

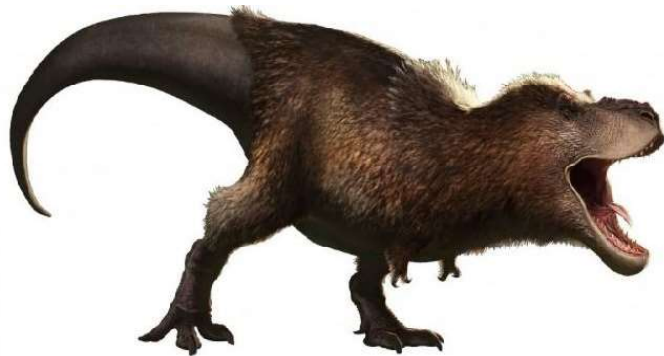
Występowanie i funkcjonalność piór u nieptasich dinozaurów

Adam Rytel

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: adam.rytel@wp.pl*

Słowa kluczowe – *paleontologia, dinozaury, pióra, Theropoda*

Dinozaury już od odkrycia i opisanie pierwszych ich kości prawie 200 lat temu budziły szerokie zainteresowanie. Swymi rozmiarami, różnorodnością i odmiennością od współcześnie żyjących zwierząt potrafiły i nadal potrafią wzbudzać niemałe emocje. Kolejne odkrycia pozwalały lepiej zrozumieć je same, jak i ekosystemy w których żyły. Sam obraz dinozaurów również ewoluował z czasem. Najlepszym przykładem są przedstawiciele podrzędu Theropoda reprezentowanego w większości przez dwunożne drapieżniki, takie jak słynny *Tyrannosaurus rex*. Początkowo mezozoiczne gady przedstawiane były jako stworzenia czworonożne, przypominające jaszczurki, czy krokodyle, następnie w pozycji wyprostowanej, podparte na własnym ogonie niczym kangury (Ryc. 1). Obecne rekonstrukcje opierają się głównie na badaniach z ostatnich 50 lat. Nowe skamieniałości, możliwość komputerowego modelowania ruchu i anatomii (np. zakres mobilności kończyn) pozwoliły na, jak się wydaje, najwierniejsze dotychczas odwzorowanie tych zwierząt.



Ryc. 1. Porównanie zmian wizji paleoartystów – *Tyrannosaurus rex*: Charlesa Knight'a z 1919 roku (z lewej) oraz współczesne dzieło R. J. Palmera (z prawej) (źródło: charlesrknigh.com, artstation.com)

Część badaczy uważa, że ptaki (*Aves*) nie powstały z dinozaurów, a z innej grupy gadów, charakteryzujących się w znacznym stopniu podobną anatomią (Czerkas i Feduccia, 2014). Oznaczałoby to, iż pióra ptasie nie są homologiczne strukturom znajdującym u dinozaurów. Pod koniec XX wieku jednak, wraz ze stopniowym umacnianiem się obowiązującej teorii o wyewoluowaniu ptaków z wspomnianego już rzędu Theropoda, stawało się coraz bardziej prawdopodobne, iż ich przodkowie mogli posiadać przynajmniej częściowe upierzenie. Materiał kopalny pozwolił potwierdzić, iż również nieptasie dinozaury posiadały pióra, lub struktury je przypominające (Chen, 1998). Zmieniło to również w znacznym stopniu sposób w jaki obecnie są przedstawiane graficznie – zaczęto wzorować się nie tylko na obecnie żyjących gadach,

ale także na ich bliższych krewnych ptakach. Ewolucja upierzenia jako adaptacji oraz jego pierwotne wykorzystanie pozostają jednak niejasne.

Zapis kopalny

Zakładając bezpośrednie pochodzenie ptaków od dinozaurów, można zastanawiać się, czy samo występowanie piór u Aves nie jest dowodem na występowanie piór u ich przodków. Wiąże się to z umownie przyjętą definicją ptaków, zgodnie z którą zbiór charakterystycznych cech wyróżnia je na tle innych grup. Nie ma więc problemów z rozróżnieniem, który z obecnie żyjących gatunków zwierząt należy do Aves, a który nie - nasza definicja jest na nich oparta. Niestety nauka nie polega na umawianiu się co do prawdy, lecz na jej odkrywaniu. Wykształcenie cech ptasich jest wynikiem kilkudziesięciu milionów lat ewolucji, na początku której trudno jednoznacznie zaliczyć formy przejściowe do jednego, czy drugiego kladu. Jak zaawansowane musiały być pióra, i jak dużą część powierzchni ciała musiały pokrywać? Już słynny, uważany tradycyjnie za najstarszego ptaka, archeopteryks posiadał zaawansowane pióra (Ryc. 2), które mogły służyć przynajmniej do szybowania, o ile nie do aktywnego lotu (Voeten, 2018) co sugeruje, że struktury te wyewoluowały wiele milionów lat wcześniej. Nasza definicja ptaka okazuje się więc niewystarczająca w konfrontacji z niektórymi organizmami, które obserwujemy jedynie jako skamieniałości, a ich zaliczenie, lub nie, do danego taksonu często budzi kontrowersje. Część badaczy uważa na przykład, że część teropodów w większości upierzonych, to tak naprawdę ptaki, które wtórnie utraciły zdolność lotu. Posiadany przez nie zbiór cech ptasich zostałby w takim przypadku bezpośrednio odziedziczony, a niekoniecznie pochodził od wspólnego przodka (Maryańska 2002).



Ryc. 2. *Archaeopteryx lithographica* w Museum für Naturkunde w Berlinie (źródło: scienceblogs.com)

Archeopteryks jest ważną częścią tak zwanego “zapisu kopalnego”, czyli materialnego zapisu dziejów życia, w postaci skamieniałości. Większość tkanek kręgowców, w porównaniu z np. pancerzami i muszlami bezkręgowców, charakteryzuje się niskim potencjałem fosylizacyjnym, a tym samym ma niewielkie szanse na zachowanie się w osadzie. Nawet łuski i zęby, które są znajdowane najczęściej, wymagają niezwykle sprzyjających fosylizacji warunków. Jeszcze większe wymagania pod tym względem mają kości. Truchło zwierzęcia musi pozostać niedostępne dla drapieżników i padlinożerców. Najczęściej następuje to poprzez szybkie pogrzebanie osadem, lub znalezienie się w strefie beztlenowej (obszar intensywnego zachodzenia procesów redukcyjnych znajdujący się na dnie niektórych zbiorników wodnych). Jednak nawet sprzyjające warunki nie zawsze gwarantują, iż dana skamieniałość przetrwa do naszych czasów. Zachodzące procesy metamorficzne, erozja, czy wietrzenie z łatwością są w stanie zniszczyć delikatne fosylia. Nawet jeśli dotrwały one współczesności, to często są nieumyślnie, lub umyślnie (jak na przykład ciosy mamutów używane w tradycyjnej medycynie chińskiej) niszczone. Wiele skamieniałości znajduje się w mało dostępnych rejonach świata, takich jak na przykład Antarktyda, Grenlandia, Syberia, południowa Mongolia, czy zachodnie Chiny, skąd wydobywane są tylko przez ekspedycje. Wszystkie wymienione czynniki sprawiają, że zapis kopalny jest z definicji niekompletny, co sprawia, że wiele postawionych na

jego podstawie hipotez z czasem okazuje się błędnych. Materiał jaki możemy opracować naukowo jest bardzo fragmentaryczny. Wiele szczątków kręgowców pochodzi z ekosystemów o dużej dostępności wody, rozlewisk, bagien, lagun i jezior, ponieważ tam najlepiej się zachowuje. Stąd może zostać zawyżona liczebność populacji danego gatunku, względem wszystkich żyjących w danym środowisku. W niektórych stanowiskach, o większej dynamice transportu, nie zachowały się niewielkie, lub delikatne kości, w innych, o wolniejszym tempie sedymentacji, duże kości zostały zniszczone przez erozję. Dlatego należy zachować szczególną ostrożność przy wysuwaniu wniosków na temat paleoekologii stanowisk kopalnych. Sam fakt nie znalezienia w danej lokalizacji danej skamieniałości nie jest dowodem na jej wcześniejsze nieistnienie w nim. Może być to tylko kwestią lokalnie niesprzyjających warunków fosylizacji. Szczególnie dotyczy to tkanek miękkich, dla których zachowania wymagane są wybitnie sprzyjające okoliczności, co sprawia iż znajdowane są niezmiernie rzadko. Dlatego chcąc poznać fizjologię, czy behavior zwierząt wymarłych, najczęściej obserwujemy ich najbliższych żyjących krewnych. W przypadku dinozaurów za tych krewnych uznano na początku żyjące obecnie gady, takie jak krokodyle i jaszczurki. Dlatego przypisano im łuski, typową dla gadów zmiennoocieplność i wiążącą się z nią często ociężałość. Ten obraz zmienił się, zwłaszcza pod wpływem odkryć z ostatnich 50 lat. Wiadomo, między innymi, że teoria o zmiennoocieplności okazała się nieprawdziwa (Grady et al., 2014). Jeżeli wszystkie żyjące ssaki posiadają sierść (nawet walenie), to można wnioskować, że znajdowane przez nas szkielety wielkich ssaków kenozoicznych również należały do zwierząt owłosionych. Idąc tym tokiem rozumowania, wiedząc, że wszystkie ptaki posiadają pióra i posiadały je już około 150 milionów lat temu (archeopteryks), można wnioskować, że dinozaury również były upierzone, a nie miały łusek występujących u ich dalszych żyjących krewnych, krokodyli. Jest to dość uproszczony model, ale został częściowo potwierdzony zapisem kopalnym. Udało się odnaleźć przedstawicieli *Dinosauria*, którzy nie byli ptakami i posiadali struktury przynajmniej przypominające pióra (Ryc. 3).



Ryc. 3. *Sinosauropteryx prima* - pierwszy nieptasi dinozaur u którego udało się zidentyfikować pióra (źródło: dinosaurpalaeo.wordpress.com)

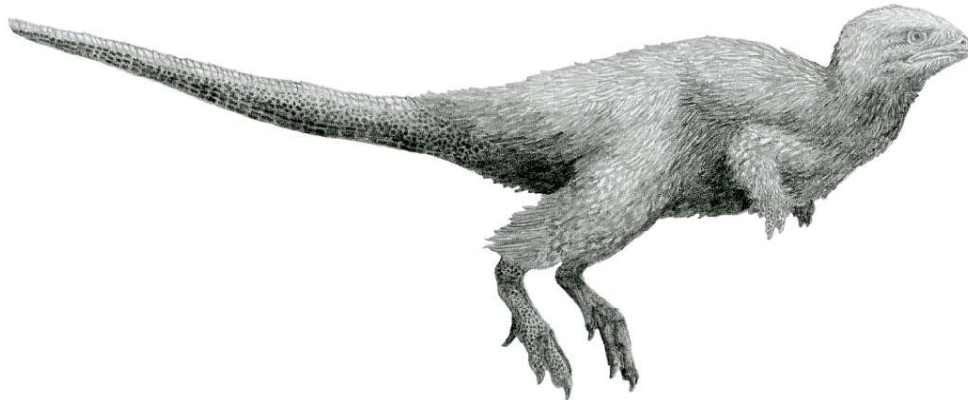
Do tej pory, wśród milionów skamieniałości, opisanych zostało jedynie kilkadziesiąt gatunków nieptasich dinozaurów z zachowanymi śladami upierzenia, z czego przytłaczająca większość pochodziła z chińskiej prowincji Liaoning (Norell i Xu, 2005). Taka proporcja wynika z niezwykle rzadko spotykanych cech środowiska fosylizacji, pozwalających na zachowanie się środkowojurajskich śladów tkanek miękkich oraz piór. Zachowały się one w postaci kontrastujących z jasną skalą odcisków. Ich stan jest na tyle dobry, iż można nawet określić ich kolor (Zhang et al., 2010). Kształt melanosomów, organelli odpowiedzialnych za kolor komórek, został zachowany w sposób wystarczający do określania barwy piór. Niektóre posiadały nawet właściwości iryzujące (Hu et al., 2018). Udało się odtworzyć oryginalną kolorystykę kilku gatunków, w tym między innymi niewielkiego nieptasiego dinozaura *Anchiornis huxleyi* (Ryc. 4).



Ryc. 4. Oryginalna kolorystyka *Anchiornis huxleyi* (źródło: <https://www.smithsonianmag.com>)

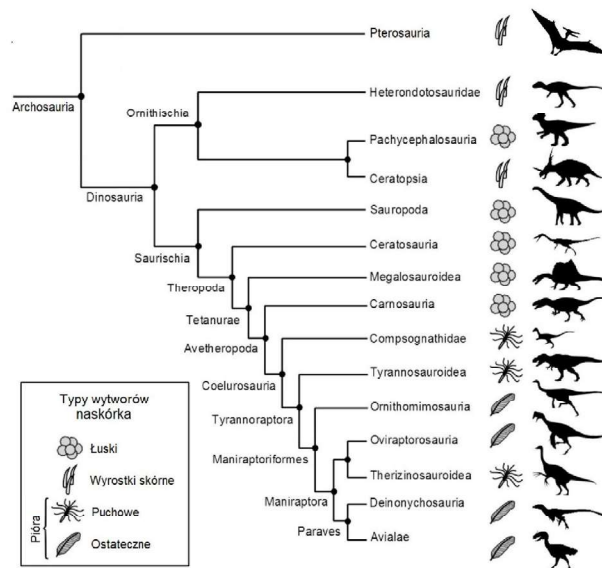
Znalezione osobniki z zachowanym upierzeniem należały głównie do blisko spokrewnionego z ptakami kladu Paraves i były niewielkimi drapieżnikami. Znaleziono jednak również skamieniałości o wiele większych dinozaurów z piórami, w tym blisko 10-cio metrowego drapieżnika szczytowego *Yutyrannus huali*, spokrewnionego z tyranozaurum. Posiadał on proste upierzenie na większości powierzchni ciała (Xu et al., 2012).

Wiele mogą wnosić także ślady wytworów naskórka występujące u niektórych dinozaurów spoza Theropoda. Przypominające włosy, ale prawdopodobnie bliższe piórom, struktury znalezione zostały również, jak na razie, u trzech przedstawicieli dinozaurów ptasiomiednicznym (*Ornithischia* - w mniejszym stopniu spokrewnionych z ptakami, wywodzącymi się prawdopodobnie z dinozaurów gadziomiednicznym – *Saurischia*). U jednego z rodzajów (*Kulindadromeus* - środkowa jura) stwierdzono “protopióra” pokrywające znaczną część ciała (Godefroit et al., 2014) w sposób pozornie podobny do ssaczego futra (Ryc. 5).



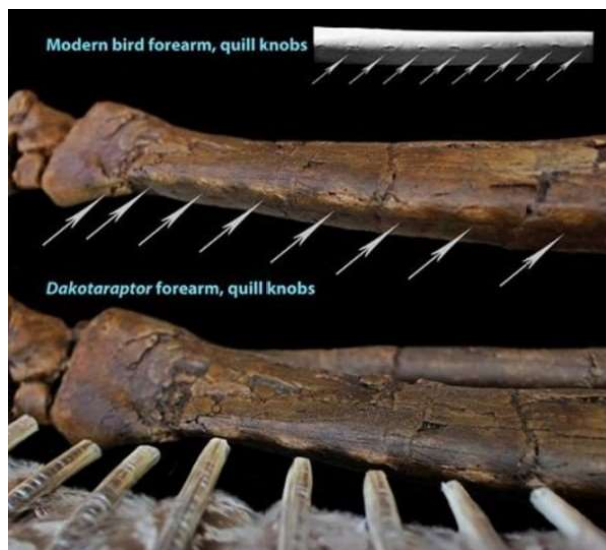
Ryc. 5. Rekonstrukcja *Kulindadromeus zabaikalicus* z upierzeniem (źródło: palaeo.gly.bris.ac.uk)

Pióra opisane u *Ornithischia* są jednak mniej rozbudowane, niż u *Saurischia*. Mogły wyewoluować niezależnie od nich, równolegle. Byłby to przykład tak zwanej ewolucji konwergentnej, gdzie dwie grupy organizmów wytwarzają podobne cechy, często o podobnym zastosowaniu, ale różniące się genezą. Dobrym przykładem jest umiejętność lotu u kręgowców, ptaków, nietoperzy, czy pterozaurów, o (do pewnego stopnia) bardzo podobnym planie ciała. U samych pterozaurów, będących jako rząd prawdopodobnie dość blisko spokrewnionymi z dinozaurami, również odnaleziono ślady wytworów przypominające proste pióra. “Pycnofibers”, jak są nazywane, również przypominały ssacze włosy, ale były zbudowane podobnie jak struktury obecne u *Dinosauria* (Kellner et al., 2009). Rodzi to hipotezy o istnieniu wspólnego przodka również je posiadającego (Ryc. 6). Nie zostaną one jednak zweryfikowane bez możliwości dokładniejszego przesłedzenia ewolucji piór.



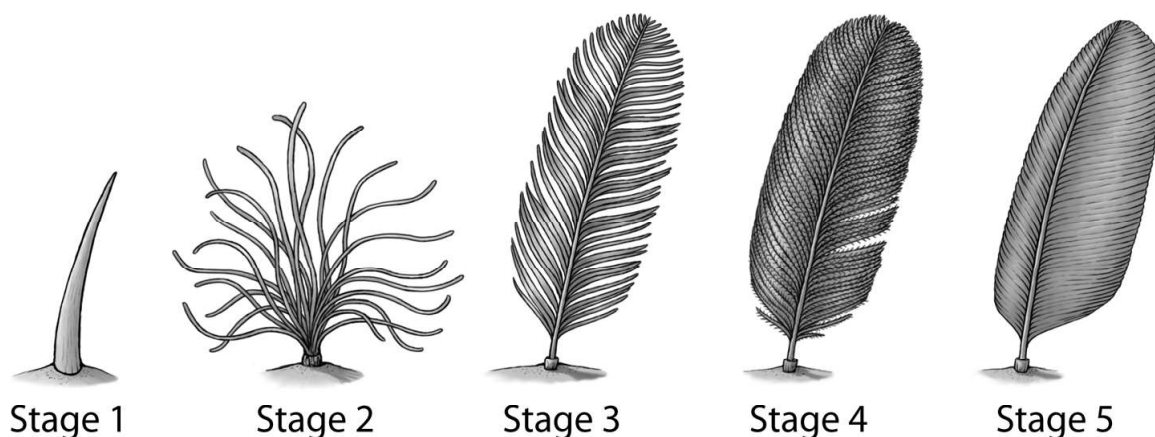
Ryc. 6. Uproszczony kladogram przedstawiający potwierdzone występowanie poszczególnych wytworów skóry u gadów należących *Archosauria*. (za Prado G., Anelli L., Romero G., 2015, zmodyfikowane)

Innym dowodem na posiadanie przez danego osobnika upierzenia jest istnienie tak zwanych “quill knobs”, czyli regularnie rozłożonych wyrostków umiejscowionych na zewnętrznej stronie kości łokciowej. Występują one u części obecnie żyjących ptaków i mają na celu zapewnić lepsze mocowanie dla piór poddawanych w czasie lotu największym napięciom. U dinozaurów zostały one znalezione, między innymi, u dakotaraptora (DePalma et al., 2015) (Ryc. 8), drapieżnika osiągającego nawet 6 metrów długości i zdecydowanie nie posiadającego umiejętności lotu. Pozostaje pytanie, czy wyrostki wykształciły się u niego niezależnie, czy jest to pozostałość po przodkach potrafiących latać.



Ryc. 8. Wyrostki na kości łokciowej dakotaraptora (źródło: DePalma et al., 2015. The First Giant Raptor (Theropoda: Dromaeosauridae) from the Hell Creek Formation)

W pracy często posługiwałem się pojęciem “struktury przypominające pióra”, czy “protopióra”. Jest to skutkiem niepewności badaczy co do interpretacji genezy danych wytworów skóry. Pióra jakie znamy, asymetryczne, o zazębających się elementach, są niezwykle skomplikowanym tworem, który ewoluował dziesiątki milionów lat. Ustalenie sposobu ich powstania budzi kontrowersyjne, ale wśród badaczy dość szeroko uznawana jest teoria o ich przekształceniu z gadzich łusek (Dzik et al. 2010). Prum w 1999 roku zaproponował schemat pochodzenia i ewolucji piór, którą podzielił na 5 etapów (Ryc. 7), różniących się stopniem zaawansowania. Pierwszy, najbardziej pierwotny, etap reprezentuje lekko przypominające włosy, puste w środku wyrostki. Drugi można określić jako pęki nie rozgałęziających się włókien. W trzecim, od centralnej osi pióra, którą dzisiaj nazwalibyśmy stosiną, odchodzą promienie (podobne posiadają obecnie np. strusie), które w etapie czwartym zostają ze sobą złączone haczykami. Etap piąty charakteryzuje się asymetrycznością długości promieni, co zapewnia większą aerodynamiczność. Na wymienionych wcześniej w pracy organizmach obecne były różne kombinacje struktur odpowiadających poszczególnym etapom, aczkolwiek niekoniecznie będących piórami. Przykładowo *Psittacosaurus* posiadał tylko te najbardziej prymitywne, natomiast *Anchiornis* już te o największym wyspecjalizowaniu (etap V). Można założyć, iż zwykle im większe zaawansowanie ewolucyjne wspólnej cechy występującej u danych grup organizmów, tym większa szansa na jej homologiczność (więcej czasu potrzebne jest na jej wykształcenie, co zmniejsza szansę na jej wystąpienie). Stąd uważa się, że część z odnalezionych struktur przypominających pióra (najczęściej etap I, rzadziej II i III), np. u dinozaurów ptasiomiednicznym i pterozaurów, mogła powstać niezależnie od siebie. W świetle najnowszych badań pojawienie się piór jedynie raz w historii, a następnie ich dziedziczenie wydaje się mniej prawdopodobne, niż kilkukrotne, konwergentne wyewoluowanie twórow do nich podobnych (Barret et al. 2015).



Ryc. 7. Uproszczony schemat przedstawiający pochodzenie i rozwój piór (źródło: <https://emilywilloughby.com>, na podstawie Development and evolutionary origin of feathers, Prum 1999)

Funkcjonalność piór u nieptasich dinozaurów

Pióra spełniają o wiele więcej funkcji niż może się wydawać. Kluczem do ich wychwycenia i zrozumienia jest obserwacja obecnie żyjących ptaków. Można wnioskować, iż u nieptasich dinozaurów większość, o ile nie wszystkie z tych cech, również występują. Najwięcej uwagi przyciąga pierwotna ich funkcja, która najbardziej przyczyniła się do ich powstania (kilkukrotnego?). Coraz więcej wskazuje na to, że nie było to zapewnienie możliwości lotu. Jest całkiem prawdopodobne, iż pierwszym ważnym wykorzystaniem piór była termoizolacja (Stuart i Brochu, 2015), również dzisiaj mająca ogromne znaczenie dla ptaków. Lądowe zwierzęta stałocieplne, niezależnie od strefy klimatycznej, z nielicznymi wyjątkami posiadają na większości ciała warstwę izolacyjną w postaci sierści, czy upierzenia, pozwalającego zachować im optymalną temperaturę ciała. Ostatnie badania wykazały, że sierść posiada do tego o wiele gorsze predyspozycje (Dawson i Maloney, 2004). Wspomniany wcześniej wielki *Yutyrannus*, żyjący w zimniejszym niż przez większość mezozoiku klimacie, jak również większość mniejszych dinozaurów, był poddany największej presji pod względem utrzymania temperatury ciała. Dlatego też proste szczeciniaste struktury przypominające pióra pokrywały często większość powierzchni ciała tych organizmów.

Kolejną funkcją, jest powiązanie upierzenia z ekologią behawioralną danego zwierzęcia. Pióra mogły sprawić, że zwierzę wydaje się większe po napuszeniu, pomagać w odróżnianiu osobników swojego gatunku od innych, w wysiadywaniu jaj, mogły stanowić ważny czynnik doboru płciowego, zależnego od strategii rozrodczych (Zhang et al., 2008). Mogą świadczyć o tym bogata kolorystyka odczytana z kształtu melanosomów u niektórych okazów, jak również występowanie w ogonie długich piór, podobnych do tych znajdujących dzisiaj między innymi u "rajskich ptaków". Wykształcenie tych cech u danego osobnika miało wpływ na jego szanse na spłodzenie potomstwa.

Jaką funkcję mogły mieć pióra zamocowane w "quillknobs" dakotaraptora? Podejrzewa się, że silne naprężenia, na jakie były wystawione, występowały podczas polowań prowadzonych przez te zwierzęta. Pióra mogły być wykorzystywane do wykonywania gwałtownych zwrotów, tak jak robią to dzisiejsze strusie, zmniejszenia prędkości poruszania się w czasie zbiegania po pochyłym terenie, czy ustabilizowania ciała w czasie przytrzymywania ofiary (DaPalma et al., 2014).

Ostatecznie to jednak umiejętność lotu okazała się kluczowa dla *Aves* - pozwoliła im zająć wiele nisz ekologicznych niedostępnych dla ich przodków. Dzięki niej dziś zasiedlają wszystkie kontynenty i liczą blisko 10 000 gatunków. Ich istnienie jest nieocenione, kiedy odtwarzamy życie ich przodków, dinozaurów. Potrafią pokazać to, czego zapis kopalny nigdy nie pokaże. Świat dzisiejszy znów okazuje się być oknem na świat wczorajszy.

Literatura

- Alibardi, L., Knapp, L., Sawyer R., 2006. Beta-keratin localization in developing alligator scales and feathers in relation to the development and evolution of feathers, *Journal of submicroscopic cytology and pathology*, 38.
- Barrett, P. M., Evans, D. C., Campione, N. E., 2015. Evolution of dinosaur epidermal structures, *Biology letters*, 11(6), 20150229.
- Chen P., Dong Z., Zhen S., 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China, *Nature*, 391.
- Czerkas, S.A. & Feduccia, A., 2014. Jurassic archosaur is a non-dinosaurian bird, *J. Ornithol*, 155: 84.
- Dawson T., Maloney S., 2004. Fur versus feathers: the different roles of red kangaroo fur and emu feathers in thermoregulation in the Australian arid zone. *Australian Mammalogy*, 26.
- DePalma et al., 2015. The First Giant Raptor (Theropoda: Dromaeosauridae) from the Hell Creek Formation, *Paleontological Contributions*, 14.
- Dimond Ch., Cabin R., Brooks J., 2011. Feathers, Dinosaurs, and Behavioral Cues: Defining the Visual Display Hypothesis for the Adaptive Function of Feathers in Non-Avian Theropods, *BIOS*, 82.
- Dzik, J., Sulej, T., and Niedźwiedzki G., 2010. Possible link connecting reptilian scales with avian feathers from the early Late Jurassic of Kazakstan, *Historical Biology* 22: 394–402.
- Fucheng Z., Zhonghe Z., Xing X., Xiaolin W., Corwin S., 2008. A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers, *Nature*, 455.
- Godefroit P., Sinita S., Dhouailly D., Bolotsky Y., Sizov A., McNamara M., Benton M., Spagna P., 2014. Jurassic ornithischian dinosaur from Siberia with both feathers and scales, *Science*, 345.
- Grady J., Enquist B., Dettweiler-Robinson E., Wright N., Smith F., 2014. Evidence for mesothermy in dinosaurs, *Science*, 344.
- Hu D., Clarke J., Eliason C., Qiu R., Li Q., Shawkey M., Zhao C., D'Alba L., Jiang J., Xu X., 2018. A bony-crested Jurassic dinosaur with evidence of iridescent plumage highlights complexity in early paravian evolution, *Nature Communications*, 9.
- Huxley T., 1868. On the animals which are most nearly intermediate between birds and reptiles, *Geological Magazine*, 5
- Kellner A., Wang X., Tischlinger H., Campos D., Hone D., Meng X., 2009. The soft tissue of Jeholopterus (Pterosauria, Anurgnathidae, Batrachognathinae) and the structure of the pterosaur wing membrane, *Proceedings of the Royal Society B*, 277.
- Maryńska T., Osmólska H., and Wolsan M., 2002. Avialan status for Oviraptorosauria, *Acta Palaeontologica Polonica* 47: 97–116.
- Norell A., Xu X., 2005. Feathered Dinosaurs, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33.
- Prum, R. O., 1999. Development and evolutionary origin of feathers, *Journal of Experimental Zoology*, 285(4), 291–306.
- Stuart S., Brochu Ch., 2015. Phylogenetic Context for the Origin of Feathers, *Integrative and Comparative Biology*, 40.
- Voeten D., Cubo J., de Margerie E., Röper M., Beyrand V., Bureš S., Tafforeau P., Sanchez S., 2018. Wing bone geometry reveals active flight in Archaeopteryx, *Nature Communications*, 9.
- Xu X., Wang K., Zhang K., Ma Q., Xing L., Sullivan C., Hu D., Cheng S., Shuo Wang S., 2012. A gigantic feathered dinosaur from the Lower Cretaceous of China, *Nature*, 484.
- Zhang F., Kearns S., Orr P., Benton M., Zhou Z., Johnson D., Xu X., Wang X., 2010. Fossilized melanosomes and the colour of Cretaceous dinosaurs and birds, *Nature*, 463.
- Zhang F., Zhou Z., Xu X., Wang X., Sullivan C., 2008. A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers, *Nature*, 455.

Notka o Autorze

Student III roku Geografii I stopnia oraz II roku Geologii I stopnia na Uniwersytecie Gdańskim. Główne zainteresowania badawcze to szeroko pojęta paleontologia kręgowców (zwłaszcza archozaurów) i zagadnienia związane z ich ewolucją.