


Zofia Kielan-Jaworowska

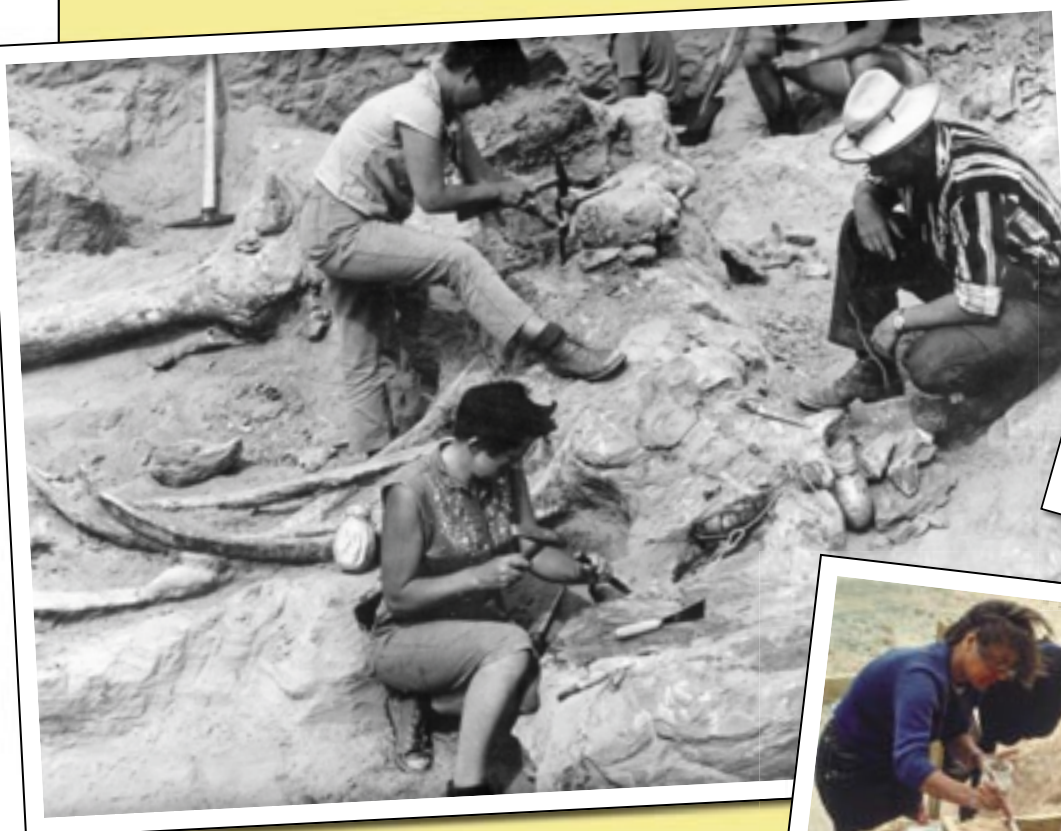
W cieniu dinozaurów



NA GOBI SPRZED PRAWIE 80 MLN LAT kończy się dzień. Właśnie wyszedł na żer roślinożerny ssak katopsbatar (na czaszce protoceratomy) i próbuje odeprzeć atak drapieżnego zaurornitoidesa. W głębi upierzony owiraptor wysiaduje jaja. Na dalszym planie trzy niewielkie, bardzo zwinne półtorametrowe welociraptory osaczają czterokrotnie od nich dłuższą sajchanię, obserwowane przez dwumetrowe roślinożerne protoceratomy. Nieco większy od szczura owadożerny zalambdalestes (na pierwszym planie z lewej) właśnie znalazł żuka gnojaka, a obok szuka pożywienia inny owadożerca – kennalestes, wielkości myszy.

Gdyby dinozaury wymarły wcześniej albo później,
rozwój ssaków mógłby wyglądać zupełnie inaczej,
a człowiek być może wcale nie pojawiłby się na Ziemi





NAJWIĘKSZY OKAZ przywieziony przez polsko-mongolskie wyprawy paleontologiczne z pustyni Gobi to szkielet zauropoda, wielkiego dinozaura roślinożernego wydobyty w 1965 roku w Atan Uła w Dolinie Nemegetańskiej (czarno-białe zdjęcie, na pierwszym planie autorka artykułu). Sześć lat później naukowcy odkryli dinozaura pancernego – sajchanię (z prawej na dole). Wydobyć jej wymagało zbudowania z desek rusztowania i platformy, na której dało się stanąć (z prawej na górze). Dziś odlew zmontowanego szkieletu zauropoda można oglądać w Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN w Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie.

Większość współczesnych ssaków prowadzi nocny tryb życia. To spuścizna po pierwszych 160 mln lat naszej historii, gdy dzienne nisze ekologiczne zajęte były przez dinozaury. Wczesne ssaki, z których wywodzą się również nasi przodkowie, żyły w ich cieniu. Małe, nie większe od myszy (tylko niektóre osiągały rozmiary lisa), wykorzystywały ten czas na rozwój mózgu – nocne zwierzęta muszą mieć wyostrzone zmysły, zwłaszcza węch i słuch. Kiedy

65 mln lat temu, pod koniec kredy, dinozaury wymarły, część ssaków zaczęła stopniowo zajmować zwolnione nisze i przystosowywać się do życia w świetle dnia. Zwiększyła też swoje rozmiary. Ssaki naczelne, do których i my należymy, zmieniły tryb życia na nadrzewny, dzięki czemu udoskonaliły wzrok (widzenie stereoskopowe) i zmysł równowagi. Wspinanie się po pniach drzew pomogło im przyjąć postawę wyprostowaną, zaś chwytanie gałęzi i przenoszenie się z jednej na drugą w pozycji zwiśu (brachiacja) spowodowały wykształcenie przeciwstawnego, chwytanego kciuka. Gdy 6 mln lat temu, w miocenie, w rejonie Morza Śródziemnego i w równikowej Afryce nastąpiła susza i zaczęło ubywać lasów, nasi przodkowie zeszli z drzew i powędrowali na sawanny. Dzięki postawie wyprostowanej i uwolnieniu rąk mogli wytwarzać narzędzia, a to z kolei miało istotny wpływ na rozwój ich mózgu i umysłu. Tak w wyniku kolejnych zmian powstał człowiek.

Sześćdziesiąt lat temu, gdy studiowałam zoologię i wybrałam paleontologię jako specjalizację, wiedza na ten temat była znacznie uboższa. Badania nad pochodzeniem człowieka bardzo mnie pociągały. Po materiał kopalny trzeba byłoby jednak jechać do Afryki czy Azji, a w 1947 roku taki wyjazd z kraju nie był możliwy. Skończyło się więc na wyprawie w Góry Świętokrzyskie i zbieraniu skamieniałych trylobitów, wymarłych morskich stawonogów. Przez pierwszych kilkanaście lat pracy naukowej to właśnie nimi się zajmowałam. Nadzieja na realizację moich marzeń

Przegląd / *Ssaki ery mezozoicznej*

- Najstarsze ssaki, z których i my się wywodzimy, wyodrębniły się około 225 mln lat temu z najbardziej zaawansowanej grupy gadów ssakokształtnych – cynodontów.
- Przez pierwsze 160 mln lat swojej historii większość ssaków była mała (wielkości myszy lub szczura) i tylko nieliczne osiągały rozmiary lisa. Prowadziły nocny tryb życia, żyjąc w cieniu dinozaurów, ówczesnych władców lądów.
- Kiedy 65 mln lat temu, pod koniec kredy, dinozaury wymarły, ssaki zaczęły stopniowo zajmować zwolnione nisze ekologiczne, powiększać swoje rozmiary i przystosowywać się do życia w świetle dnia.
- Budowa naturalnych odlewów mózgu ssaków mezozoicznych świadczy o tym, że istniała u nich kora nowa. Niektórzy paleontolodzy uważają, że struktura ta mogła się już pojawić u zaawansowanych cynodontów.

pojawiła się dopiero na początku lat sześćdziesiątych, kiedy w Mongolii powstała Akademia Nauk i Polska Akademia Nauk podpisała z nią umowę o współpracy. Zyskaliśmy w ten sposób możliwość podjęcia badań w dziedzinach dotąd nam niedostępnych.

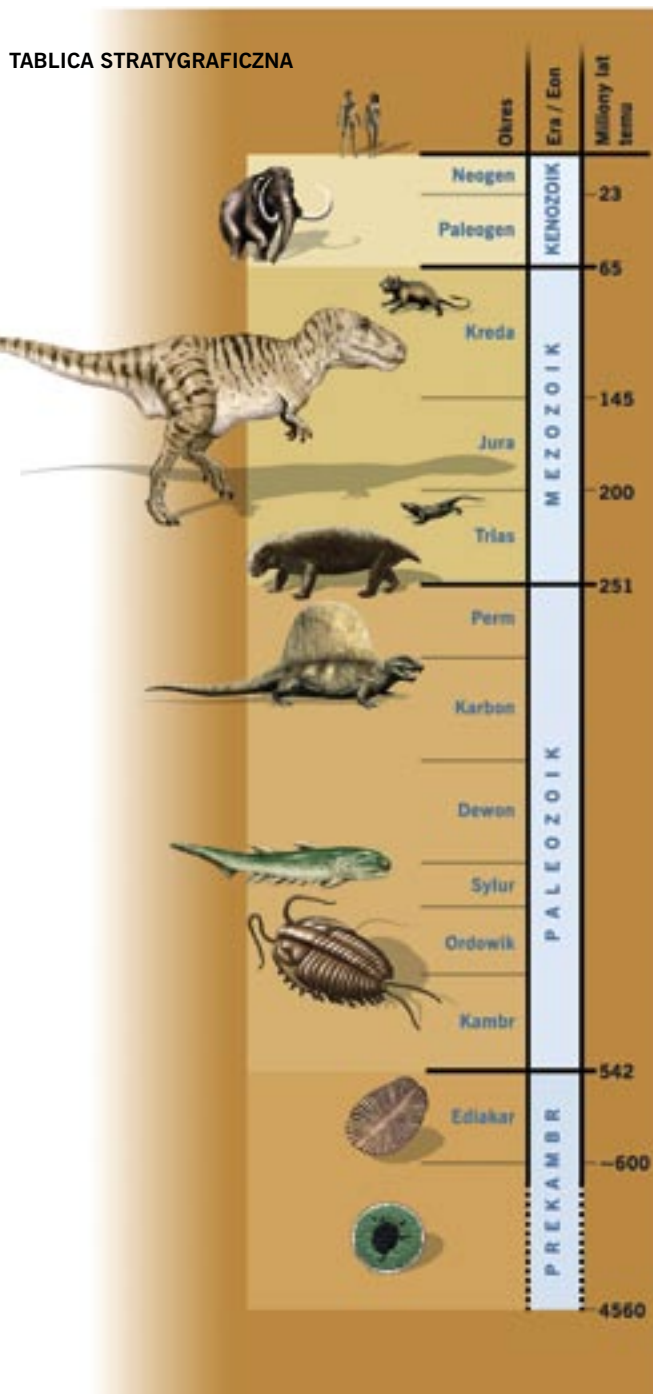
Występujące w Polsce skały z mezozoiku to głównie wapień, piaskowce i margle, osadzone ongiś w morzach. Można w nich znaleźć pozostałości licznych zwierząt morskich, takich jak wymarłe amonyty i belemnity oraz małże, ślimaki, ramienionogi i koralowce. W przeciwieństwie do Polski na znacznej części obszaru Mongolii i Chin od około 160 mln lat nie było mórz. Na pustyni Gobi osady tworzyły się wówczas na dnach jezior i wielkich rzek, które przez miliony lat przecinały te tereny, na lądzie okresowo zalewanym przez powódzie albo też w piaszczystych wydmach. W osadach przetrwały szkielety dinozaurów, jaszczurek i ssaków i właśnie dlatego teren ten jest tak interesujący dla paleontologów zajmujących się historią kręgowców.

Prace terenowe

PRZYGOTOWUJĄC PROJEKTY polsko-mongolskich wypraw, a było ich w sumie osiem, zdawałam sobie sprawę, że na pustyni Gobi w utworach z okresu kredowego można będzie natrafić również na szkielety ssaków z tzw. mrocznych wieków ich historii, czyli z czasów panowania dinozaurów (pierwszych siedem, źle zachowanych czaszek ssaków z tego okresu znaleźli na pustyni Gobi w latach dwudziestych paleontolodzy amerykańscy). Podczas wszystkich wypraw od samego początku równie gorliwie jak szkieletów dinozaurów szukaliśmy więc skamieniałości wczesnych ssaków. Ta determinacja się opłacała. Materiały kopalne, które udało nam się wydobyć, przeszły nasze najśmielsze oczekiwania. Oprócz szkieletów dinozaurów i innych gadów (m.in. żółwi, krokodyli i jaszczurek), a także jaj dinozaurów, szczątków roślin i słodkowodnych bezkręgowców zebraliśmy niezwykle cenną, choć na pewno mniej spektakularną, kolekcję szkieletów drobnych ssaków z okresu kredowego. W 1971, ostatnim roku naszych wypraw, liczyła ona 180 okazów i była wówczas największym na świecie zbiorem czaszek ssaków z ery mezozoicznej. W dodatku w większości w znakomitym stanie.

W opracowaniu materiałów, które udało nam się zebrać podczas wypraw do Mongolii brał udział duży zespół badaczy z Instytutu Paleobiologii PAN oraz z innych polskich i mongolskich placówek naukowych. Moi koledzy głównie badali dinozaury, ptaki, jaszczurki, żółwie, krokodyle, bezkręgowce i ssaki kenozoiczne, ja natomiast zajęłam się ssakami z okresu kredowego. Zebrane materiały nie mogły jednak zapełnić licznych luk w wiedzy o pochodzeniu ssaków, ponieważ najstarsze okazy z pustyni Gobi liczyły około 110 mln lat, a pierwsze ssaki pojawiły się około 115 mln lat wcześniej. Odpowiedź na te pytania przyniosły dopiero badania z ostatnich 20 lat, poprzedzone intensywnymi poszukiwaniami w Chinach, Europie, Ameryce Północnej i Południowej, Afryce i Australii. Dziś liczba skamieniałości ssaków mezozoicznych, zgromadzonych w różnych muzeach na świecie, jest nieporównanie większa. Zajmują się nimi przede wszystkim moi koledzy ze Stanów Zjednoczonych, Chin, RPA, Wielkiej Brytanii i Francji, z którymi stale utrzymuję kontakt i wielokrotnie miałam możliwość współpracować.

TABLICA STRATYGRAFICZNA



Gady w rozmiarze XXS

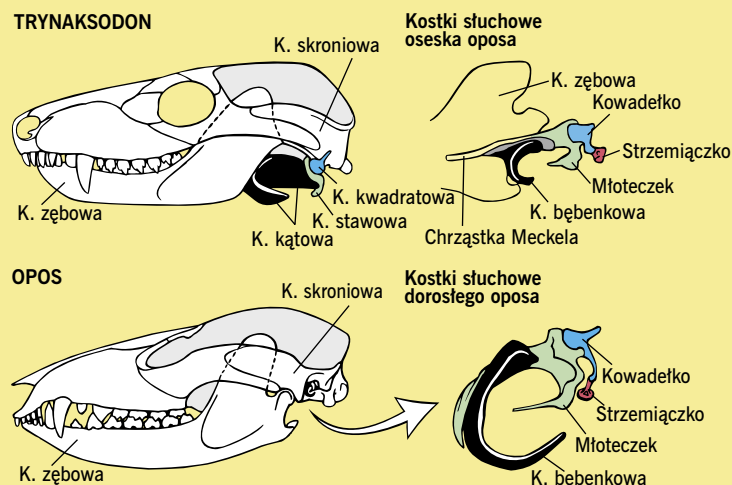
SSAKI POCHODZĄ od gadów ssakokształtnych, z których największe przekraczały 3 m długości; miały one kończyny rozstawione na boki jak dzisiejszy krokodyl i w drugiej połowie karbonu i w permie (od około 320 do 250 mln lat temu) dominowały wśród kręgowców lądowych na wszystkich kontynentach, łącznie z Antarktydą. Mówiąc dokładniej – wyodrębniły się z najbardziej zaawansowanej grupy tych gadów – cynodontów – powstałej około 270 mln lat temu.

W drugiej połowie karbonu i w okresie permskim na półkuli południowej na obszarach dzisiejszej Afryki Południowej występowały zlodowacenia. Co więcej, pod koniec permu, około

CZY TO SSAK, CZY TO GAD?

Dzisiejsze ssaki są owłosione, natomiast gady mają ciało pokryte łuskami; ssaki są stałocieplne, a gady zmiennocieplne; ssaki (z wyjątkiem stekowców) są żyworodne – gady jajorodne; wreszcie ssaki opiekują się potomstwem, a ich młode odżywiają się mlekiem matki, gady zaś nie. Nie wszystkie te cechy można jednak rozpoznać w materiale kopalnym. Najważniejsza różnica w szkieletach dotyczy budowy żuchwy i stawu żuchwowego.

Żuchwa gadów składa się z kilku kości, przy czym na jednej z nich – kości stawowej – występuje panewka zestawiająca się z kłykiem kości kwadratowej czaszki, natomiast u ssaków w skład żuchwy



U WSPÓŁCZESNEGO TORBACZA (na dole) między kośćmi zębową i skroniową występuje ssaczy staw żuchwowy. Cynodonty z rodzaju *Thrinaxodon* (na górze) miały gadzi staw żuchwowy między kością kwadratową i stawową. U osesków oposa (na górze z prawej) kostki „gadziego” stawu żuchwowego nie przemieściły się jeszcze do ucha środkowego jak u dorosłych osobników (na dole z prawej), ale tkwią w żuchwie jak u cynodontów. Na wszystkich rysunkach odpowiadające sobie struktury zostały oznaczone tym samym kolorem.

wchodzi tylko jedna kość – zębowa, na której występuje wyrostek kłykiowy, zestawiający się z dołem żuchwowym na kości skroniowej czaszki. W uchu środkowym gadów znajduje się tylko jedna kostka słuchowa – strzemiączko, podczas gdy w uchu ssaków trzy kostki słuchowe: odziedziczone po gadach strzemiączko oraz dwie nowe kostki słuchowe, kowadełko i młoteczek.

Od ponad 150 lat wiadomo już, że kości tworzące staw „gadzi” przeszły u ssaków do ucha i przekształciły się w kostki słuchowe: z kości kwadratowej powstało kowadełko, z kości stawowej – młoteczek. To zadziwiające, że odkrycia tych niezwykłych przekształceń niemiecki embriolog Karl Bogislaus Reichert dokonał już w 1837 roku na materiale współczesnym. Dysponując prymitywnym mikroskopem i cienkimi igiełkami preparacyjnymi, prześledził zmiany w budowie regionu usznego zarodków kilku gatunków współczesnych ssaków. Na materiale kopalnym odkrycie to udało się w pełni potwierdzić dopiero w drugiej połowie XX wieku, kiedy to wykazano, że u najstarszych ssaków z triasu i niektórych jurajskich (np. u morganukodontów i dokodontów) występował jeszcze podwójny staw żuchwowy. Oprócz nowego stawu „ssaczego” między kością zębową i skroniową znajdował się ściśle przylegający do niego dośrodkowo staw „gadzi” (między kością kwadratową i stawową), przy czym oba te stawy funkcjonowały razem jako jeden, złożony staw żuchwowy. Wykazano też, że kości stawu „gadziego” cynodontów (a więc nim przeszły do ucha) uczestniczyły już w przenoszeniu dźwięków.

Według ustaleń przyjętych przez wielu naukowców, w tym i przeze mnie, za ssaki uznajemy formy, u których między kością zębową i kością skroniową czaszki wykształcił się staw żuchwowy, przy czym u form najstarszych może występować podwójny (złożony) staw żuchwowy. Dla niektórych paleontologów jednak ssakami są tylko formy, u których występuje pojedynczy staw żuchwowy, a formy o podwójnym stawie zaliczają do grupy Mammaliaformes, czyli ssakopodobnych.

250 mln lat temu, nastąpiło największe w historii Ziemi wymieranie. Zginęło wtedy prawie 90% organizmów morskich i około 70% lądowych. Główną przyczyną tego kataklizmu były prawdopodobnie wybuchy wulkanów o niespotykanej skali, których ślady do dziś zachowały się na Syberii. Erupcje te zanieczyściły atmosferę popiołami, w wyniku czego klimat się oziębził, a następnie, w triasie, ponownie ocieplił. Zmienił się też skład powietrza – stężenie tlenu spadło z 30 do 10%. Pod koniec permu większość lądowych gadów ssakokształtnych wymarła, z cynodontów przeżyły tylko nieliczne.

Paleontolodzy sądzą, że gady ssakokształtne były początkowo zmiennocieplne (co jest cechą gadzią) i do stałocieplności (charakterystycznej dla ssaków) dochodziły stopniowo. Stopniowo też – o czym świadczą szkielety wydobywane z kolejnych warstw – zmniejszały się ich rozmiary. Jakie były przyczyny tego rzadkiego w ewolucji kręgowców lądowych zjawiska?

Na szczękach triasowych cynodontów zachowały się dołki, świadczące o istnieniu wąsów dotykowych, jakie dziś występują u wielu ssaków. A skoro cynodonty miały włosy czuciowe, zapewne całe były owłosione i musiały już opanować zdolność utrzymywania ciepła przez dłuższy czas. Natrafiono też na szkielety cynodontów w pozycji skulonej, tak charakterystycz-

nej dla współczesnych ssaków, chroniących się przed wychłodzeniem. Przypuszcza się, że u gadów ssakokształtnych stałocieplność była niepełna, tzn. będąc owłosione, miały zdolność zachowania stałej temperatury przez dość długi czas, ale nie wyrobiły sobie jeszcze mechanizmów szybkiego oziębiania ciała, takich jak pocenie się, rozszerzanie naczyń krwionośnych skóry, głębokie dyszenie itd. Cech tych nie wytworzyły też stekowce, jedyne współczesne ssaki jajorodne, żyjące w Australii.

Duże rozmiary gadów ssakokształtnych były korzystne w zimnym klimacie, ale w gorącym, jaki ukształtował się na przełomie permu i triasu, ich rozmiary zaczęły się zmniejszać, gdyż małe zwierzęta stygną szybciej niż duże. Cynodonty z wczesnego triasu, takie jak znany z licznych, dobrze zachowanych szkieletów trynaksodon (*Thrinaxodon liorhinus*), były wielkości lasicy. Gdy klimat stał się bardzo gorący, jedyną szansą na przeżycie powstających wówczas ssaków było drastyczne zmniejszenie rozmiarów ciała oraz przystosowanie się do aktywności w nocy.

Przechodzenie ze zmiennocieplności na stałocieplność uwiódniło się w budowie szkieletu wczesnych ssaków. Zwierzęta stałocieplne mają większe zapotrzebowanie energetyczne niż zmiennocieplne. Dlatego muszą bardzo dobrze przeżywać

pokarm. Już u cynodontów zęby różnicowały się na siekacze, kły i zęby policzkowe, na których pojawiły się guzki zwiększające powierzchnię żującą. U cynodontów powstało też podniebienie wtórne, oddzielające jamę nosową od jamy gębowej – rozwiązanie umożliwiające (również nam) oddychanie podczas żucia, a tym samym wydłużające tę czynność.

Żucie wymaga też silnego umięśnienia. Już u wczesnych cynodontów wykształcił się mięsień nazwany żwaczem, który w toku ewolucji stopniowo się powiększał. Spowodowało to rozrost kości zębowej, czemu towarzyszyła redukcja pozostałych kości żuchwy, tzw. kości gadzich. Jednocześnie powstał łuk jarzmowy, zwiększając przestrzeń dla rozrastających się mięśni żuchwy. Rozrost kości zębowej przyczynił się następnie do wykształcenia u najstarszych ssaków nowego stawu żuchwowego – między kością zębową i skroniową. U gadów w skład żuchwy wchodzi kilka kości, a staw żuchwowy jest położony między kością stawową od strony żuchwy i kością kwadratową od strony czaszki.

W szkielecie pozaczaszkowym u cynodontów nastąpił podział kręgów na piersiowe i lędźwiowe, pojawił się kręgi przeponowy, z wyrostkiem kolczystym skierowanym pionowo ku górze, co świadczy o tym, że wykształciła się przepona, której powstanie zwiększyło wydolność oddechową, tak ważną przy wzrastającym zapotrzebowaniu na energię w związku z przyspieszonym tempem metabolizmu.

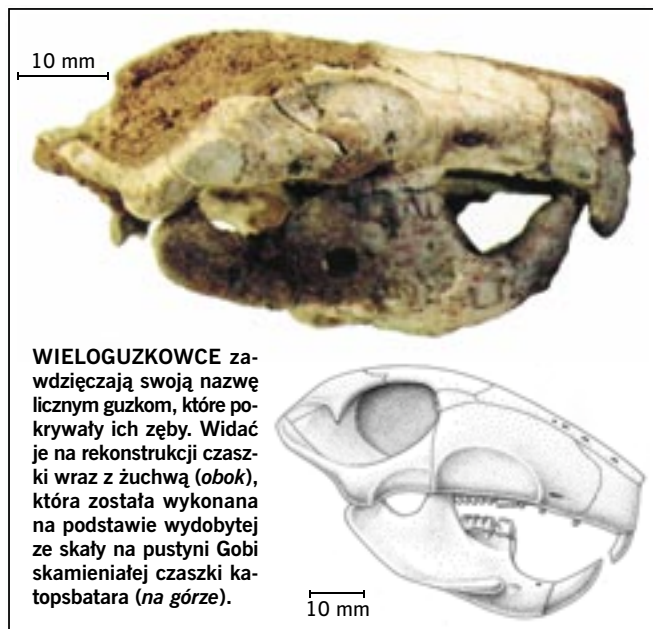
Jeszcze u cynodontów zaczęło się zmieniać położenie kończyn. U gadów, jak wiadomo, są one szeroko rozstawione na boki, tj. skierowane prostopadle do płaszczyzny strzałkowej (biegnącej przez środek ciała i dzielącej je na prawą i lewą połowę). Współczesne ssaki, z wyjątkiem australijskich jajorodnych stekowców, mają kończyny ustawione równoległe do tej płaszczyzny. Stawy łokciowy i kolanowy, które u gadów rozsunięte są na boki, u ssaków też zmieniły położenie: staw łokciowy skierowany jest ku tyłowi, a kolanowy ku przodowi. Jest to uzasadnione: zwierzęta mające kończyny przystrałkowe podczas poruszania się wydają znacznie mniej energii niż zwierzęta z kończynami skierowanymi na boki.

Pierwsze ssaki

SPOŚRÓD NAJSTARSZYCH SSAKÓW najlepiej dotąd poznano morganukodonty, żyjące obok dinozaurów już 210 mln lat temu. Przetrwały one do środkowej jury. Były to stopochodne malutkie ssaki (nie większe od szczura) o kończynach rozstawionych



SZKIELET przedstawiciela morganukodontów, jednych z najstarszych ssaków, został zrekonstruowany na podstawie zachowanych kości, wydobytych w Walii oraz w Afryce Południowej.



WIELOGUZZKOWCE zawdzięczają swoją nazwę licznym guzkom, które pokrywały ich zęby. Widać je na rekonstrukcji czaszki wraz z żuchwą (obok), która została wykonana na podstawie wydobytej ze skały na pustyni Gobi skamieniałej czaszki kaptobatara (na górze).

na boki jak u jaszczurek. Budowa ich zębów świadczy, że prawdopodobnie odżywiały się owadami, miały bowiem siekacze, kły i zęby policzkowe pokryte wysokimi, ostrymi guzkami ułożonymi wzdłuż żuchwy (przodotylnie) tak jak cynodonty. Pojedyncze szczątki morganukodontów odkrył w szczelinach krasowych jednego z kamieniołomów wapieni karbońskich na terenie Walii słynny niemiecki poszukiwacz ssaków mezozoicznych, Walter Kühne (w młodości komunista), któremu tuż przed wybuchem II wojny światowej udało się uciec z Niemiec do Anglii. Gdy w 1952 roku wrócił do ojczyzny, eksploatację wypełnień krasowych w kamieniołomach Walii kontynuował jego angielski współpracownik z University of London, Kenneth A. Kermack, który zgromadził setki izolowanych kości czaszki, szkieletu pozaczaszkowego i zębów morganukodonta oraz innych wczesnych ssaków.

W roku 1963 sensacją stało się opisanie jedynej wówczas kompletnej, zaledwie 26-milimetrowej czaszki morganukodonta (zaliczonej do rodzaju *Morganucodon*, wcześniej opisanego przez Kühnego na podstawie zębów ze szczelin krasowych Walii). Czaszka została znaleziona w 1948 roku podczas wyprawy do prowincji Yunnan w Chinach (gdzie występują łądowe osady górnego triasu), zorganizowanej przez amerykańskiego paleontologa Harolda W. Rigneya, pełniącego wówczas obowiązki rektora Uniwersytetu Katolickiego w Pekinie. W osadach tych już wcześniej znajdowano niewielkie cynodonty. W roku 1949 Rigney został aresztowany przez władze Chińskiej Republiki Ludowej i spędził cztery lata w więzieniu. W tym czasie jego koleżdy z uniwersytetu w Pekinie wywieźli czaszkę do Stanów Zjednoczonych. Po powrocie do kraju Rigney opublikował w roku 1963 wstępny opis czaszki w *Nature*, a następnie troje autorów (Kermack, jego asystentka Frances Mussett i Rigney) dokładnie opisało czaszkę z Chin i materiały z Walii w dwóch monografiach, opublikowanych w 1973 i 1981 roku.

Na czym polega niezwykłość znaleziska Rigneya? Otóż czaszka chińskiego mor-



CZASZKA AZJORYKTESA, maleńkiego ssaka łožyskowego z późnej kredy z pustyni Gobi. Doskonale zachowały się w niej zęby trybosfeniczne z wysokimi guzkami.

ganukodonta była pierwszym okazem wczesnego ssaka, którego zuchwa zachowała się w połączeniu stawowym z czaszką, dzięki czemu można było zobaczyć budowę stawu zuchwowego na etapie przejścia od gadów do ssaków. U morganukodonta występuje jeszcze gadzi staw zuchwowy między kośćmi kwadratową i stawową, do którego od strony zewnętrznej przylega nowy staw między kośćmi skroniową i zębową. „Gadzi” i „ssaczy” staw przylegały do siebie i funkcjonowały wspólnie jako jeden złożony staw. (Niedawno chińscy paleontolodzy opisali jeszcze kilka czaszek morganukodonta z Yunnan).

Wśród skamieniałości zebranych w Walii znalazły się też pojedyncze zęby i zuchwa *Kuehneotherium*, innego prymitywnego ssaka z tego okresu. Zęby *Kuehneotherium* w odróżnieniu od zębów morganukodontów mają trzy główne guzki przesunięte względem siebie tak, że ich wierzchołki tworzą trójkąt. Ssaki z takim użębieniem zalicza się do symetrodontów, tworzących zróżnicowaną, choć wciąż jeszcze słabo poznaną grupę, reprezentowaną przez rodzaje znane niekiedy jedynie z pojedynczych zębów albo z zuchw z zębami. Z kolei opisane w roku 1997 chińskie *Zhangeotherium* z wczesnej kredy jest jedynym symetrodontem, którego czaszkę znaleziono w całości, wraz z zuchwą i szkieletem pozaczaszkowym. Budowa stawu zuchwowego *Kuehneotherium* wskazuje, że miało ono złożony staw zuchwowy, a zuchwa *Zhangeotherium* i innych symetrodontów ma prosty, ssaczy staw zuchwowy.

do ucha i zmieniły się w kostki słuchowe. Jego zęby podobne były do zębów morganukodonta, od którego różnił się większym mózgiem.

Jurajska i kredowa menażeria

KILKA ZUPEŁNIE NOWYCH GRUP SSAKÓW pojawiło się na Ziemi w środkowej jurze (175–160 mln lat temu). Spośród nich jedynie małe dokodony, znane dotychczas tylko z półkuli północnej, zachowały złożony staw zuchwowy, charakterystyczny dla ssaków triasowych i wczesnojurajskich. Ich szkielety to istna mieszanina cech prymitywnych, takich jak właśnie ten złożony staw zuchwowy, i zaawansowanych, jak budowa zębów o silnie rozszerzonych koronach, przypominających na pierwszy rzut oka zęby niektórych ssaków łožyskowych. Wszystkie pozostałe grupy ssaków jurajskich i kredowych mają prosty staw zuchwowy jak ssaki współczesne.

W środkowej jurze świat ujrzały pierwsze wieloguzkowce (*Multituberculata*), duża i bardzo zróżnicowana grupa ssaków, która przetrwała aż do końca eocenu. Szczególnie dobrze wieloguzkowce zachowały się w osadach kredowych pustyni Gobi. Były to pierwsze ssaki, które przystosowały się w pełni do roślinożernego trybu życia, choć zdarzały się formy wszystkożerne. Budową zuchwy przypominały gryzonie – miały parę stale rosnących siekaczy, za którymi po przerwie (*diastemie*) zaczynały się zęby przedtrzonowe i trzonowe, pokryte licznymi równiej wysokości guzkami (stąd ich nazwa). Dolne zęby przedtrzonowe, zwłaszcza silnie powiększony u większości wieloguzkowców czwarty przedtrzonowy, były mocno bocznie spłaszczone niczym tnące ostrze z bokami pokrytymi biegącymi ku dołowi grzebieniami. Podczas żucia zuchwa wieloguzkowców poruszała się poziomo – w przód i w tył – jak u gryzoni.

PÓŻNOKREDOWY KATOPSBATAR, przybierając agresywną pozycję, najprawdopodobniej wysuwał znajdujące się na nogach ostre kolce jadowe, tak jak to robi współczesny dziobak żyjący w Australii. W ten sposób bronił się przed drapieżnikami, do których należały też mniejsze dinozaury.





ŻUCHWA AUSKTRIBOSFENOSA (*Ausktribosphenos nychos*) z Australii sprzed 80 mln lat (pokazana od strony wewnętrznej), w której zachowały się cztery zęby: ostatni przedtrzonowy (pierwszy z lewej) i trzy trybosfeniczne zęby trzonowe. W tylnej części (z prawej) widoczna jest bruzda, w której tkwią kostki „gadziego” stawu żuchwowego. Naukowiec australijski uznali ausktribosfenosa za najstarszego ssaka łożyskowego.

Interesującą i ważną grupą ssaków mezozoicznych, wykazującą cechy pośrednie między formami o zębach z trzema symetrycznie ułożonymi guzkami, a najważniejszą, dominującą dziś grupą ssaków właściwych (obejmującą ssaki łożyskowe i torbacze), były eupantoteria (*Eupantotheria*). Miały one górne zęby szersze niż dolne (u symetrodontów były tej samej szerokości), a na dolnych trzonowcach, za trzema guzkami tworzącymi trójkąt pojawił się dodatkowy element – talonid. Z tego typu zębów powstały z czasem tzw. zęby trybosfeniczne, przystosowane jednocześnie do cięcia i do miażdżenia pokarmu. Z zębów tych wyewoluowały następnie zęby wszystkich ssaków łożyskowych i torbaczy. Występują one również u niektórych współczesnych przedstawicieli torbaczy, na przykład u oposa.

Pierwsze torbacze i ssaki łożyskowe pojawiły się na Ziemi na początku kredy. Dziś torbacze żyją tylko w Australii i Ameryce Południowej (z wyjątkiem oposa, który ma siedliska również na południu Ameryki Północnej). W okresie kredowym żyły one jednak na znacznie większym obszarze – najstarszy znany torbacz z wczesnej kredy pochodzi z Chin. Ssaki łożyskowe, które odniosły ogromny sukces ewolucyjny i obecnie występują na wszystkich kontynentach i we wszystkich morzach, najprawdopodobniej wyodrębniły się w Azji. Tam zostały znalezione ich najwcześniejsze szczątki. Podczas polsko-mongolskich wypraw zgromadziliśmy cenny zbiór znakomicie zachowanych czaszek i szkieletów pozaczaszkowych tych ssaków z późnej kredy. Najczęściej skamieniałości, które znajdowaliśmy, tkwiły w skale. Musieliśmy więc opanować sztukę cierpliwego i finezyjnego preparowania małych szkieletów.

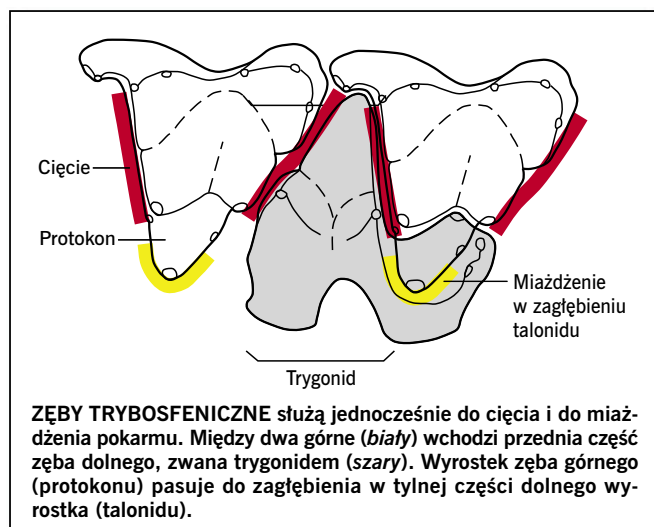
Spór o zęby

DO NIEDAWNA PALEONTOLODZY BYLI PRZEKONANI, że zęby trybosfeniczne powstały w historii ssaków tylko raz: we wczesnej kredzie na półkuli północnej. W roku 1997 wybuchła jednak sensacja. Tom Rich z Monash University w Melbourne w Australii wraz ze współpracownikami opublikował w *Science* artykuł, w którym opisał żuchwę małego ssaka z wczesnej kredy, nazwanego *Ausktribosphenos nychos*, z zachowanymi trzema zębami trzonowymi o budowie trybosfenicznej. Sformułował też hipotezę, jakoby ssaki łożyskowe powstały w Australii. Jak się można domyślać, odkrycie rzekomych pierwszych ssaków łożyskowych na antypodach wzbudziło ogromny entuzjazm tamtejszych mediów. Środowisko naukowe przyjęło jednak te rewelacje

sceptycznie. Dwa lata później opisano żuchwę kolejnego ssaka o zębach trybosfenicznych, tym razem z osadów jurajskich Madagaskaru, a w roku 2002 – ssaka argentyńskiego z jury.

Pierwszą krytyczną notatkę na ten temat opublikowałam z moimi kolegami – Amerykaninem Richem Cifellim z University of Oklahoma i wspomnianym już Luo – w 1998 roku w skandynawskim czasopiśmie *Lethaia*. Argumentowaliśmy, że *Ausktribosphenos* nie mógł być ssakiem łożyskowym, na co wskazuje budowa jego żuchwy, w której po stronie wewnętrznej znajduje się bruzda, taka sama jak u prymitywnych ssaków, ze śladami wstępowania kości „gadziego” [ramka na stronie 46], a w linii prowadzącej do ssaków łożyskowych i torbaczy te kości zanikły już w jurze.

Pod względem naukowym ważniejszy był jednak artykuł, który w tym samym składzie (tym razem Luo był pierwszym autorem) opublikowaliśmy w 2001 roku w *Nature*. Przedstawiliśmy w nim wyniki przeprowadzonej za pomocą programu komputerowego analizy kladystycznej, polegającej na znalezieniu jak największej liczby wspólnych cech budowy zębów i żuchw u najstarszych ssaków z całego świata, i wykazaliśmy, że ssaki o zębach trybosfenicznych z półkuli południowej i północnej stanowią odrębne linie rozwojowe. Nazwaliśmy je Boreosphenida (należą do niej wszystkie ssaki łożyskowe i torbacze) i Australosphenida (jej jedynymi żyjącymi dotąd przedstawicielami są stekowce). Wbrew temu, co



sądzono dotychczas, analiza wykazała, że zęby trybosfeniczne pojawiały się w historii ssaków dwukrotnie, u australosfenidów wcześniej, bo już w jurze. Do australosfenidów (zamieszkujących niegdyś półkulę południową) należą wymarłe formy mezozoiczne o zębach trybosfenicznych oraz spokrewnione z nimi stekowce – jedyni przedstawiciele tej grupy, którzy przeżyli do dziś. Boreosfenidy pojawiły się we wczesnej kredzie na półkuli północnej i osiągnęły większy sukces ewolucyjny, należą do nich bowiem wszystkie współczesne ssaki łożyskowe i torbacze oraz ich wymarli przodkowie.

Nasza hipoteza ma zwolenników i przeciwników. Ci ostatni argumentują, że ssaki o zębach trybosfenicznych z półkuli południowej należy też uznać za prawdziwe ssaki łożyskowe. Ponieważ australosfenidy znane są wyłącznie z żuchw z niepełnym uzębieniem i nie wiadomo, jaką budowę miały ich górne zęby oraz czaszka, wydaje się mało prawdopodobne, aby udało się rozstrzygnąć spór, zanim nie zostaną znalezione nowe materiały kopalne.

Jadowite ssaki

W ANALIZACH PALEONTOLOGICZNYCH niekiedy nieocenione są obserwacje „żywych skamieniałości”, czyli gatunków reliktowych. Do takich należą stekowce – jajorodne ssaki, żyjące w regionie australijskim, reprezentowane przez trzy rodzaje: dziobaka, kolczatkę i prakolczatkę. Po wewnętrznej stronie stawu skokowego tych zwierząt, na kości skokowej, występuje dodatkowa kostka zwana *os calcaris*, z którą połączona jest ostro zakończona rogowa ostroga. W ostrodze biegnie kanał, przez który wydostaje się jad, wytwarzany przez gruczoł jadowy. U dziobaka ostrogę taką mają tylko samce, natomiast u kolczatek samce i niektóre samice, ale gruczoły jadowe u kolczatek zanikły. Jeszcze na początku ubiegłego stulecia mieszkańcy Australii polowali na dziobaki dla ich pięknego futra i zdarzały się przypadki ciężkich zranień, gdy myśliwy próbował chwycić ręką pływające zwierzę. Dziobak zaciskał wówczas na ręce łowcy obie nogi, tak mocno wbijając mu w dłoń lub nadgarstek ostrogi, że ofiara często nie była w stanie sama się z nich uwolnić.

Początkowo zoologom wydawało się, że struktura jadowa jest czymś wyjątkowym wśród ssaków, charakterystycznym tylko dla dzisiejszych stekowców. Jednakże w 1983 roku znaleziono w Stanach Zjednoczonych skostniałą ostrogę w szkielecie eutrykonodonta z wczesnej kredy (będącego przedstawicielem grupy wymarłych ssaków o zębach z głównymi guzkami



MÓZG NAJSTARSZYCH SSAKÓW różni się bardzo od mózgu ich bezpośrednich przodków – cynodontów. Gdy cynodont (z lewej) miał jeszcze bardzo wąskie półkule mózgowe i wąski mózdzek, u wieloguzkowca (z prawej) były one już silnie rozrośnięte i rozszerzały się ku tyłowi. Cynodont jest większy, lecz oba odlewy wewnętrzne puszek mózgowych, aby ułatwić porównanie, zostały pokazane, jakby były tej samej długości.

ułożonymi w kierunku przodo-tylnym). Wkrótce potem podobne ostrogi odkryto u trzech innych grup wczesnych ssaków: symetrodontów, dokodontów i – najlepiej zachowane – u wieloguzkowców z późnej kredy z pustyni Gobi.

Na początku 2005 roku wspólnie z moim byłym doktorem norweskim paleontologiem Jørnem Hurumem z Muzeum Paleontologicznego w Oslo oraz z Luo opublikowaliśmy w *Acta Palaeontologica Polonica* pracę zatytułowaną „Were mammals originally venomous?” (Czy ssaki były pierwotnie jadowite?), w której opisaliśmy wszystkie znane przypadki występowania kości związanych z ostrogą lub skostniałych rogowych ostróg u wczesnych ssaków.

Szkielety ssaków mezozoicznych najczęściej zachowują się w stanie niekompletnym, bez kości stawu skokowego, których znaleziska są bardzo rzadkie. Odkrycie kopalnej ostrogi (lub związanej z nią dodatkowej kości w stawie skokowym) aż u czterech grup mezozoicznych ssaków pozwoliło nam wyciągnąć wniosek, że wszystkie ssaki mogły być pierwotnie jadowite. Może w ten sposób te małe zwierzęta broniły się przed dinozaurami, których mniejsi przedstawiciele, jak się niedawno okazało, nie gardzili ssaczym mięsem? Jest interesujące, że u mezozoicznych przodków ssaków właściwych nie znaleziono w stawie skokowym kości świadczących o obecności ostrogi. Być może było to związane z osiągnięciem przez te ssaki parasagitalnego (równoległego) położenia kończyn, gdy grupy prymitywnych ssaków mezozoicznych, u których występowała ostroga, miały jeszcze kończyny częściowo odwiezione, tzn. zajmujące położenie pośrednie między kończynami gadów (roztawionymi na boki) a kończynami ssaków (ustawionymi równoległe do siebie i do wyznaczającej dwuboczną symetrię ciała płaszczyzny strzałkowej – sagitalnej).

Jedną z ważniejszych różnic między gadami i ssakami jest względna wielkość mózgu. U zwierząt kopalnych można ją ocenić na podstawie odlewów wewnętrznych puszek mózgowych. Po śmierci zwierzęcia, gdy części miękkie ulegną rozkładowi, a szkielet opadnie na dno zbiornika wodnego, drobny osad wraz z wodą przenika do wnętrza puszek mózgowych i wypełnia ją. Również na łądzie czaszka ssaka może zostać wypełniona osadem, na przykład w czasie powodzi, albo

ZOFIA KIELAN-JAWOROWSKA jest paleobiologiem, emerytowaną profesorką Instytutu Paleobiologii Polskiej Akademii Nauk. Jeszcze jako studentka Uniwersytetu Warszawskiego zainteresowała się trylobitami, które później posłużyły jej jako temat pracy magisterskiej i doktorskiej. Od początku lat sześćdziesiątych bada ssaki mezozoiczne. Organizatorka ośmiu polsko-monogolskich wypraw paleontologicznych na pustynię Gobi, z których pięcioma kierowała. Jest pierwszą autorką dzieła *Mammals from the Age of Dinosaurs*, uznanego przez społeczność paleobiologów za lekturę obowiązkową i kamień milowy w badaniach ssaków ery dinozaurów. Za tę pracę otrzymała w 2005 roku Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Wykładała na wielu uczelniach, m.in. Harvard University, Université Paris VII oraz Uniwersytet i Oslo. Jest członkiem PAN, Norweskiej Akademii Nauk, Academia Europea i wielu towarzystw naukowych. Od jej imienia i nazwiska nazwano dziesiątki gatunków prehistorycznych zwierząt.

też piaskiem podczas burzy piaskowej na pustyni. Gdy osad stwardnieje, utworzy odlew, przy czym w przypadku ssaków, u których mózg wypełnia całą puszkę mózgową, będzie on dość wiernie odzwierciedlał szczególnie anatomiczne mózgu.

Ewolucja mózgu

PORÓWNANIE naturalnych odlewów mózgu zaawansowanych cynodontów i ssaków mezozoicznych pokazuje, jak ogromny był rozrost mózgu ssaków. Wydaje się też, że u ssaków mezozoicznych istniała kora nowa, a niektórzy paleontolodzy uważają nawet, że pojawiła się ona już u zaawansowanych cynodontów.

Podczas wypraw na pustynię Gobi zebraliśmy dużo czaszek ssaków z okresu kredowego. W niektórych zachowały się odlewy wewnętrzne puszek mózgowych. Udało mi się na ich podstawie odtworzyć zewnętrzny wygląd mózgu oraz przebieg nerwów czaszkowych. W przypadku znalezienia kilku czaszek jednego gatunku decydowałam się na usunięcie kości przykrywających czaszkę od strony grzbietowej i odsłonięcie wewnętrznego odlewu puszek mózgowych. Gdy w latach 1982–1984 przebywałam w Muzeum Historii Naturalnej w Paryżu, zatopiłam dwie czaszki wieloguzkowców w żywicy epoksydowej, a następnie w Université Paris VII, który akurat zakupił specjalny mikrotom do skrawania metali, pokroiłam je na skrawki grubości 25 µm. Pracę tę wykonałam wspólnie z Cécile Poplin, koleżanką z muzeum, i brytyjskim embriologiem Bobem Presleyem. Udało nam się po raz pierwszy zrekonstruować wewnątrz puszek mózgowych wieloguzkowców. Wykonaliśmy powiększony model mózgu lepiej zachowanej czaszki, na którym odtworzyliśmy również przebieg nerwów czaszkowych i naczyń krwionośnych głowy. W latach osiemdziesiątych metoda tomografii komputerowej – pozwalająca uzyskać podobne rezultaty bez naruszenia okazu – nie była jeszcze w paleontologii stosowana.

Badania te wykazały, że wieloguzkowce, podobnie jak ssaki łożyskowe z okresu kredowego, miały bardzo duże płaty węchowate, duże (w stosunku do mózgow cynodontów) półkule mózgowie rozszerzające się w części tylnej i odsłaniające śródmózgowie oraz krótki, szeroki mózdzek. Mózg prymitywnych współczesnych ssaków właściwych, na przykład oposa, ma podobną budowę, jednak u większości współczesnych ssaków śródmózgowie nie jest odsłonięte od strony grzbietowej, gdyż przykrywają je rozrośnięte półkule mózgowie.

Odlewy wewnętrzne puszek mózgowych wieloguzkowców świadczą też o silnie rozwiniętych u tych zwierząt płatach węchowatych i półkulach mózgowych ukształtowanych podobnie jak u kredowych ssaków łożyskowych. Jednak tylna część ich mózgu była zbudowana inaczej. Śródmózgowie u wieloguzkowców nie jest odsłonięte, lecz przykryte wypukłą trójkątną strukturą, sprawiającą wrażenie rozrośniętej środkowej części mózdzku, zwanej robakiem. Tak nazwał tę strukturę amerykański paleontolog George Gaylord Simpson, który w 1937 roku pierwszy opisał odlew puszek mózgowych paleocenońskiego wieloguzkowca i przez wiele lat ta interpretacja obowiązywała. Gdyby jednak rzeczywiście tak było, mózg wieloguzkowców różniłby się zasadniczo od mózgow wszystkich innych ssaków, u których śródmózgowie, jeżeli nie odsłania się na stronie grzbietowej, jest przykryte przez półkule mózgowie, a nie przez robaka mózdzku.

W 2004 roku wspólnie z Terry Lancaster, amerykańską statystyczką z Muzeum Przyrodniczego Northeastern Ohio Universities College of Medicine opublikowaliśmy pracę



MODEL MÓZGU WIELOGUZKOWCA (powiększony 16-krotnie) wykonany z płytek woskowych przez autorkę artykułu (z lewej) i jej współpracowniczkę Cécile Poplin. Udało się odtworzyć w nim również przebieg nerwów czaszkowych i naczyń krwionośnych głowy zwierzęcia.

podważającą pogląd Simpsona. Po konsultacjach z neuroanatomami doszliśmy do wniosku, że nietypowa trójkątna struktura widoczna na odlewach puszek mózgowych wieloguzkowców może być raczej odciskiem dużego naczynia krwionośnego, które przykrywało struktury robaka. Podobne naczynie występuje u niektórych torbaczy. Oznaczałoby to, że wszystkie prymitywne ssaki miały podobne mózgi, co by potwierdzało ich wspólne pochodzenie. W dalszej ewolucji ssaków mózg ulegał kolejnym przekształceniom, przy czym u naczelnych ważną rolę odegrał etap, na którym u naszych przodków doszło do dalszego rozwoju kory nowej.

Wyniki badań nad wczesnymi ssakami powinny skłaniać do skromności. Nasza historia zaczęła się znacznie dawniej, niż zwykle się uważa. Przed blisko 4 mld lat powstały pierwsze żywe organizmy i biosfera, która okazała się tworem trwałym i niezwykle wytrzymałym. Ssakami staliśmy się przed 225 mln lat, a mniej więcej 5 mln lat temu rozeszły się drogi ewolucyjne nasze i szympansa. Człowiek rozumny, *Homo sapiens*, powstał zaledwie niespełna 200 tys. lat temu. Cały ten ciąg rozwojowy wiązał się z wahaniami klimatu zależnymi od zdarzeń w kosmosie i na Ziemi, z wędrówką kontynentów, ze zmianami szaty roślinnej i wieloma innymi przypadkowymi czynnikami. Gdyby na przykład dinozaury wymarły wcześniej albo później, rozwój ssaków mógłby wyglądać zupełnie inaczej, a człowiek i jego cywilizacja nie powstać wcale.

A jaka jest nasza przyszłość? Tego nie wie nikt, jednak na pewno rządzić nią będą te same prawa przyrody, które uformowały nas w minionych eonach, oraz rewolucyjnie nowy czynnik powstały w wyniku ewolucji: intelekt. ■

JEŚLI CHCESZ WIEDZIEĆ WIĘCEJ

- Paleontolog z przypadku.** Marcin Rotkiewicz; Sylwetka, *Świat Nauki*, III/2006.
- The Origin and Evolution of Mammals.** Thomas S. Kemp; Oxford University Press, Oxford 2005.
- Mammals from the Age of Dinosaurs: Origins, Evolution, and Structure.** Zofia Kielan-Jaworowska, Richard L. Cifelli i Zhe-Xi Luo; Columbia University Press, New York 2004.
- The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia.** Red. Michael J. Benton, Mikhail A. Shishkin, Evgenii N. Kurochkin, i David M. Unwin; Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- Mesozoic Mammals: The First Two-thirds of Mammalian History.** Red. Jason A. Lillegraven, Zofia Kielan-Jaworowska, i William A. Clemens; University of California Press, Berkeley 1979.