeeDeeBelemnite (PDB).

Zastosowane modele:

1. Aby określić średni udział produktów pochodzących z pożywienia szlaku fotosyntetycznego C₃, zastosowano liniowy model mieszany, oparty o wartości izotopowe węgla [Dewar, Pfeiffer 2010; Pate et al. 2016]. W celu zbadania procentowego udziału diety C₃ zastosowano najniższą wartość trwałych izotopów węgla, charakterystyczną dla kolagenu pochodzącego z analizowanych w niniejszej pracy zwierząt (-21.6‰) oraz wartość -7‰, charakterystyczną dla diety lądowej, opartej w 100% na pożywieniu pochodzącego ze szlaku fotosyntetycznego C₄ (dane współczesne) [van der Merwe et al. 1988; Pate, Schoeniger 1993]. Ze względu na fakt, iż model ten zakłada współczesne dane izotopowe, zastosowano korektę 1,5‰ dla danych uzyskanych w niniejszych badaniach. Procedurę tę zastosowano w związku z tym, iż poziom CO₂ różnił się istotnie od współczesnego [Bada et al. 1990; Marino i McElroy 1991]. Korekta ta umożliwia porównanie próbek historycznych w odniesieniu do współczesnych poziomów izotopowych [Dewar, Pfeiffer 2010; Pate, Owen 2014].

2. Aby zweryfikować udział białka pochodzenia zwierzęcego w diecie zastosowano model zaproponowany przez R. Hedgesa i L. Reynarda [2007] oraz R. Frasier i współpracowników [2013]. Model wykorzystuje zwierzęce i ludzkie wartości $\delta^{15}\text{N}$ do estymowania procentowego udziału białka zwierzęcego w diecie człowieka, uwzględniając oczekiwane poziomy izotopowe roślin spożywanych przez zwierzęta roślinożerne [Hedges, Reynard 2007]. W standardowym modelu punktem wyjścia jest oczekiwana wartość izotopowa roślinności, skalkulowana na podstawie danych izotopowych zwierząt roślinożernych z uwzględnieniem frakcjonowania izotopowego. Wzbogacenie izotopowe pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi opisanymi przez współczesne modele mieści się w zakresie 3-5‰ [DeNiro, Epstein 1981; Sponheimer et al. 2003; Robbins et al. 2005]. W niniejszych badaniach przyjęto, że różnice pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi wynoszą 4‰, co jest wypadkową danych literaturowych.

Wyniki

Wartości delt izotopowych węgla i azotu, a także parametrów tafonomii/diagenetyzacji analizowanych szczątków ludzkich i zwierzęcych zawarto w tabeli 1.

TABELA 1. Wartości stosunków izotopowych węgla i azotu oznaczone w kolagenie próbek ludzkich i zwierzęcych ze stanowiska w Grzybowie oraz parametry diagenetyczne. Oprac. A. Lisowska-Gaczorek

TABLE 1. Values of carbon and nitrogen isotopic ratios marked in the collagen of human and animal samples from the Grzybowo site and diagenetic parameters. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

Próbki zębów ludzkich								
Nr laboratoryjny	Nr próbki	Nr inw.	Badany fragment	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%N	%C	C/N
GUsi8282	G1.1	1/2018	L I ² _{korzeń}	9,6	-19,3	15,0	42,7	3,3
GUsi8283	G1.2	1/2018	P M ₂ _{korzeń}	6,2	-20,9	15,1	43,7	3,4
GUsi8284	G2.1	2/2018	L M ₁ _{korona}	7,3	-21,3	14,9	42,3	3,3
GUsi8285	G2.2	2/2018	L m ₂ _{korzeń}	12,1	-18,6	14,6	42,2	3,4
Próbki ze szkieletów świń (<i>Sus scrofa f. domestica</i>)								
Nr laboratoryjny	Nr próbki	Nr inw.	Badany fragment	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	%N	%C	C/N
GUsi8286	GZ1	107/2018	trzon k. długiej	5,5	-20,8	15,7	43,6	3,2
GUsi8287 A	GZ2	107/2018	trzon k. długiej	5,1	-21,3	15,9	45,4	3,3
GUsi8287 B	GZ2	107/2018	trzon k. długiej	5,0	-21,4	15,7	44,0	3,3
GUsi8287 AB	GZ2	107/2018	trzon k. długiej	5,1	-21,4	15,8	44,7	3,3
GUsi8288	GZ3	107/2018	trzon k. długiej	9,4	-20,0	15,9	45,4	3,3
GUsi8289	GZ4	127/2018	zab P1	5,7	-21,6	14,4	42,3	3,4

Wartości parametru C/N, a więc stosunku molowego węgla do azotu w kolagenie, wynosi dla próbek ludzkich 3,3-3,4, a dla zwierzęcych 3,2-3,4, i są to wartości, które mieszczą się w zakresie normy dla materiału niezmienionego diagenetycznie.

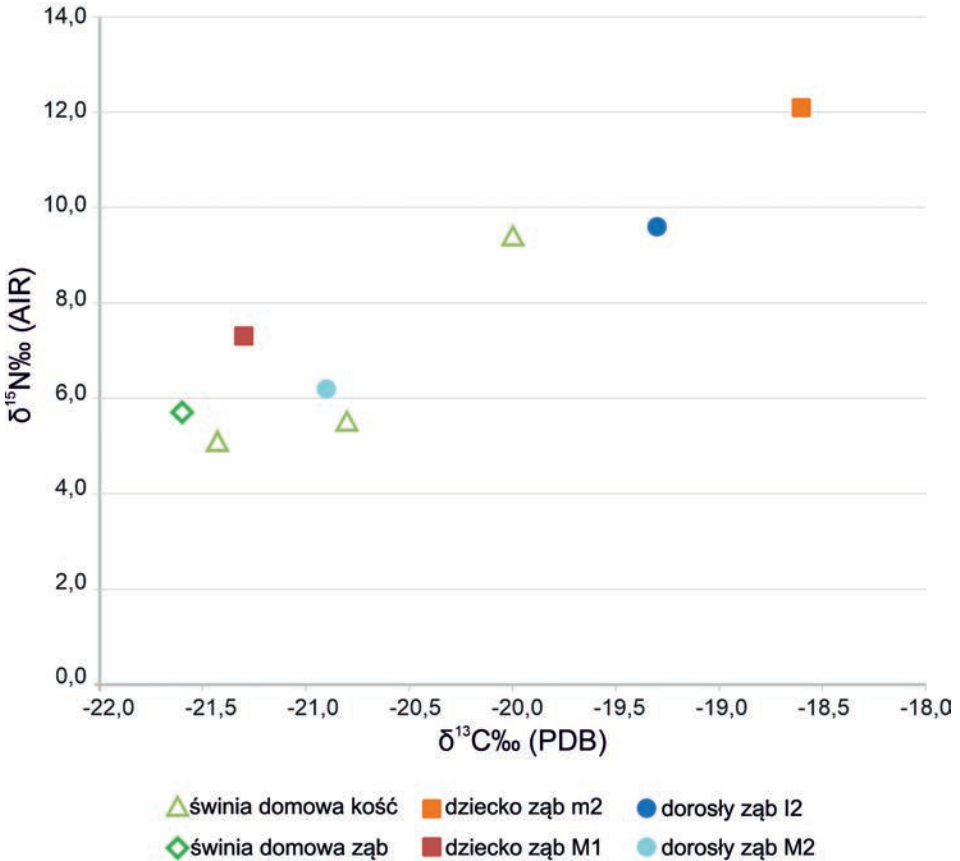
Procentowa zawartość węgla w kolagenie ludzkich zębów wynosiła od 42,2 do 43,7%, natomiast w próbkach świń znajdowała się w zakresie od 42,3 do 45,4%.

Zawartość procentowa azotu w kolagenie ludzkim znajdowała się w zakresie od 14,6 do 15,1%, a w kolagenie świń od 14,4 do 15,9%. Świadczy to o dobrym stanie zachowania kolagenu w analizowanych kościach.

Spośród próbek pobranych od świń najniższe wartości parametrów %C i %N zanotowano dla próbki GZ4, czyli jedynej zwierzęcej próbki odontologicznej. W przypadku zębów ludzkich, wartości wspomnianych wskaźników również są niższe w porównaniu z kośćmi świń.

Przedstawione wyniki świadczą, że żadna z próbek przekazanych do analiz nie przekroczyła zakresu normy wskaźników kontaminacji kolagenu i nie musiała zostać wykluczona z interpretacji wyników analiz izotopowych węgla i azotu.

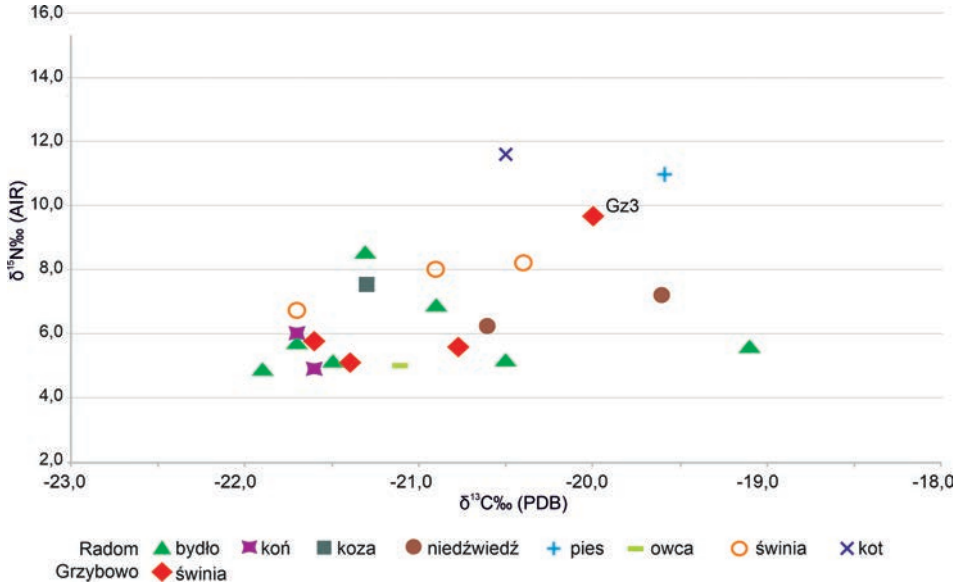
Rezultaty analiz izotopowych wszystkich próbek ludzkich i zwierzęcych przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Grzybowo, stan. 1, gm. Września. Wartości izotopowe $\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{13}\text{C}$ badanych próbek ludzkich i zwierzęcych. Oprac. A. Lisowska-Gaczorek

FIG. 1. Grzybowo, site 1, Września municipality. Isotopic values of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of tested human and animal samples. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

Wartości izotopowe zwierząt zestawiono dla porównania z proporcjami izotopów węgla i azotu zwierząt z innego polskiego stanowiska średniowiecznego, Radomia (ryc. 2).



RYC. 2. Wartości izotopowe świń z Grzybowo w zestawieniu z danymi izotopowymi zwierząt ze stanowiska w Radomiu. Oprac. A. Lisowska-Gaczorek

FIG. 2. Isotopic values of pigs from Grzybowo compared with isotopic data of animals from the site in Radom. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

Uzyskane wyniki delt izotopowych dla trzech próbek pobranych od świń (GZ1, GZ2, GZ4) posiadają niższe wartości izotopowe azotu niż próbki od świń uzyskane z badań na średniowiecznym stanowisku z Radomia, natomiast wpisują się w zakresy izotopowe zwierząt roślinożernych z Radomia [Tomczyk et al. 2020b]. Jedna z próbek (GZ3) znajduje się w zasięgu wartości charakterystycznych dla wszystkożerców, takich jak kot czy pies (jest to młody osobnik o nieprzyrośniętych nasadach kości długich w wieku ok. 2-3 miesięcy).

W związku z brakiem materiału szkieletowego pochodzącego od typowych zwierząt roślinożernych i faktem, że świnie z Grzybowo wpisują się w zakresy roślinożerców także pod względem poziomów izotopów węgla, próbkę o najniższej wartości izotopowej (GZ5 -21,6‰) potraktowano jako wartość odpowiadającą zwierzętom roślinożernym i zastosowano do modelu. Jak już wspomniano, próbka GZ3, pobrana z kości długiej świni, różni się izotopowo od pozostałych próbek świń. Należała najprawdopodobniej do prosięcia, u którego remodeling

kostny nie zatarł jeszcze efektu izotopowego związanego z karmieniem (prosięta karmione są wyłącznie mlekiem matki nawet do 2 miesięcy).

Zestawienie danych izotopowych badanych dwóch osobników ludzkich z chronologią mineralizacji/rozwoju korzeni i korony typów zębów analizowanych w pracy (tabela 2) wskazuje, że dziecko w wieku około 3 lat najprawdopodobniej było karmione mlekiem matki, na co wskazują wyższe koncentracje węgla niż azotu w korzeniu zęba m_2 , który rozwija się do 2,5-3 roku życia. Mineralizacja korzenia zęba M_1 zachodzi do 7-8 roku życia. Delta izotopowa węgla i azotu w przypadku zęba M_1 dziecka w wieku *Infans I* jest niższa niż w zębie m_2 . Stanowi to potwierdzenie zmiany diety wynikające z karmienia dziecka piersią lub suplementacji mlekiem matki w wieku 3 lat i przejścia na niższy poziom troficzny w wyniku wprowadzenia zwykłej diety w wieku starszym.

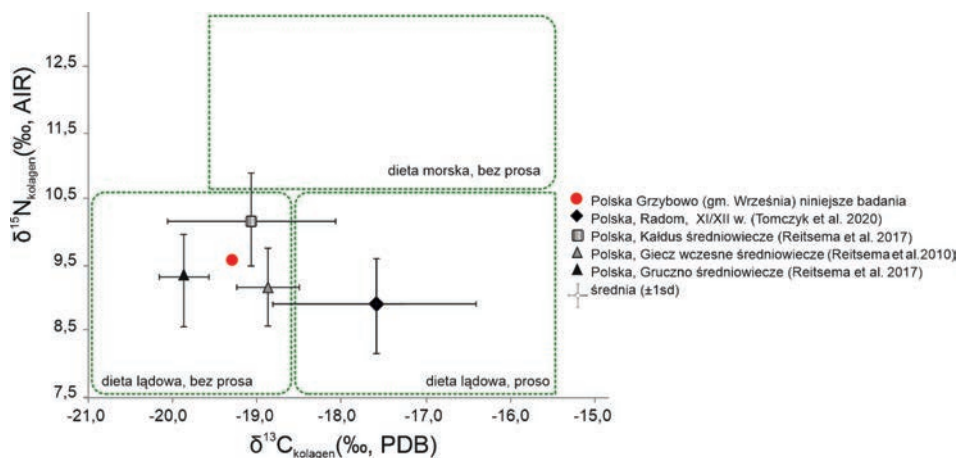
Obserwowane, nieznaczne obniżenie wartości izotopowych węgla i azotu w kolagenie korzenia zęba M_2 w stosunku do zęba I^2 u mężczyzny wskazuje na modyfikację jego diety pomiędzy młodszym wiekiem (10-12 lat) a okresem późniejszym: 13,5-16,5 lat.

TABELA 2. Chronologia rozwoju analizowanych w pracy struktur zębów na podstawie [White i Filkens 2008]. Oprac. A. Wrzesińska

TABLE 2. Chronology of the development of the tooth structures analyzed in the paper (based on [White and Filkens 2008]). Prepared by A. Wrzesińska

Ząb	Początek	Korzeń kompletny
m_2 korzeń	ok. 1 roku	2,5-3 lat
M_1 korona	szkliwo – życie płodowe zębina w obrębie korony – 2,5 lat	7-8 lat
M_2 korzeń	9 lat	15 lat
$I^2_{korzeń}$	5 lat	12 lat

Dane izotopowe osobnika dorosłego z Grzybowa zestawiono z danymi izotopowymi z innych polskich stanowisk z okresu średniowiecza (ryc. 3). Uzyskane proporcje izotopowe mężczyzny z Grzybowa wpisują się w dietę lądową z udziałem roślinności C_3 . Osobnik wpisuje się w zakres izotopowy węgla populacji z Kałdusu oraz zakres izotopowy azotu populacji z Kałdusu, Gruczna i Giecza. Ludność tych trzech stanowisk spożywała zarówno produkty pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego. Dieta obejmowała zasoby lądowe. W roślinnym elemencie diety dominowały uprawy C_3 . W tym czasie konsumowano również rośliny C_4 najprawdopodobniej odmiany prosa, choć w mniejszych ilościach niż rośliny C_3 . Ryby nie były spożywane w znacznych ilościach [Reitsema et al. 2010; Reitsema et al. 2017].



Ryc. 3. Zestawienie wartości izotopowych osobnika dorosłego z wartościami izotopowymi innych polskich populacji. Oprac. A. Lisowska-Gaczorek

FIG. 3. Comparison of isotopic values of the adult with those of other Polish populations. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

W związku ze wstępnym wykluczeniem morskiego typu diety i wpisaniem się danych izotopowych osobnika w zakresy charakterystyczne dla diety roślinnej ze szlaku fotosyntetycznego C_3 i spożywanie mięsa zwierząt odżywiających się roślinami C_3 , sprawdzono, jaki % diety stanowiły produkty związane ze szlakiem C_3 . Oznaczenie procentowego udziału diety lądowej C_3 przeprowadzono z użyciem modelu G. Dewar i F. Pfeiffer [2010] oraz F.D. Pate'a et al. [2016].

Jak wiadomo, w okresie średniowiecza niektóre grupy ludzkie włączały do diety produkty roślinne szlaku C_4 (proso). Dlatego w analizach zastosowano zmodyfikowany model: C_3 vs C_4 , i zamiast stałej wartości diety morskiej, wynoszącej -13‰ , zastosowano wartość -7‰ dla diety C_4 . Rezultaty analizy wykazują, że dieta składająca się z roślin C_3 oraz z mięsa roślinożerców spożywających rośliny C_3 (warzywa, pszenica) stanowiła w zależności od analizowanego zęba od 86% do 95% w stosunku do spożywanych produktów C_4 (proso) – por. tabela 3. Niniejsza obserwacja stanowi potwierdzenie wniosków płynących z analizy porównawczej materiału z Grzybowa z innymi populacjami polskimi z okresu średniowiecza.

Podjęto również analizę udziału białka pochodzenia zwierzęcego w diecie. W tym celu zastosowano model zaproponowany przez R. Hedgesa i L. Reynard [2007] i R. Fraser et al. [2013]. Model ten wykorzystuje zwierzęce i ludzkie wartości $\delta^{15}\text{N}$ do estymowania procentowego udziału białka zwierzęcego w diecie człowieka, uwzględniając oczekiwane poziomy izotopowe roślin spożywanych przez zwierzęta roślinożerne [Hedges, Renard 2007]. W standardowym modelu punktem wyjścia jest oczekiwana wartość izotopowa roślinności skalkulowana

TABELA 3. Rezultaty analizy diety wg liniowego modelu C_3 vs C_4 . Oprac. A. Lisowska-Gaczorek
 TABLE 3. Results of diet analysis according to the linear C_3 vs C_4 model. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

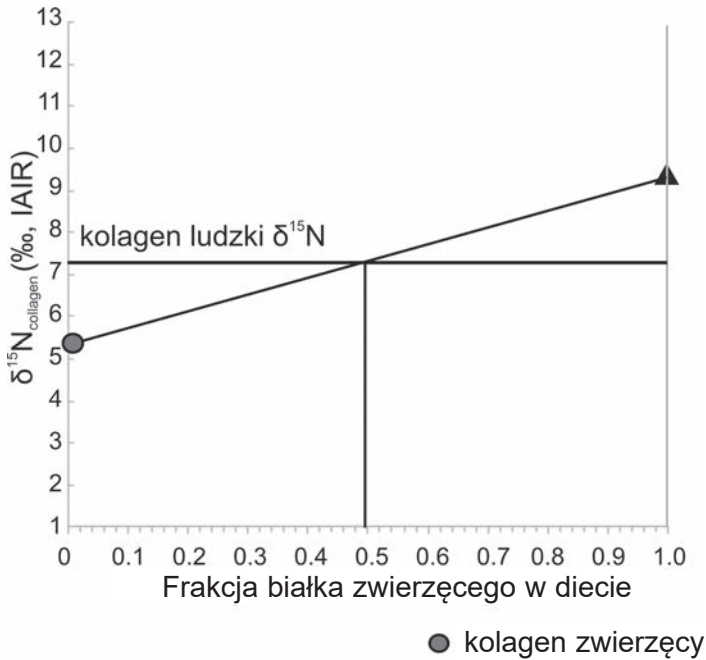
Dane izotopowe				Dolna granica -23,1‰* (dieta: rośliny łąkowe C_3 , dane świni (GZ4)) Górna granica -7,0 ‰ (dieta: rośliny łąkowe C_4)
Próbka	N	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{13}C$ (1,5‰ corr.)	Średni udział diety C_3 vs. C_4 na podstawie roślin i zwierząt (%)
G1.1 ząb I ²	1	-19,3	-20,8	85,72
G1.1 ząb M ₂	1	-20,9	-22,4	95,70

* po korekcie 1,5‰

na podstawie danych izotopowych zwierząt roślinożernych z uwzględnieniem frakcjonowania izotopowego. Wzbogacenie izotopowe pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi opisanymi przez współczesne modele mieści się w zakresie 3-5‰ [DeNiro, Epstein 1981; Sponheimer et al. 2003; Robbins et al. 2005]. W niniejszych badaniach przyjęto, że różnice pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi wynoszą 4‰, co jest wypadkową danych literaturowych. Wartość +4‰ została dodana do średniej wartości $\delta^{15}N$ świń, będących na poziomie roślinożerców. W ten sposób uzyskano punkt końcowy w modelu liniowym, oznaczony na rycinie 4. trójkątem, który to punkt wyznacza wartość izotopową azotu, występującą u człowieka, który spożywa białka wyłącznie pochodzenia zwierzęcego (Δ rośliny – zwierzęta = 4‰ oraz Δ zwierzęta – ludzie -100% białka zwierzęcego = 4‰).

Wartość izotopowa dorosłego osobnika wzięta do modelu obliczającego procentową zawartość białka zwierzęcego w diecie to średnia pochodząca z analizowanych próbek zębiny, i wynosiła ona 9,9‰. Wartość początkowa to średnia koncentracja izotopów azotu w obrębie analizowanych zwierząt (5,9‰).

Model określający procentową zawartość białka zwierzęcego w diecie mężczyzny przedstawiono na rycinie 4. Frakcja białka pochodzenia zwierzęcego w diecie mężczyzny wynosiła około 50%.



RYC. 4. Liniowy model rekonstrukcji procentowego udziału białka zwierzęcego w stosunku do całkowitej ilości białka pobieranego z pożywieniem. Oprac. A. Lisowska-Gaczorek

FIG. 4. A linear model for reconstructing the percentage of animal protein in relation to total protein intake from food. Prepared by A. Lisowska-Gaczorek

Podsumowanie

Zęby osobników wyeksplorowanych na stanowisku w Grzybowie (mężczyzna w wieku *Maturus* i dziecko w kategorii wieku *Infans I*) zostały przeanalizowane pod kątem diagenety, następnie pod względem składu trwałych izotopów węgla i azotu. Wszystkie analizowane próbki znajdowały się w zakresach normy wskaźników diagenety kolagenu, co pozwoliło na przeprowadzenie analiz izotopowych.

Wartości izotopowe dziecka wskazują, że w wieku 3 lat miało ono dostęp do mleka matczyngo. Wartości delt izotopowych $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ uzyskane dla osobnika dorosłego w kolagenie korzeni zębów reprezentujących okres mineralizacji wspomnianych struktur (13-16 lat) wskazują, że mężczyzna we wspomnianym okresie życia charakteryzował się lądowym typem diety. Znaczącą przewagą ilościową w jego diecie (około 86% do 95%) miała roślinność szlaku fotosyntetycznego C_3 (np. pszenica, żyto, jęczmień, warzywa i owoce) oraz mięso zwierząt spożywających rośliny C_3 . Nie można wykluczyć również niewielkiej suplementacji produktami o wyższych (mniej ujemnych) koncentracjach $\delta^{13}\text{C}$ (być może roślinami

szlaku C₄ np. prosem). Analiza proporcji białek pochodzenia roślinnego i zwierzęcego w pożywieniu osobnika sugeruje, że mężczyzna spożywał podobne ilości białka pochodzącego z roślin i mięsa zwierząt.

Bibliografia

Literatura

AMBROSE S.H.

1990 *Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis*, "Journal of Archaeological Science", t. 17 (4), s. 431-451.

BADA J.L., PETERSON R.O., SCHIMMELMANN A., HEDGES R.E.M.

1990 *Moose teeth as monitors of environmental isotopic parameters*, "Oecologia", t. 82, s. 102-106.

BOCHERENS H., BILLIOU D., PATOU-MATHIS M., BONJEAN D., OTTE M., MARIOTTI A.

1997 *Paleobiological Implications of the Isotopic Signatures (¹³C,¹⁵N) of Fossil Mam-mal Collagen in Scladina Cave (Sclayn, Belgium)*, "Quaternary Research", t. 48 (3), s. 370-80.

BOCHERENS H., DRUCKER D.

2003 *Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems*, "International Journal of Osteoarchaeology", t. 13 (1-2), s. 46-53.

DENIRO M.J.

1985 *Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction*, "Nature", t. 317 (6040), s. 806-809.

DENIRO M.J., EPSTEIN S.

1981 *Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals*, "Geochimica et Cosmochimica Acta", t. 45 (3), s. 341-351.

DEWAR G., PFEIFFER S.

2010 *Approaches to estimating marine protein in human collagen for radiocarbon date calibration*, "Radiocarbon", t. 52 (4), s. 1611-25.

FISCHER A., OLSEN J., RICHARDS M., HEINEMEIER J., SVEINBJÖRNSDÓTTIR A.E., BENNIKE P.

2007 *Coastal mobility and diet in the Danish Mesolithic and Neolithic: evidence from stable isotope values of humans and dogs*, "Journal of Archaeological Science", t. 34, s. 2125-2150.

FRASER R.A., BOGAARD A., SCHÄFER M., ARBOGAST R., HEATON T.H.E.

2013 *Integrating botanical, faunal and human stable carbon and nitrogen isotope values to reconstruct land use and palaeodiet at LBK Vaihingen an der Enz, Baden-Württemberg*, "World Archaeology", t. 45 (3), s. 492-517.

HEDGES R.E.M., REYNARD L.M.

2007 *Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology*, "Journal of Archaeological Science", t. 34 (8), s. 1240-1251.

- JØRKOV M.L., HEINEMEIER J., LYNNERUP N.
2007 *Evaluating bone collagen extraction methods for stable isotope analysis in dietary studies*, "Journal of Archaeological Science", t. 34, s. 1824-1829.
- MARINO B.D., McELROY M.B.
1991 *Isotopic composition of atmospheric CO₂ inferred from carbon in C₄ plant cellulose*, "Nature", t. 349 (6305), s. 127-131.
- VAN DER MERWE N.J., THORP J.A.L.E.E., BELL R.H.V.
1988 *Carbon isotopes as indicators of elephant diets and African environments*, "African Journal of Ecology", t. 26 (2), s. 163-172.
- MNICH B., MUELLER-BIENIEK A., NOWAK M., WILCZYŃSKI J., POSPUŁA S., SZOSTEK K.
2020 *Terrestrial diet in prehistoric human groups from southern Poland based on human, faunal and botanical stable isotope evidence*, "Journal of Archaeological Science. Reports", t. 32, s. 102382.
- PATE F.D.
1994 *Bone chemistry and paleodiet*, "Journal of Archaeological Method and Theory", t. 1 (2), 161-209.
- PATE F.D., SCHOENINGER M.J.
1993 *Stable carbon isotope ratios in bone collagen as indicators of marine and terrestrial dietary composition in southeastern South Australia. A preliminary report*, [w:] *Archaeometry. Current Australasian Research*, eds. B.L. Fankhauser, J.R. Bird, Australian National University, Canberra, s. 38-44.
- PATE F.D., OWEN T.D.
2014 *Stable carbon and nitrogen isotopes as indicators of sedentism and territoriality in late Holocene South Australia*, "Archaeology in Oceania", t. 49 (2), s. 86-94.
- PATE F.D., HENNEBERG R.J., HENNEBERG M.
2016 *Stable carbon and nitrogen isotope evidence for dietary variability at Ancient Pompeii, Italy*, "Mediterranean Archaeology and Archaeometry", t. 16 (1), s. 127-133.
- REITSEMA L.J., CREWS D.E., POLCYN M.
2010 *Preliminary evidence for medieval Polish diet from carbon and nitrogen stable isotopes*, "Journal of Archaeological Science", t. 37 (7), s. 1413-1423.
- REITSEMA L.J., KOZŁOWSKI T., CREWS D.E., KATZENBERG M.A., CHUDZIAK W.
2017 *Resilience and local dietary adaptation in rural Poland, 1000-1400 CE*, "Journal of Anthropological Archaeology", t. 45, s. 38-52.
- ROBBINS C.T., FELICETTI L.A., SPONHEIMER M.
2005 *The effect of dietary protein quality on nitrogen isotope discrimination in mammals and birds*, "Oecologia", t. 144 (4), s. 534-540.
- SPONHEIMER M., ROBINSON T., AYLIFFE L., PASSEY, B., ROEDER B., SHIPLEY L., LOPEZ E., CERLING T., DEARING D., EHLERINGER J.
2003 *An experimental study of carbon-isotope fractionation between diet, hair, and feces of mammalian herbivores*, "Canadian Journal of Zoology", t. 81 (5), s. 871-876.

- STANTIS C., BUCKLEY H.R., KINASTON R.L., NUNN P.D., JAOUEN K., RICHARDS M.P.
2016 *Isotopic evidence of human mobility and diet in a prehistoric/protohistoric Fijian coastal environment (c. 750-150 BP)*, "American Journal of Physical Anthropology", t. 159 (3), s. 478-495.
- TOMCZYK J., REGULSKI P., LISOWSKA-GACZOREK A., SZOSTEK K.
2020a *Dental caries and stable isotopes analyses in the reconstruction of diet in Mesolithic (6815–5900 BC) individuals from Northeastern Poland*, „Journal of Archaeological Science. Reports”, t. 29, s. 102-141.
- TOMCZYK J., SZOSTEK K., LISOWSKA-GACZOREK A., MNICH B., ZALEWSKA M., TRZECIECKI M., OLCZAK-KOWALCZYK D.
2020b *Dental caries and isotope studies in the population of Radom (Poland) between the 11th-19th centuries*, "International Journal of Osteoarchaeology", t. 30 (6), s. 778-788.
- TURNER B.L., EDWARDS J.L., QUINN E.A., KINGSTON J.D., VAN GERVEN D.P.
2007 *Age-related variation in isotopic indicators of diet at medieval Kulubnarti, Sudanese Nubia*, "International Journal of Osteoarchaeology", t. 17 (1), s. 1-25.
- WHITE T.D., FOLKENS P.A.
2005 *The Human Bone Manual*, Amsterdam.

Analysis of stable isotopes of carbon and nitrogen in the remains of individuals buried in the Grzybowo stronghold

S u m m a r y


The teeth of the specimens explored at the Grzybowo site (a male *Maturus* and a child in the *Infans I* age category) were analysed for diagenesis, followed by carbon and nitrogen stable isotope composition. All the analysed samples were within the normal ranges of collagen diagenesis indicators, which allowed isotopic analyses.

The child's isotopic values indicate that he/she had access to maternal milk at the age of 3. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic delta values obtained for an adult in the collagen of tooth roots representing the period of mineralization of the aforementioned structures (13-16 years of age) indicate that the male was characterized by a terrestrial type of diet during the aforementioned period of life. A significant quantitative predominance in his diet (about 86% to 95%) was accounted for by plants of the C_3 photosynthetic pathway (e.g., wheat, rye, barley, vegetables and fruits) and meat from animals consuming C_3 plants. A small supplementation with products with higher (less negative) concentrations of $\delta^{13}\text{C}$ (perhaps plants of the C_4 pathway, e.g. millet) also cannot be ruled out. The analysis of the proportions of plant and animal proteins in the individual's diet suggests that the male consumed similar amounts of protein from plants and animal meat.

Translated by Marta Koszko

otrzymano (received): 13.04.2022; zrecenzowano (revised): 03.08.2022; zaakceptowano (accepted): 12.12.2022

dr Aleksandra Lisowska-Gaczorek
Instytut Nauk Biologicznych UKSW w Warszawie
ul. Kazimierza Wóycickiego 1/3
01-938 Warszawa
e-mail: a.lisowska-gaczorek@uksw.edu.pl

 <https://orcid.org/0000-0002-3613-353X>

prof. dr hab. Krzysztof Szostek
Instytut Nauk Biologicznych UKSW w Warszawie
ul. Kazimierza Wóycickiego 1/3
01-938 Warszawa
e-mail: k.szostek@uksw.edu.pl

 <https://orcid.org/0000-0001-7815-928X>

mgr Jacek Wrzeński
Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy
Gniezno
e-mail: jaled@wp.pl

 <https://orcid.org/0000-0003-1255-6295>