

Ewolucja pióra

Materiały Muzeum Wydziału Nauk o Ziemi

Uniwersytet Śląski

Sosnowiec

2010



Spis treści

Historia badań	4
Dawne poglądy na ewolucję pióra	6
Pióro	7
Wzrost pióra	12
Model evo-devo ewolucji pióra	14
Dinozaury z piórami	19
Podsumowanie	24
Bibliografia	26

Historia badań

Pióro to najbardziej skomplikowana ze wszystkich struktur okrywowych spotykanych u zwierząt kręgowych. Współcześnie pióra występują tylko u ptaków, dlatego ewolucja pióra i ewolucja ptaków traktowana była jako dwa ściśle powiązane ze sobą tematy badawcze. Odkrycie pierwszego *Archaeopteryx lithographica* – idealnego „ogniwa pośredniego“ pomiędzy gadami i ptakami zbiegło się w czasie z publikacją historycznego dzieła K. Darwina „*O pochodzeniu gatunków drogą doboru naturalnego*”. W kilka lat po tym odkryciu T.H. Huxley porównał budowę kończyn tylnych strusia i megalozaura. Dopatrzył się wielu cech podobnych, które w takiej kombinacji nie występowały u żadnych innych kręgowców poza dinozaurami i ptakami. W 1870 badacz ten zaprezentował na zjeździe *Geological Society of London* wyniki swych badań. Znaleźli się jednak naukowcy, którzy twierdzili, że podobieństwa te są wynikiem konwergencji, a dinozaury były zbyt duże by mogły być przodkami ptaków [10].



Archaeopteryx lithographica

W roku 1916 zainteresowanie problemem pochodzenia ptaków odżyło ponownie. Powodem tego była publikacja G. Heilmann'a, lekarza i miłośnika paleontologii, w której

pokazał on zdumiewające anatomiczne podobieństwo pomiędzy ptakami i małymi dinozaurami z grupy Coelurosauria. Stwierdził on jednak, że zbieżności te są efektem konwergencji, czyli ewolucyjnego upodobnienia się do siebie grup nie spokrewnionych. Heilmann za główny powód ewolucyjnej odrębności ptaków i dinozaurów podał brak obojczyków u tych drugich. Inne gady posiadają obojczyki, dlatego Heilmann uznał, że dinozaury musiały je utracić w toku ewolucji. W kolejnych latach badacze skupiali się na rozstrzygnięciu, czy ptaki pochodzą od gadów starszych niż dinozaury, czy od małych dinozaurów [10, 15].

„Scenariusz dinozaurowy“ zyskał na znaczeniu po opisanu drapieżnego dinozaura *Deinonychus antirrhopus* przez J.H. Ostroma w 1969 roku. Ten niewielki drapieżnik należący do dromeozaurów (do tej samej grupy należał znany z *Parku Jurajskiego Velociraptor*) posiadał drobne kosteczki wzdłuż całego ogona, pełniące rolę usztywnienia oraz charakterystyczne sierpowate szpony na wewnętrznych palcach kończyn tylnych. Obie te cechy wskazywały na to, że było to zwierzę bardzo aktywne, a więc może również stałocieplne. W połączeniu z ogólnym, ptasim wyglądem szkieletu stanowiło to przesłankę na rzecz pochodzenia ptaków od dinozaurów.

W latach siedemdziesiątych XX wieku odkryto w zasobach muzealnych w Holandii i Niemczech dwa okazy *Archaeopteryx*, które z powodu braku odcisków piór były uznane za małe dinozaury. Badaniem jednego z okazów zajął się J.H. Ostrom, który później stwierdził, że gdyby przy innych szkieletach *Archaeopteryx* nie odkryto wogóle odcisków piór to nikt nie wątpiłby, że to małe dinozaury [9].

Podobieństwa niewielkich dinozaurów drapieżnych z grupy Coelurosauria i ptaków (*Archaeopteryx*) są widoczne niemal w całym szkielecie, a szczególnie dobrze w budowie dłoni, nadgarstka, kończyn przednich i obręczy barkowej [9, 15]. Pomimo licznych podobieństw anatomicznych pomiędzy ptakami i dinozaurami to pióro jest strukturą, która dowodzi związku obu tych grup [15]. W 1994 roku Z.V. Špinar i P.J. Currie pisali [17]: „Chociaż nie znaleziono dotąd skamieniałości dinozaura z zachowanymi piórami, można założyć, że pióra powstały jeszcze u dinozaurów, jako izolacja, a dopiero później

ptaki przystosowały je do wymagań lotu.”. Kolejne lata przyniosły oczekiwany dowód: zdumiewające odkrycia i opisy opierzonych dinozaurów, głównie z Chin.

Dawne poglądy na ewolucję pióra

Od odkrycia pierwszego *Archaeopteryx* aż do czasów nam współczesnych zwierzę to było najstarszym znanym organizmem z piórami. *Archaeopteryx* posiadał cechy gadzie (długi ogon, zęby) jak i ptasie (pióra) będąc idealnym ogniwem pośrednim. Dlatego już u zarania badań nad problemem pochodzenia ptasiego pióra przyjęto, że jeśli ptaki wywodzą się z gadów to ich pióra są prawdopodobnie przekształconymi gadzimi łuskami [14].

Archaeopteryx posiadał zupełnie nowoczesne pióra, jak np. asymetryczne lotki. Brak w zapisie kopalnym piór o budowie prymitywniejszej niż pióra współczesnych ptaków doprowadził do paradoksalnej sytuacji. Zaczęto przyjmować hipotetyczne funkcje, które mogły pełnić pierwotne pióra i na tej podstawie próbowano rekonstruować ich budowę. Takie podejście jest nietypowe w badaniach paleontologicznych. Przykładowo, aby zbadać ewolucję organizmu B z A najpierw powinniśmy wiedzieć jak one wyglądały. Dopiero na tej podstawie można określić jak zmieniała się ich budowa. Znając rodzaj zmiany, która zaszła możemy próbować zinterpretować przyczynę tej zmiany [13].

Większość koncepcji, które podejmowały ten temat można podzielić na cztery główne kategorie w zależności od tego, jaką pierwotną funkcję przypisują one pióru [14]:

- AERODYNAMIKA: pierwsze pióro miało pełnić funkcję lotną. W tej koncepcji pierwsze pióra, które wyewoluowały byłyby piórami konturowymi.
- TERMOIZOLACJA: pierwsze pióro miało pełnić funkcję termoizolacyjną. W tej koncepcji pierwsze pióra, które wyewoluowały byłyby piórami puchowymi (jako ochrona przed chłodem) lub konturowymi (jako ochrona przed ciepłem).
- ODŻYWIANIE: pióro, jako część skrzydła miało pomagać w zdobywaniu pokarmu. Skrzydło mogło pełnić funkcję „packi na owady” lub „parasola” zaciężającego powierzchnię wody i ograniczającego ilość refleksów świetlnych odbitych od jej

powierzchni, co było ważne u zwierzęcia żerującego w płytkiej strefie przybrzeżnej zbiornika wodnego. W tej koncepcji pierwsze pióra, które wyewoluowały byłyby piórami konturowymi.

- FUNKCJE WIZUALNE: pióro pierwotnie miało pełnić funkcję wizualną, czyli być elementem kamuflażu lub też narzędziem zachowań godowych.

Pióro

Pióro to struktura okrywowa pochodzenia naskórkowego, wzrastająca przy udziale skóry właściwej. Pióro jest zbudowane z keratynowej wydzielinie produkowanej przez keratynocyty i, podobnie jak ludzki włos, jest martwe [12].

Budowa piór. Budowa piór jest zróżnicowana. Dla uproszczenia można wyróżnić dwa główne i skrajne zarazem typy budowy piór:

- pióra konturowe
- pióra puchowe

Różnice w budowie obu tych typów wynikają bezpośrednio ze sposobu ich wzrostu (zobacz: *Wzrost pióra*). Istnieją również pióra o budowie pośredniej (zobacz: *Inne typy budowy piór i ich funkcje*). Również w obrębie jednego pióra konturowego budowa może być bardzo zróżnicowana. W dolnej części pióra, bliżej skóry, może ono przypominać puch, wyżej natomiast mieć w pełni wykształconą chorągiewkę [2, 12].

Pióra konturowe. Dwa główne elementy, obecne w piórze konturowym to:

- oś pióra
- chorągiewka

Oś pióra składa się z dwóch części:

- dutka

- o stosina

Dutka to odcinek początkowy osi, nieco pogrubiony i tkwiący w skórze. Pozostała część osi to stosina. Ze stosiną połączona jest chorągiewka. Dutka w swej najniższej części, osadzonej w skórze, ma niewielkie zagłębienie – pępek. Pępek ten obejmuje brodawkę pióra, która w czasie, kiedy pióro jeszcze rośnie wypełnia całą dutkę [2].

Chorągiewkę pióra tworzą dwa typy struktur, są to:

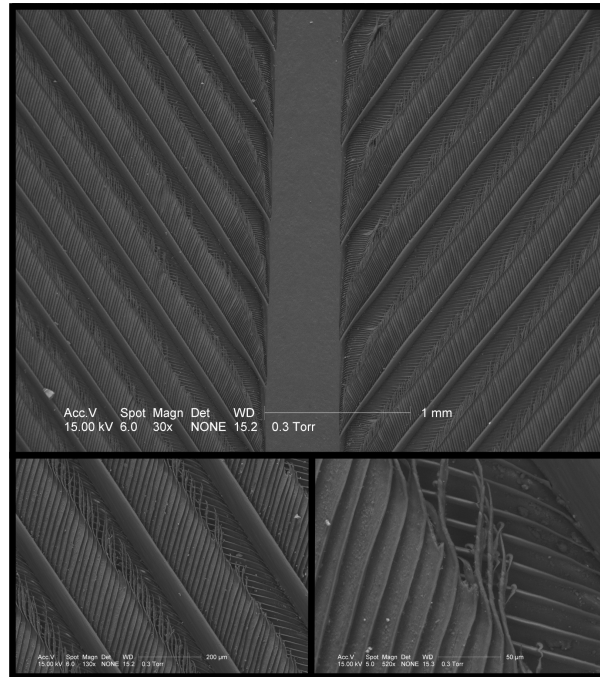
- o promienie
- o promyki

Promienie są większe i odgałęzione bezpośrednio od stosiny. Promyki są mniejsze niż promienie i odgałęziają się od nich [2, 12].

Ze względu na orientację względem ciała ptaka promyki można podzielić na:

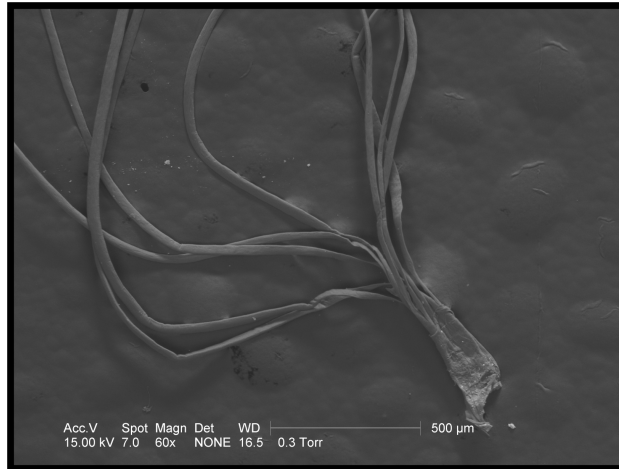
- o proksymalne
- o dystalne

Promyki proksymalne (bliskie) skierowane są w stronę ciała ptaka. Promyki dystalne (dalekie) skierowane są w stronę przeciwną. Promyki mogą różnić się pod względem budowy. Promyki dystalne mogą być zaopatrzone w haczyki stąd ich nazwa „promyki haczykowate”. Promienia proksymalne nie zaopatrzone w haczyki możemy nazywać „łukowatymi”. Dystalne promyki haczykowate zaczepiają się o proksymalne promyki łukowate dając w rezultacie płaską powierzchnię pióra – chorągiewkę. Powierzchnia ta jest na tyle zwarta, mimo swej delikatnej budowy, że może ona pełnić funkcję lotną [2, 12].



Budowa pióra konturowego widziana w mikroskopie skaningowym.

Pióra puchowe. Pióra puchowe, tak jak konturowe, są osadzone w skórze za pomocą dutki. Stosina nie występuje lub jest silnie zredukowana, a promienie są nitkowate i nie zróżnicowane – dlatego nie tworzą chorągiewki, a raczej pęk nitkowatych struktur [2, 12].



Budowa pióra puchowego widziana w mikroskopie skaningowym.

Funkcje i występowanie piór konturowych i puchowych. Z różnorodną budową ptasich piór koresponduje różnorodność funkcji, które mogą one spełniać. Można wyróżnić dwa zasadnicze zadania spełniane przez pióra [2, 5]:

- aerodynamika
- termoizolacja

Aerodynamika. Tę funkcję pełnią pióra konturowe. Są one rozmieszczone w określonych strefach na ciele ptaka. W skórze umieszczone są pod kątem i skierowane w kierunku ptasiego ogona. Pióra konturowe, ze względu na znaczenie aerodynamiczne i występowanie można podzielić na [2, 5]:

- LOTKI: pióra osadzone na kończynach przednich. Spełniają one istotne funkcje podczas lotu wytwarzając zarówno siłę nośną jak i ciąg. Charakterystyczną ich cechą jest asymetria chorągiewek.
- STERÓWKI: czyli inaczej wielkie pióra ogonowe, są wachlarzowato osadzone na pygostylu (kości budującej odcinek ogonowy ptaka). Liczba tych piór zależy od gatunku, ale średnio jest ich od 10 do 12. Służą one do sterowania podczas lotu.
- PIÓRA OKRYWOWE: osłaniają dolne części piór lotnych oraz większość ciała ptaka. Pióra te zachodzą na siebie dachówkowato. Ich funkcja aerodynamiczna polega na zmniejszeniu oporów powietrza, które opływa ciało ptaka w locie.

Termoizolacja. Pióra puchowe występują pod piórami okrywowymi i pełnią przede wszystkim funkcje termoizolacyjne [2, 5].

Inne typy budowy piór i ich funkcje. Prócz wymienionych dwóch głównych typów budowy piór (konturowe i puchowe) występują też formy o budowie pośredniej. Przykładem są pióra półpuchowe, czyli takie które posiadają rozwiniętą oś lecz ich chorągiewka przypomina raczej budowę pióra puchowe (luźny pęk nitek zamiast płaskiej powierzchni). Pióra takie pełnią funkcje termoizolacyjną.

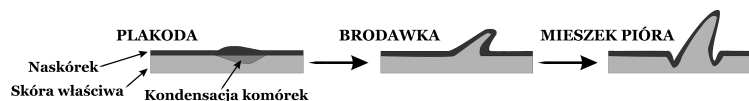
Pojedyncze pióro może pełnić jednocześnie kilka funkcji. Pióra o właściwościach aerodynamicznych mogą pełnić dodatkowo funkcję kamuflującą lub pomagać w sprawnym poruszaniu się w warunkach podwodnych (np. kormorany). Niektóre ptaki mają silnie zredukowane pióra puchowe, które odpowiadają za produkcję specjalnego pudru stanowiącego ochronę przed zawilgoceniem. Często puder ten nadaje zabarwienie ptakom; tak jest w przypadku barwnego nalotu na piórach gołębi. Budowa piór może ulec również

znacznej modyfikacji. Wśród takich specyficznych, zmodyfikowanych piór wyróżnić można następujące typy budowy [2, 5]:

- Pióra szczeciniaste pełniące funkcje organów czuciowych.
- Pióra przekształcone w rzęsy, jak u emu.
- Pióra pełniące funkcje ozdobne. Piękne, kolorowe pióra spotykane np. u ptaków rajskich i pawi.
- Pióra o zredukowanej choraławce. Mają postać zbliżoną do włosów są to pióra nitkowate. Takie pióra mogą pokrywać grzbiet, lub szyję niektórych ptaków.

Wzrost pióra

Rozwój pióra rozpoczyna się od niewielkiej kondensacji komórek w skórze właściwej, która wytwarza uwypuklenie naskórka zwane plakodą. Komórki w plakodzie namnażają się tworząc niewielką brodawkę, która składa się z naskórka tworzącego jej otoczkę i skóry właściwej tworzącej jej rdzeń. Następnie wokół brodawki powstaje zagłębienie na podobieństwo fosy okalającej średniowieczny zamek. Zagłębienie to jest mieszkem pióra [12].

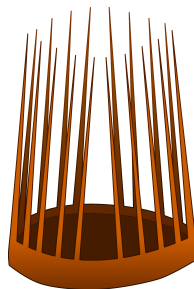


Początkowe etapy wzrostu pióra.

Wszystkie ptasie pióra wyrastają z mieszków, które pojawiają się w ciągu pierwszych kilkunastu dni inkubacji. Jeden mieszek może tworzyć różne pod względem budowy pióra i funkcjonuje przez całe życie ptaka. Naskórek, który tworzy zewnętrzną ścianę mieszka ulega keratynizacji i daje oprawę mieszka. Naskórek tworzący wewnętrzną ścianę mieszka daje tzw „kołnierzyk“, część w której następuje rozwój pióra. W samym kołnierzyku można wyróżnić dwie strefy: zewnętrzną tworzącą pochewkę pióra oraz

wewnętrzna, w której zachodzą wszystkie dalsze procesy związane ze wzrostem pióra [12].

Pióro rośnie w sposób analogiczny do ludzkiego włosa od dołu ku górze. W obrębie kołnierzyka powstają promienie. Promienie w piórze puchowym rosna po torze prostym, pionowo do góry. Natomiast promienie w piórze konturowym rosna po torze spiralnym. Stosina pióra konturowego powstaje dopiero w wyniku zrostu promieni, które wzrastając spiralnie zbiegają się po jednej stronie kołnierzyka. Komórki z promieni różnicują się dalej dając promyki [12].



Wzrost promieni w piórze puchowym.

Asymetria piór występująca w lotkach i w sterówkach powstaje na skutek przesunięcia miejsca, w którym tworzą się nowe promienie. Miejsce to jest przesunięte w stosunku do obszaru, w którym zrastają się one dając stosinę. W piórze symetrycznym, w przeciwieństwie do asymetrycznego, oba te punkty w kołnierzyku rozmieszczone są na przeciwko siebie [12].

Kiedy wzrost pióra zbliża się już do końca nowe promienie przestają powstawać. Kołnierzyk wytwarza dutkę będącą podstawą pióra. Wewnętrzna warstwa naskórka w dolnej części kołnierzyka tworzy keratynowy „czepek” i kończy wzrost pióra. Czepek ten odcina wewnątrz dutki od brodawki piórowej. Kompletne pióro to cylinder zamknięty

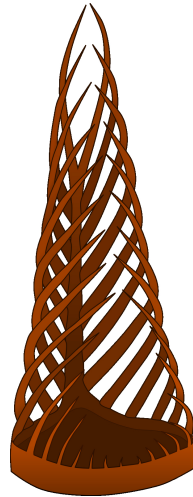
w zewnętrznej keratynowej pochewce. Dopiero po jej opuszczeniu pióro przyjmuje płaski kształt [12].

Model evo-devo ewolucji pióra

Przedstawiony powyżej schemat wzrostu pióra jest podstawą modelu ewolucji pióra opartego na ewolucyjnej biologii rozwoju (ang. evo-devo: *Evolutionary Developmental Biology*). Model ten, w przeciwieństwie do wcześniejszych koncepcji, jest wolny od założeń, co do prawdopodobnej funkcji pierwotnych piór. Kolejne etapy ewolucji pióra w tym modelu można scharakteryzować następująco [12, 13]:

- Etap I: Powstanie mieszka pióra – pierwsze pióro powstawało z niezróżnicowanego kołnierzyka. Pióro miało postać pustej w środku keratynowej rurki.
- Etap II: Powstanie promieni – w kołnierzyku zaczęły rozwijać się promienie. Pióro miało postać pęku promieni wyrastających z wspólnej dutki.
- Etap III: Powstanie stosiny (a) lub powstanie promyków (b) – dokładna kolejność tych wydarzeń nie jest znana. Stosina (IIIa) powstała, kiedy pojawił się spiralny wzrost promieni. Promyki (IIIb) powstały w wyniku zróżnicowania się komórek w obrębie promieni. Pióro miało postać rozgałęzioną. Jeśli najpierw pojawiła się stosina to miało ono postać osi z bocznymi odgałęzieniami. Jeżeli promyki pojawiły się przed stosiną to pióro takie miało postać pęku promieni z dodatkowymi odgałęzieniami, czyli promykami.
- Etap IV: Powstanie zróżnicowanych promyków – promyki uległy zróżnicowaniu na łukowate i haczykowate. Powstałe pióro miało postać symetrycznego pióra z zwartą, zamkniętą chorągiewką.

- Etap V: Powstanie asymetrycznej chorągiewki – miejsca tworzenia się nowych promieni i ich zrastania się uległy przemieszczeniu względem siebie i nie były już rozmieszczone symetrycznie w kołnierzyku. Pióro miało postać taką jak współczesne pióra aerodynamiczne: lotki i sterówki.
- Etap VI+: Dalsze modyfikacje...w tym uproszczenie budowy.

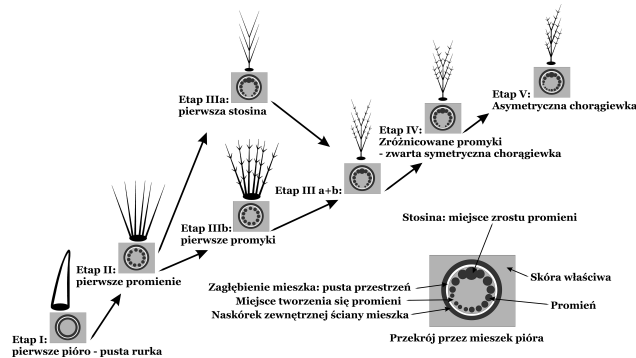


Wzrost promieni w piórze konturowym.

Podstawą przedstawionego powyżej modelu ewolucji jest obserwacja, że stosina powstaje w wyniku zrostu promieni, a promyki w wyniku zróżnicowania się komórek promieni. Z tego wynika, że zarówno stosina jak i promienie są elementami wtórnymi, dla których powstania konieczne jest pojawienie się promieni. Wszystkie z wymienionych

modelowych etapów ewolucji pióra mają charakter ściśle stopniowy, co wynika wprost z hierarchi wzrostu pojedynczego pióra [12, 13].

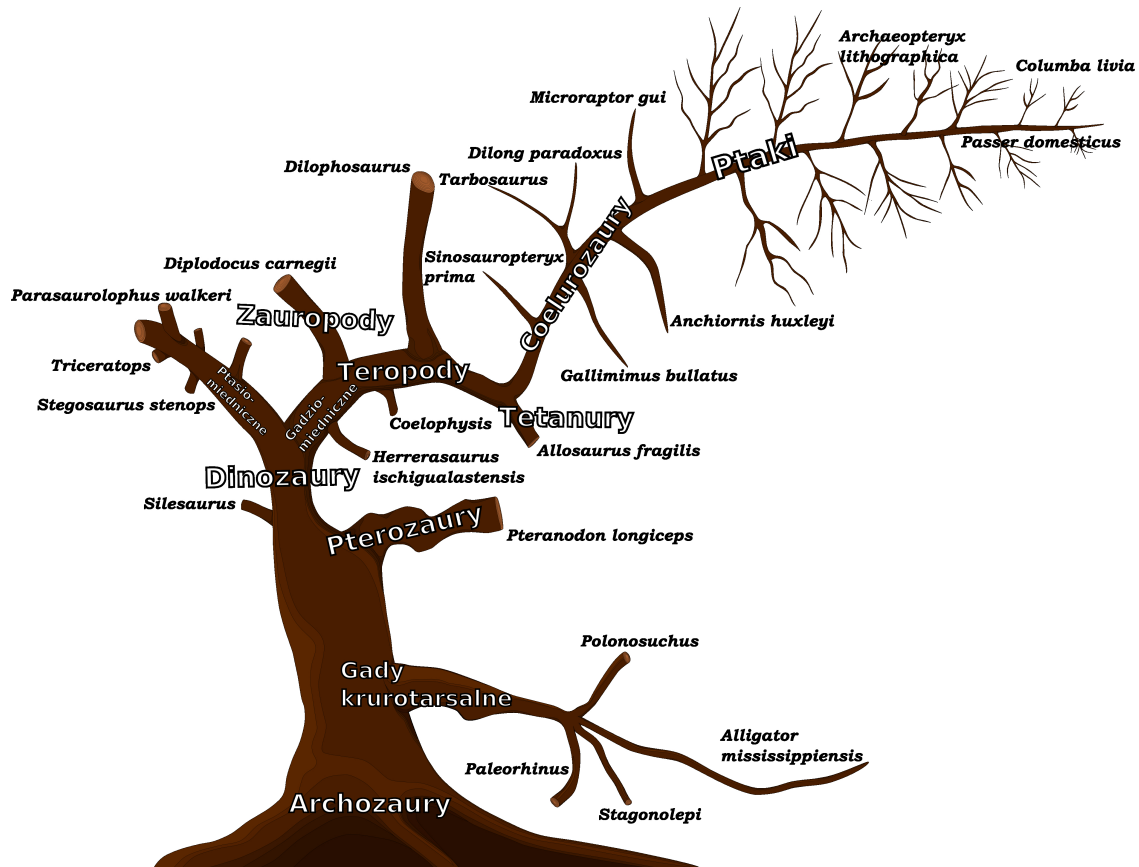
Model a pióra współczesne. Budowa niektórych w pełni rozwiniętych piór współczesnych ptaków przypomina etapy ewolucji przewidziane przez model. Przykładowo paw kongijski (*Afropavo congensis*) oraz gołogłów (*Pityriasis gymnocephala*) mają na swoich głowach pióra, które budową przypominają pióra etapu I ewolucji. Etap II ilustrują pióra puchowe czapli (*Egretta*) oraz ptaków rajskich. Pióra te nie reprezentują jednak różnych etapów ewolucji, a tylko przypominają te hipotetyczne stadia pośrednie. Obecność takich piór u współczesnych ptaków przemawia jednak na rzecz opisanego modelu.



Model ewolucji pióra oparty na obserwacji jego wzrostu (evo-devo).

Pióra takie dowodzą bowiem, że spektrum budowy piór przewidziane przez model jest w zasięgu możliwości twórczych mieszka piórowego współczesnych ptaków. Najlepiej ilustrują to pióra konturowe, w których część chorągiewki przypomina puch, a pozostała część jest wykształcona normalnie [12, 13].

Model a dawne hipotezy powstania pióra. Z przedstawionego powyżej modelu ewolucyjnego wynika, że najprymitywniejsze pióro mogło mieć postać pustej w środku keratynowej rurki. Taka struktura mogła pełnić bardzo różne funkcje. Na podstawie budowy hipotetycznego pierwszego pióra można wykluczyć funkcję lotną jako pierwotną przyczynę powstania piór. Na plan pierwszy wysuwają się więc koncepcje łączące początek pióra z termoizolacją, choć i funkcja kamuflująca jak i znaczenie w zachowaniach godowych mogły odegrać pewną rolę. Model nie udziela ostatecznej odpowiedzi w tej kwestii. Najważniejszy wniosek płynący z tego modelu jest taki, że pióro nie powstało z gadziej łuski. Płaska powierzchnia pióra nie jest odpowiednikiem płaskiej powierzchni łuski, ponieważ pióro początkowo jest strukturą rurkową **[14, 13]**.

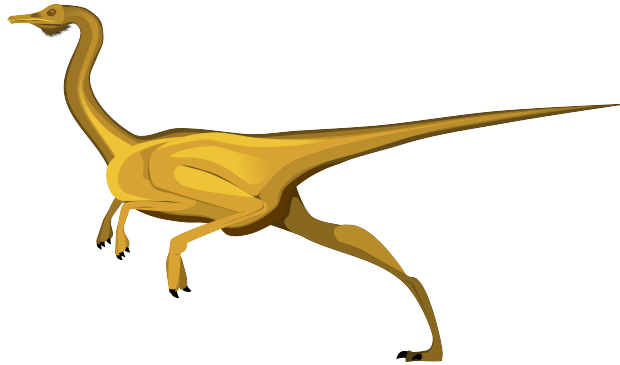


Schemat zależności systematycznych i ewolucyjnych opierzonych dinozaurów.

Dinozaury z piórami

Ostatnie dwadzieścia lat przyniosło szereg zdumiewających odkryć, które poszerzają liczbę znanych stworzeń z piórami. Poniżej przedstawiono kilka kluczowych dinozaurów, u których naukowcy stwierdzili pozostałości okrywy skórnej. Kolejność ich prezentacji odpowiada chronologii ich opisywania przez naukowców. Stosunki ewolucyjne i systematyczne tych dinozaurów ilustruje drzewo zamieszczone powyżej.

- *Pelecanimimus polyodon* – pierwszy dinozaur, u którego opisano struktury skórne. Posiadał rurkowate struktury „włosopodobne”. Formacja Calizas de La Huérguina – dolna kreda, prowincja Cuenca, Hiszpania [11].



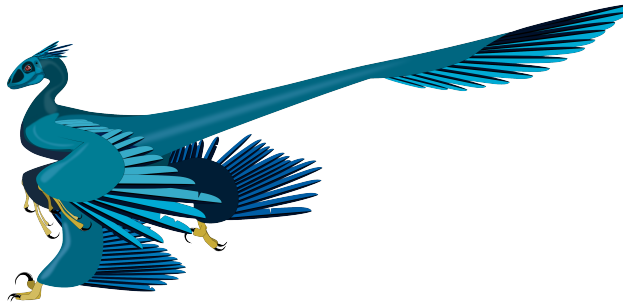
Gallimimus – bliski krewniak *Pelecanimimus polyodon*. Ten drugi mógł wyglądać podobnie.

- *Sinosauropteryx prima* – pierwszy opisany z Chin dinozaur z piórami. Posiadał rurkowate, prawdopodobnie puste w środku, struktury „włosopodobne”. Formacja Yixian – górna jura lub dolna kreda, prowincja Liaoning, Chiny [1].



Sinosauropteryx prima

- *Microraptor gui* – posiadał pióra puchowe i konturowe. Lotki występowały u niego na przednich i tylnych kończynach. Na ogonie obecne były sterówki wykazujące asymetrię chorągiewki. Wydłużone pióra, w tym pióra konturowe, były również obecne na głowie. Formacja Jiufotang, prowincja Liaoning, Chiny[20].



Microraptor gui

- *Dilong paradoxus* – wczesny przedstawiciel tyranozaurów z piórami. Posiadał okrywowe struktury o budowie rozgałęzionej, krótkie odgałęzienia odchodzące

od centralnej struktury osi wzdłuż jej długości. Formacja Yixian (dolna część, 128–139 Ma), prowincja Liaoning, Chiny [19].



Dilong paradoxus

- *Anchornis huxleyi* – najstarszy znany dinozaur z piórami, nieco starszy od *Archaeopteryx*. Posiadał pióra konturowe na przednich jak i tylnych kończynach. Pióra konturowe na kończynie tylnej występowały na niemal całej długości, wliczając palce. Występowały u niego dwa typy piór puchowych: z promieniami wychodzącymi z wspólnej dutki oraz z promieniami zrośniętymi w stosinę. Formacja Tiaojishan – górna jura (161–151 Ma), prowincja Jianchang, Chiny [4].



Anchornis huxleyi

Więszkość z opisanych tu znalezisk pochodzi z Chin i jest wieku kredowego. Zwierzęta te żyły zatem już po *Archaeopteryx*, dlatego nie wnoszą one wiele do kwestii poznania budowy najstarszych piór. Najnowsze znalezisko, czyli *Anchornis huxleyi* jest, co prawda nieco starszy od *Archaeopteryx* jednak i jego pióra wyglądają jak pióra ptaków współczesnych. Wszystkie te znaleziska pokazują natomiast, że struktury okrywowe przypominające różne stadia ewolucji pióra przewidziane przez model evo-devo występowały u dinozaurów z różnych grup systematycznych.

Inne dowody. Znamy również szereg dowodów pośrednich na obecność piór u dinozaurów. Są to ślady zaczepu piór konturowych na kościach, takie jak te znalezione na kości łokciowej *Velociraptor mongoliensis* [16]. Z osadów dolnej jury USA znany jest okaz, który jest odciskiem brzucha siedzącego dinozaura. Wzdłuż krawędzi tego odcisku zachowały się struktury, które mogły być zbliżone budową do piór etapu II modelu ewolucji. Może to wskazywać na obecność okryw piórowych u stosunkowo wczesnych (wczesna jura) dinozaurów drapieżnych [3, 7].



Dilophosaurus – jeden z wczesnych dinozaurów drapieżnych.

Dowody na obecność struktur okrywowych spotykamy nie tylko u przedstawicieli Theropoda (dinozaurów drapieżnych). Takie struktury są znane również u dinozaurów roślinożernych należących do grupy ptasiomiednicznych (Ornitishia). Przykładem

takiego zwierzęcia jest prymitywny przedstawiciel dinozaurów rogatych (Ceratopsia) z dolnej kredy – *Psittacosaurus*, daleki krewniak *Triceratops*. Jeden okaz z formacji Yixian (Chiny) posiada na górnej powierzchni ogona dobrze zachowane bardzo długie wyrostki. Struktury te były prawdopodobnie puste w środku. Mogły być używane w zachowaniach godowych lub pełnić inną rolę. Naukowcy wykazali ostrożność w formułowaniu wniosków, co do ewentualnego ich związku z piórami współczesnych ptaków i dinozaurów drapieżnych [8]. Innym przykładem dinozaura roślinożernego z zachowanymi okrywkami ciała jest przedstawiciel heterodontozaurów *Tianyulong confuciusi* pochodzący z dolnej kredy prowincji Liaoning [21].

Podobnie przyglądając się gadom spoza dinozaurów znajdujemy pozostałości struktur okrywowych u ich najbliższych krewnych – gadów latających, czyli pterozaurów. Struktury te generalnie określane są jako „włosy“ choć prawdopodobnie z włosami ssaków niewiele mają wspólnego. Dla przykładu *Jeholopterus ningchengensis* z dolnokredowej formacji Yixian (prowincja Liaoning, Chinach) posiada struktury okrywowe przypominające „włosopodobne“, najprostsze pióra spotykane u niektórych dinozaurów jak: *Pelecanimimus polyodon* czy *Sinosauropteryx prima* [18].

Niezwykle ciekawe struktury występowały na grzbiecie niewielkiego gada odkrytego w utworach górnego triasu (~220 Ma) w Kirgistanie. *Longisquama insignis* należąca do Archosauria (dokładna jej przynależność systematyczna nie jest znana) prowadziła prawdopodobnie nadrzewny tryb życia. Zwierzę to charakteryzowało się obecnością wielu wydłużonych „łusek“ w różnych częściach ciała. Najciekawsze są jednak struktury występujące wzdłuż jego grzbietu. Było to 6 – 8 par struktur, których szczegóły budowy przypominają pióra konturowe. Według naukowców struktury te wyrastały z mieszka. Cecha ta zdecydowanie różniłaby je od gadzich łusek, a upodabniała do ptasich piór. Część badaczy rozpoznaje w tych strukturach najstarsze znane nieptasie pióra [6].

Podsumowanie

Pióro jest ważnym dowodem, który wskazuje na ewolucyjny związek ptaków i dinozaurów. Jednocześnie jest to najbardziej skomplikowana struktura okrywowa, jaka wyewoluowała u zwierząt kręgowych. Różnorodność budowy idzie w parze z funkcjonalnością pióra. Do ważniejszych zadań, które pióro może pełnić należą: funkcje lotne, termoizolacja i funkcje wizualne (kamuflaż, funkcje godowe).

Od odkrycia późnojurajskiego *Archaeopteryx* aż do czasów współczesnych pióra tego zwierzęcia były najstarszymi znanymi nauce. Budowa jego piór była jednak już bardzo współczesna, dlatego niewiele wносиły one do kwestii rozpoznania budowy pierwszych piór. Również najnowsze znalezisko, czyli *Anchornis huxleyi*, choć starszy od *Archaeopteryx* posiadał pióra wyglądające jak pióra ptaków współczesnych.

Budowa *Archaeopteryx* świadczyła o pochodzeniu ptaków od gadów. Dlatego naukowcy upatrywali początków pióra w gadziej łusce. Z powodu braku dostatecznego materiału dowodowego tj., szczątków kopalnych, naukowcy mogli jedynie teoretyzować na temat budowy pierwotnych piór i przyczyn ich powstania. Stąd też zrodziło się wiele hipotez. Teorie te pochodzenie piór wyjaśniały różnymi funkcjami, które przypisywano pierwotnym piórom. Model evo-devo jest wolny od podobnych założeń. Wskazuje on że pierwotnie pióro miało postać pustej w środku keratynowej rurki, a co za tym idzie nie powstało ono z gadziej łuski. Założenia modelu znajdują pośrednie potwierdzenie w budowie piór ptaków współczesnych. Ptaki posiadają pióra, których budowa odpowiada różnym etapom modelu evo-devo. Świadczy to o tym, że mieszkali współczesnych ptaków są w stanie wytworzyć pióra o budowie przewidzianej przez model.

W ostatnim dwudziestoleciu odkryto szereg nowych opierzonych kopalnych zwierząt. Są wśród nich dinozaury drapieżne należące do zróżnicowanych grup systematycznych. Ich pióra przypominają swoją budową różne etapy ewolucji pióra przewidziane przez

model evo-devo. Niemniej większość z nich pochodzi z okresu kredowego, więc jest młodszą niż jurajski *Archaeopteryx* i *Anchornis*. A zatem budowa ich piór nie przybliżyła nam budowy pierwszych piór w stopniu większym niż czynią to pióra ptaków współczesnych.

Ślady zaczepu piór występujące na kościach oraz odciski piór pozostawione w osadzie to inne dowody wskazujące na obecność piór u dinozaurów drapieżnych. Najstarsze odciski piór pochodzą z osadów dolnej jury USA i wskazują na to, że opierzenie u dinozaurów drapieżnych mogło się pojawić stosunkowo wcześnie w ich historii.

Struktury okrywowe zostały również rozpoznane u dinozaurów roślinożernych z grupy ptasiomiednicznych. Naukowcy jednak pozostają ostrożni we wnioskowaniu o ewentualnym związku tych struktur z piórami ptaków i dinozaurów drapieżnych. „Włosopodobne” struktury występują również u gadów latających, czyli pterozaurów. Enigmatyczne twory określane przez niektórych naukowców jako pierwsze nieptasie pióra rozpoznano u *Longisquama insignis* – archozaura z osadów górnego triasu.

Bibliografia

- [1] CHEN, P., DONG, Z., AND ZHEN, S. An exceptionally well preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. *Nature* 391 (1998), 147–152.
- [2] FERENS, B., AND WOJTUSIAK, R. *Ornitologia ogólna: Ptak, jego budowa i życie*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1960.
- [3] GIERLINSKI, G. What type of feathers could nonavian dinosaurs have, according to an Early Jurassic ichnological evidence from Massachusetts. *Przegląd Geologiczny* 45 (1997), 419–422.
- [4] HU, D., HOU, L., ZHANG, L., AND XU, X. A pre-*Archaeopteryx* troodontid theropod from China with long feathers on the metatarsus. *Nature* 461, 7264 (2009), 640–643.
- [5] HUTCHINS, M., JACKSON, J., BOCK, W., AND OLENDORF, D. *Grzimek's Animal Life Encyclopedia*, 2 ed., vol. 8: Birds I. MI: Gale Group, Farmington Hills, 2002.
- [6] JONES, T., RUBEN, J., MARTIN, L., KUROCHKIN, E., FEDUCCIA, A., MADERSON, P., HILLENUS, W., GEIST, N., AND ALIFANOV, V. Nonavian feathers in a Late Triassic Archosaur. *Science* 288, 5474 (2000), 2202–2205.
- [7] KUNDRÁT, M. When did theropods become feathered? evidence for pre-*Archaeopteryx* feathery appendages. *Journal of Experimental Zoology (Mol Dev Evol)* 302 (2004), 355–364.
- [8] MAYR, G., PETERS, D., PLODOWSKI, G., AND VOGEL, O. Bristle-like integumentary structures at the tail of the horned dinosaur *Psittacosaurus*. *Naturwissenschaften* 89, 8 (2002), 361–365.
- [9] OSTROM, J. H. *Archaeopteryx* and the origin of flight. *The Quarterly Review of Biology* 49, 1 (1974), 27–47.
- [10] PADIAN, K., AND CHIAPPE, M. Skąd się wzięły ptaki. *Świat Nauki* 4 (1998), 26–35.
- [11] PÉREZ-MORENO, B. P., SANZ, J. L., BUSCALIONI, A. D., MORATALLA, J. J., ORTEGA, F., AND RASSKIN-GUTMAN, D. A unique multitoothed ornithomimosaur dinosaur from the Lower Cretaceous of Spain. *Nature* 370, 6488 (1994), 363–367.

- [12] PRUM, R. Development and evolutionary origin of feathers. *Journal of Experimental Zoology (Mol Dev Evol)* 285 (1999), 291–306.
- [13] PRUM, R., AND BRUSH, A. The evolutionary origin and diversification of feathers. *The Quarterly Review of Biology* 77, 3 (2002), 261–295.
- [14] SABATH, K. What is the origin of feathers? - review of theories. *Przegląd Zoologiczny* 34, 1 (1990), 43–56. In Polish with English abstract.
- [15] SADLOK, G. Problem pochodzenia ptaków. 2005.
- [16] TURNER, A., MAKOVICKY, P., AND NORELL, M. Feather quill knobs in the dinosaur *Velociraptor*. *Science* 317, 5845 (2007), 1721.
- [17] ŠPINAR, Z., AND CURRIE, P. *Wielkie dinozaury. Dzieje ewolucji gigantów*. Warszawski Dom Wydawniczy, Warszawa, 1994.
- [18] WANG, X., ZHOU, Z., ZHANG, F., AND XU, X. A nearly completely articulated rhamphorhynchoid pterosaur with exceptionally well-preserved wing membranes and "hairs" from Inner Mongolia, north-east China. *Chinese Science Bulletin* 47, 3 (2002), 226–230.
- [19] XU, X., NORELL, M., KUANG, X., WANG, X., ZHAO, Q., AND JIA, C. Basal tyrannosauroids from China and evidence for protofeathers in tyrannosauroids. *Nature* 431, 7009 (2004), 680–684.
- [20] XU, X., ZHOU, Z., WANG, X., KUANG, X., ZHANG, F., AND DU, X. Four-winged dinosaurs from China. *Nature* 421, 6921 (2003), 335–340.
- [21] ZHENG, X., YOU, H., XU, X., AND DONG, Z. An Early Cretaceous heterodontosaurid dinosaur with filamentous integumentary structures. *Nature* 458, 7236 (2009), 333–336.

Opracowali:

***Grzegorz Sadlok, **Anna Bujok i **Ewa Budziszewska-Karwowska**

**Środowiskowe Studium Doktoranckie "GEOBIOS" przy Instytucie Paleobiologii PAN w Warszawie*

***Muzeum Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu*

Ilustracje: **Bujok & Sadlok**

Fotografie piór w mikroskopie skaningowym (SEM): **Ewa Teper** (KGMiP, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu)

Rysunek na okładce: *Passer domesticus*.