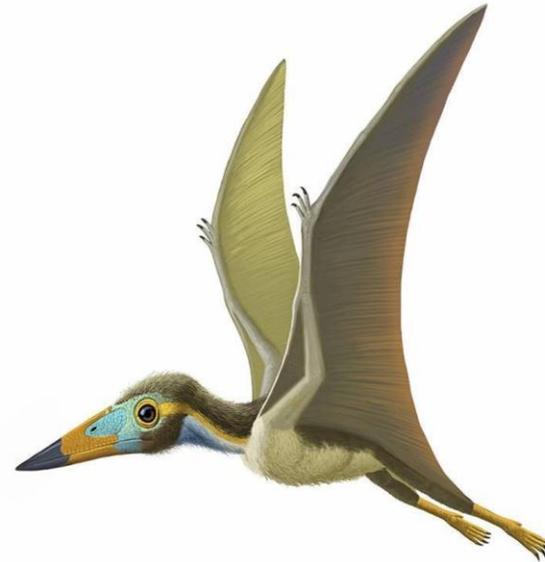


# EWOLUCJA KONWERGENTNA KRĘGOWCÓW



## *Adaptacje do aktywnego lotu*



Dr Daniel Tyborowski

Katedra Geologii Historycznej, Regionalnej i Paleontologii

Wydział Geologii UW

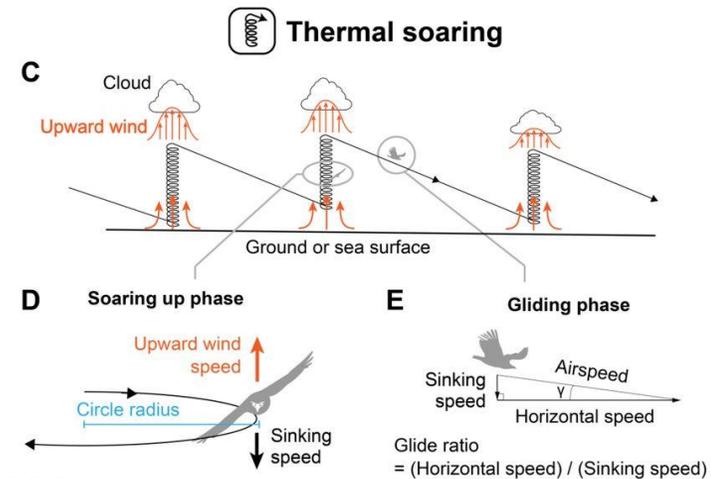
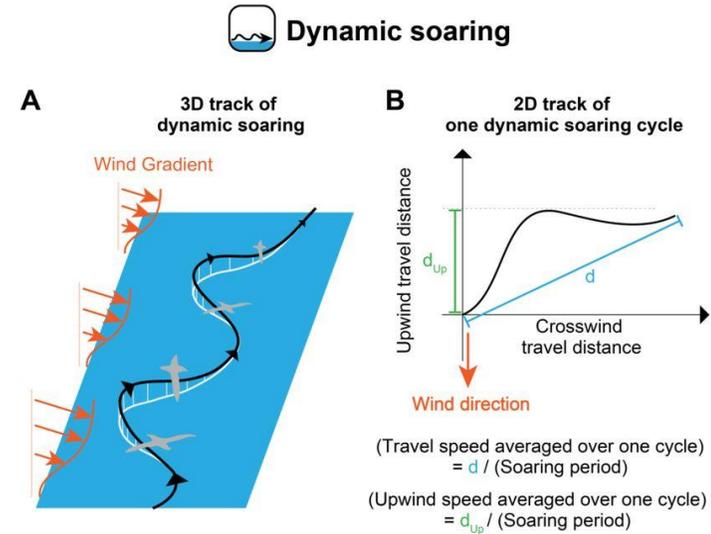
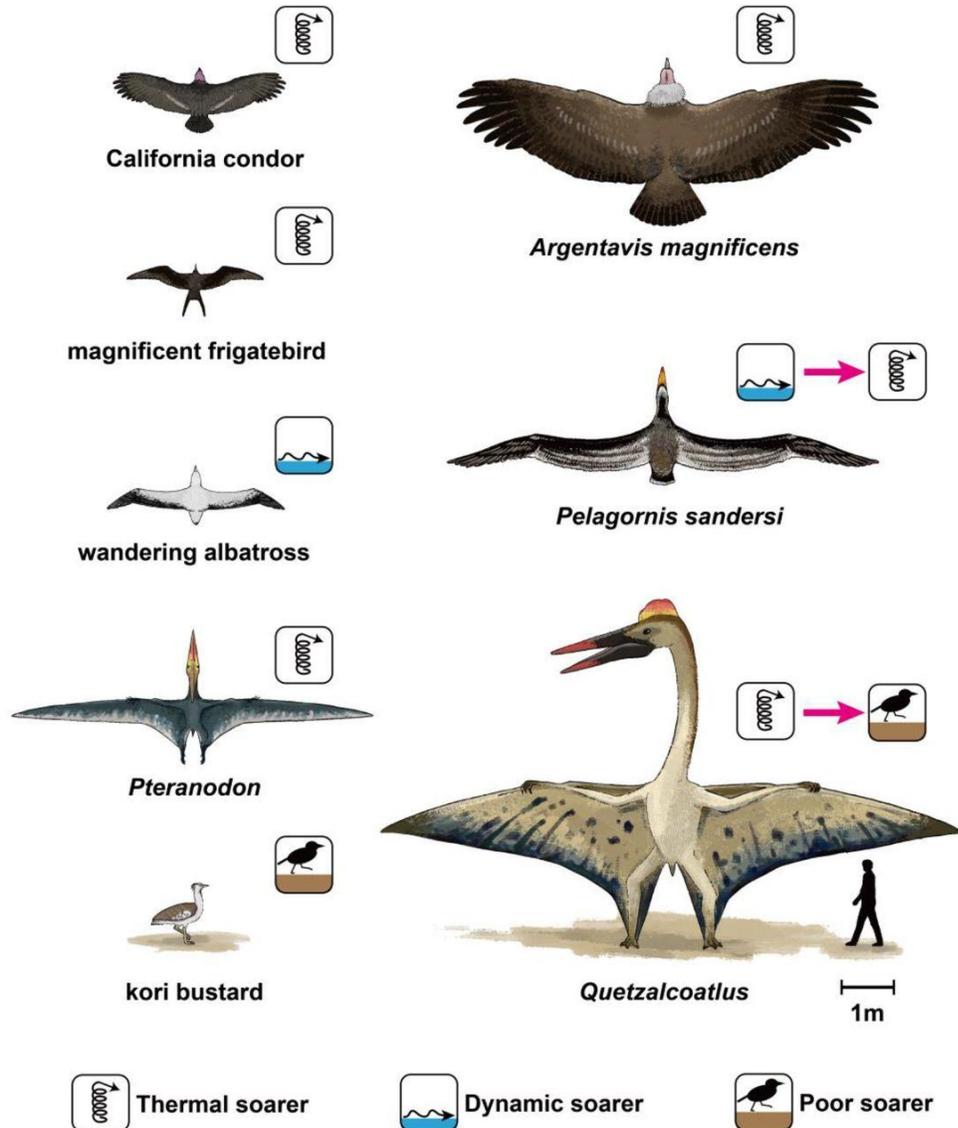
[d.tyborowski@uw.edu.pl](mailto:d.tyborowski@uw.edu.pl)



UNIWERSYTET  
WARSZAWSKI



# Aerodynamika trudna do opanowania

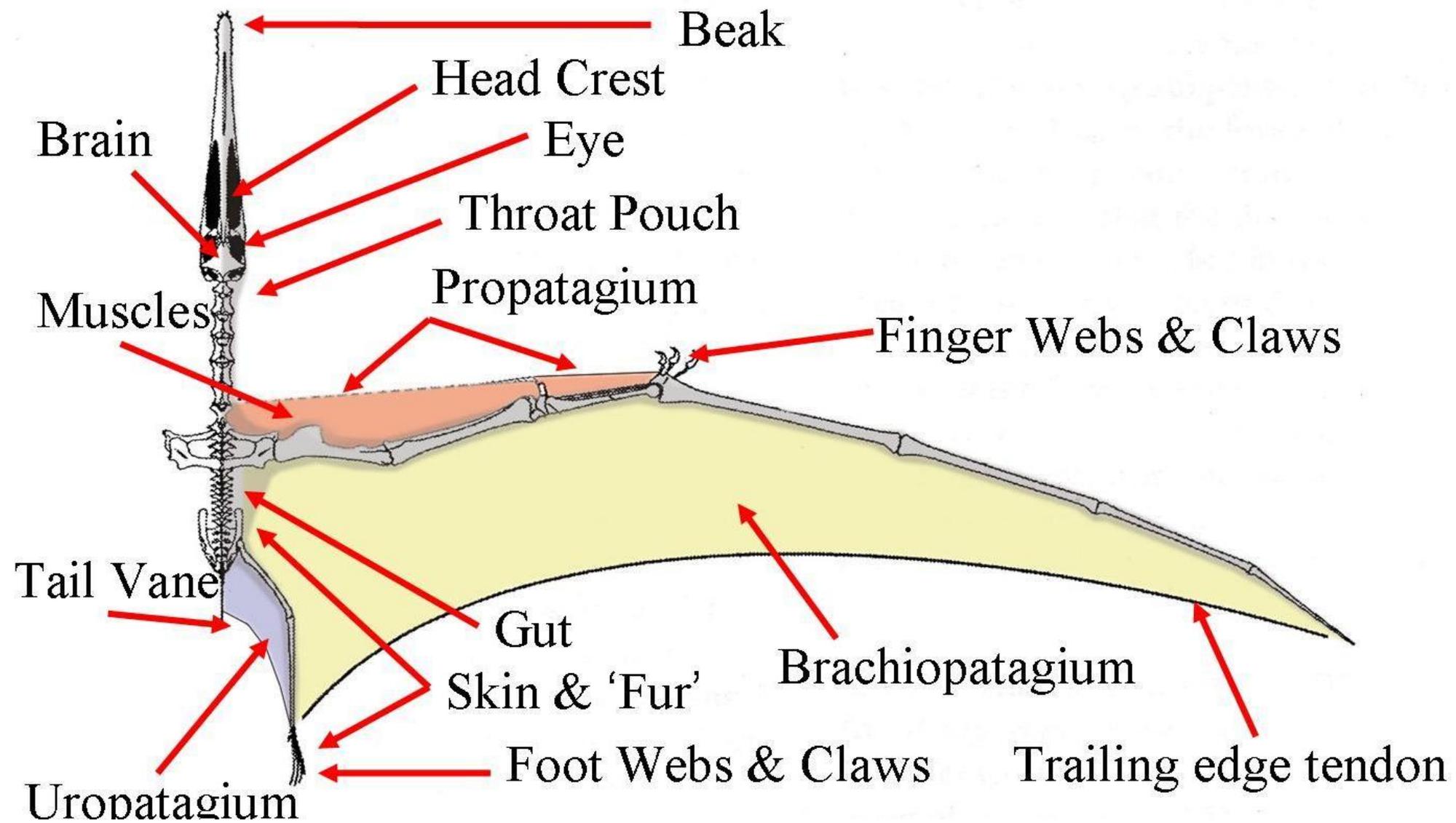


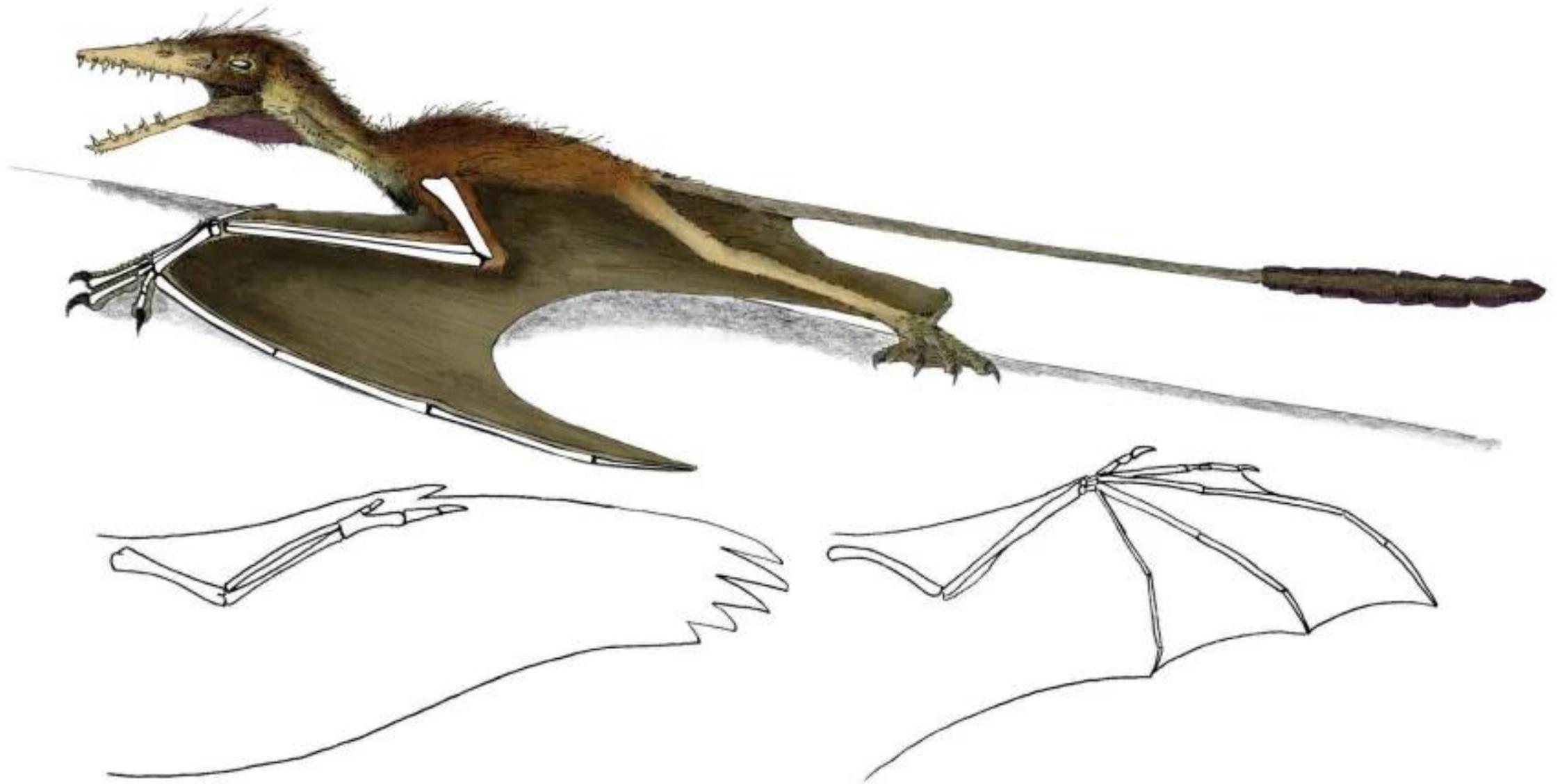



 AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY  
**PTEROSAURS**  
 FLIGHT IN THE AGE  
 OF DINOSAURS

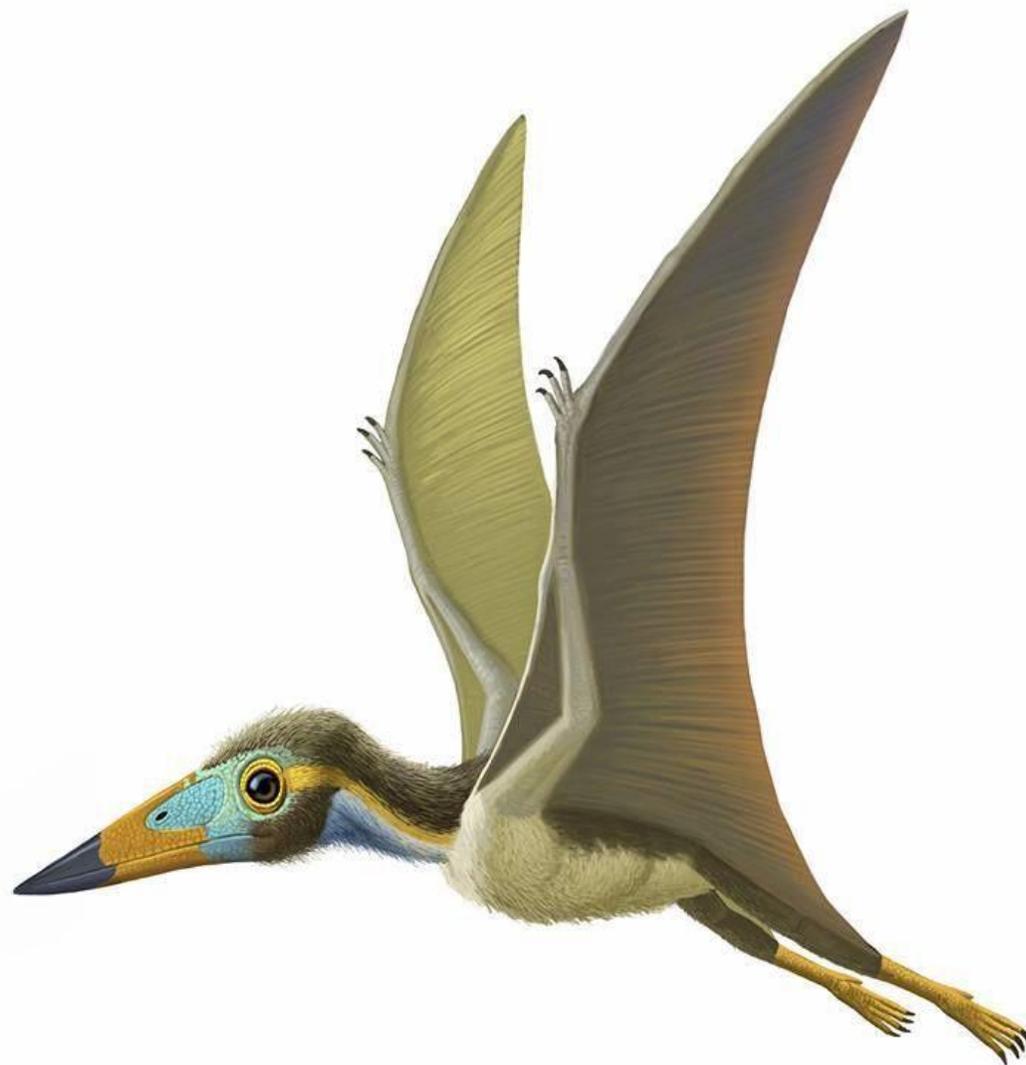
April 5, 2014 – January 4, 2015  
 The Museum gratefully acknowledges the Richard and Karen LeFink Exhibition and Education Fund.  

 Illustrations by Paul Sereno, the American Museum of Natural History, and the American Museum of Natural History. © American Museum of Natural History, 2014. All rights reserved.





Od malutkich...



*Nemicolopterus*

<https://i.pinimg.com/originals/f1/01/e5/f101e535eba8af57688c4b638f1c3947.jpg>

...do olbrzymów!



*Hatzegopteryx*

[https://images.dinosaurpictures.org/Hatzegopteryx-thambema-jirafa\\_f910.jpg](https://images.dinosaurpictures.org/Hatzegopteryx-thambema-jirafa_f910.jpg)



*Quetzalcoatlus* – waga ponad 320 kg.

<https://dinauress.fr/wp-content/uploads/2018/08/Quetzalcoatlus-801x1024.jpg>



*Argentavis* – waga około 80 kg.

[http://3.bp.blogspot.com/\\_2Be4MhdMAuk/S-RQvx0pYgl/AAAAAAAAABc/AD9wYxCa0cM/s1600/argentavis.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_2Be4MhdMAuk/S-RQvx0pYgl/AAAAAAAAABc/AD9wYxCa0cM/s1600/argentavis.jpg)

# Pterozauiry a warunki pradawnej atmosfery

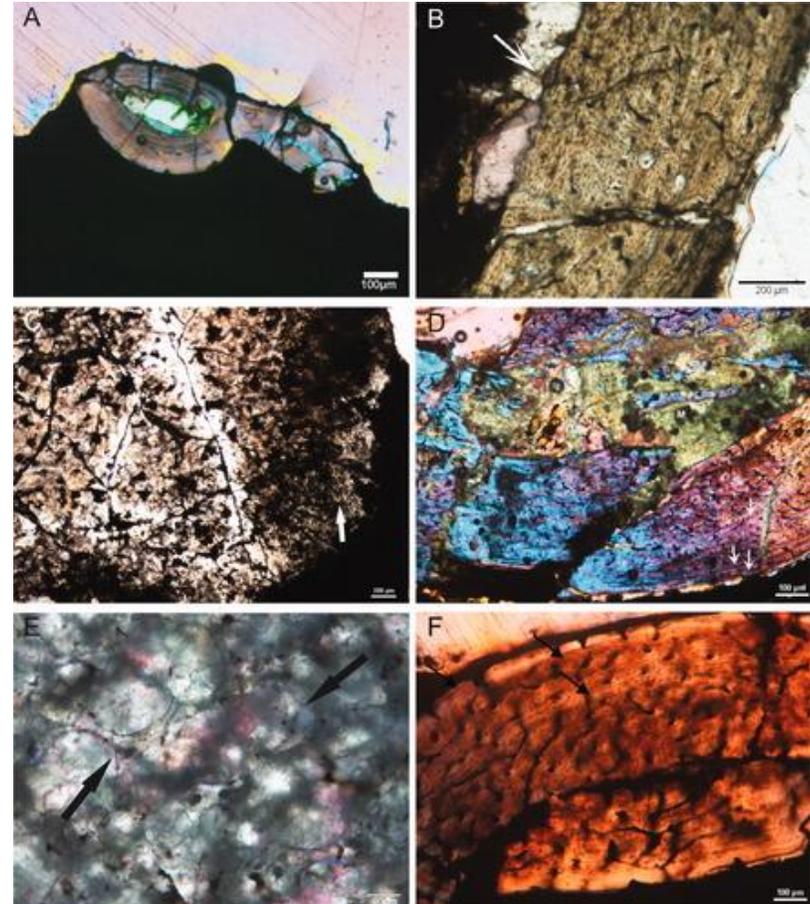
- Niektórzy badacze wykluczali u pterozaurów zdolność do lotu.
- Inni spekulowali, że to powietrze było niegdyś cięższe niż dziś.
- Jednak warunki panujące na lądach i w powietrzu w kredzie były zbliżone do dzisiejszych.
- O sukcesie zdecydowała wyjątkowa budowa pterozaurów!



Michael B. Habib  
University of Southern California

# Warunki wzbicia się w powietrze

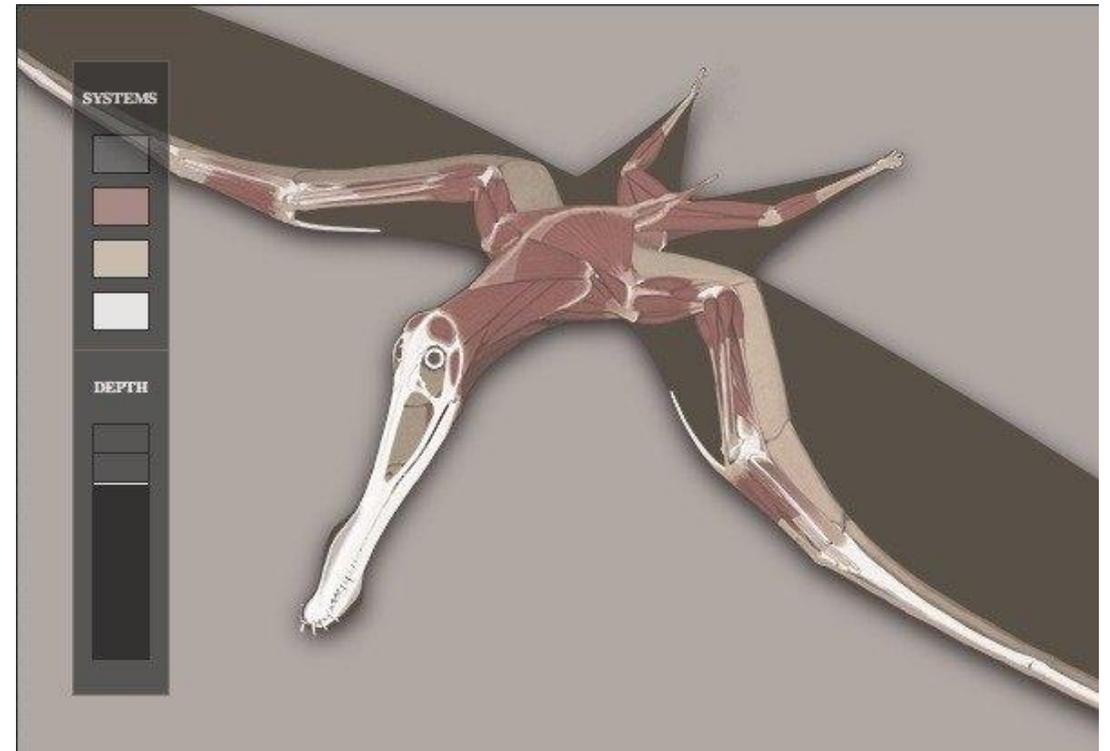
- 1) Wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru szkieletu → kośćce o dużej objętości, ale małej gęstości.
- 2) Wysoki współczynnik siły nośnej → jak duży ciężar mogą unieść skrzydła przy określonej prędkości i powierzchni nośnej.
- 3) Zdolność poderwania się do lotu → samo machanie skrzydłami nie wystarczy. Pomocny jest potężny wyskok.



Chinsamy et al., 2009

# Warunki wzbicia się w powietrze

- 1) Wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru szkieletu → kośćce o dużej objętości, ale małej gęstości.
- **2) Wysoki współczynnik siły nośnej → jak duży ciężar mogą unieść skrzydła przy określonej prędkości i powierzchni nośnej.**
- 3) Zdolność poderwania się do lotu → samo machanie skrzydłami nie wystarczy. Pomocny jest potężny wyskok.



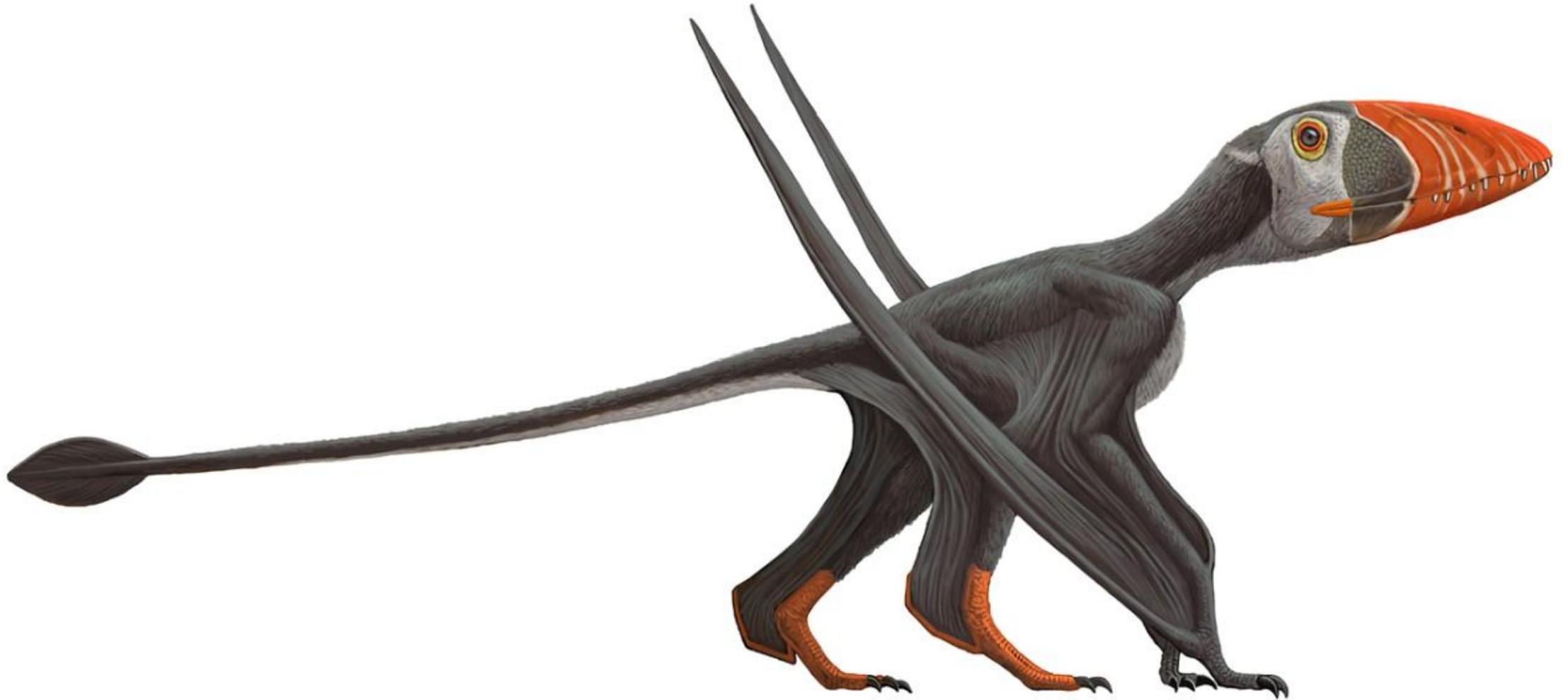
# Warunki wzbicia się w powietrze

- 1) Wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru szkieletu → kośćce o dużej objętości, ale małej gęstości.
- 2) Wysoki współczynnik siły nośnej → jak duży ciężar mogą unieść skrzydła przy określonej prędkości i powierzchni nośnej.
- 3) Zdolność poderwania się do lotu → samo machanie skrzydłami nie wystarczy. Pomocny jest potężny wyskok.

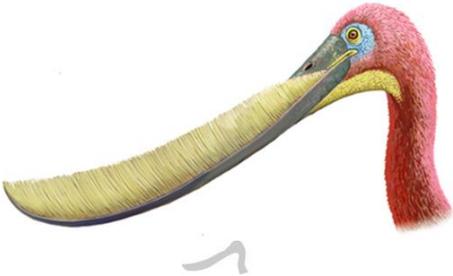
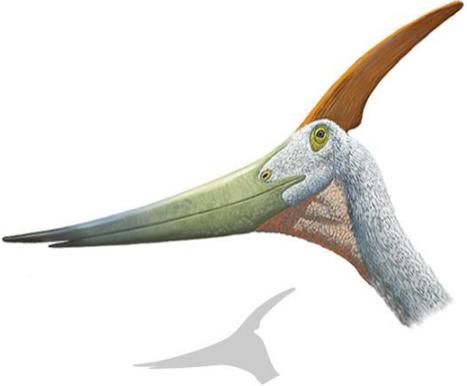
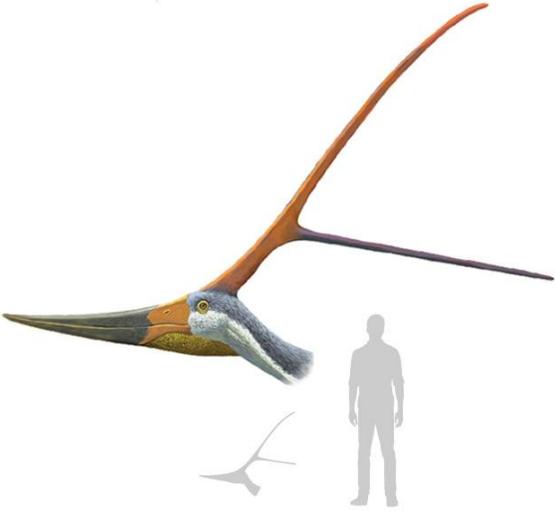


[https://external-preview.redd.it/VGCwiDhEQk2T5IKc-fphjo9z-D5OJrXYDX\\_iPfbq6U.jpg?width=960&crop=smart&auto=webp&s=f624d80d91a546870c037608182b3b122aab0414](https://external-preview.redd.it/VGCwiDhEQk2T5IKc-fphjo9z-D5OJrXYDX_iPfbq6U.jpg?width=960&crop=smart&auto=webp&s=f624d80d91a546870c037608182b3b122aab0414)

Wielkie głowy już na wczesnych etapach ewolucji



<https://www.extinctanimals.org/wp-content/uploads/2016/12/Pterosaur.jpg>



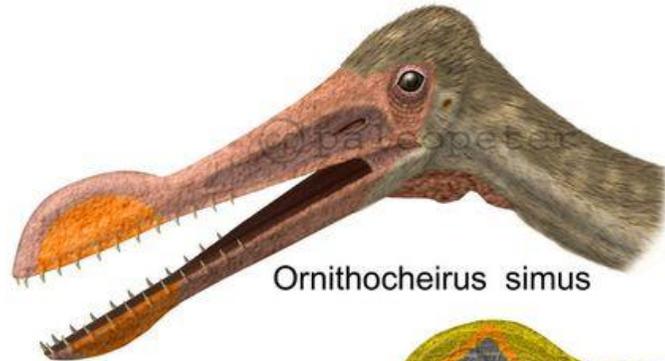
Rekonstrukcja: Raul Martin



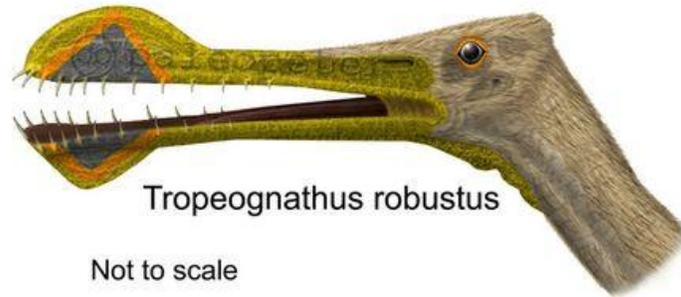
Istiodactylus latidens



Anhanguera santanae



Ornithocheirus simus



Tropeognathus robustus

Not to scale

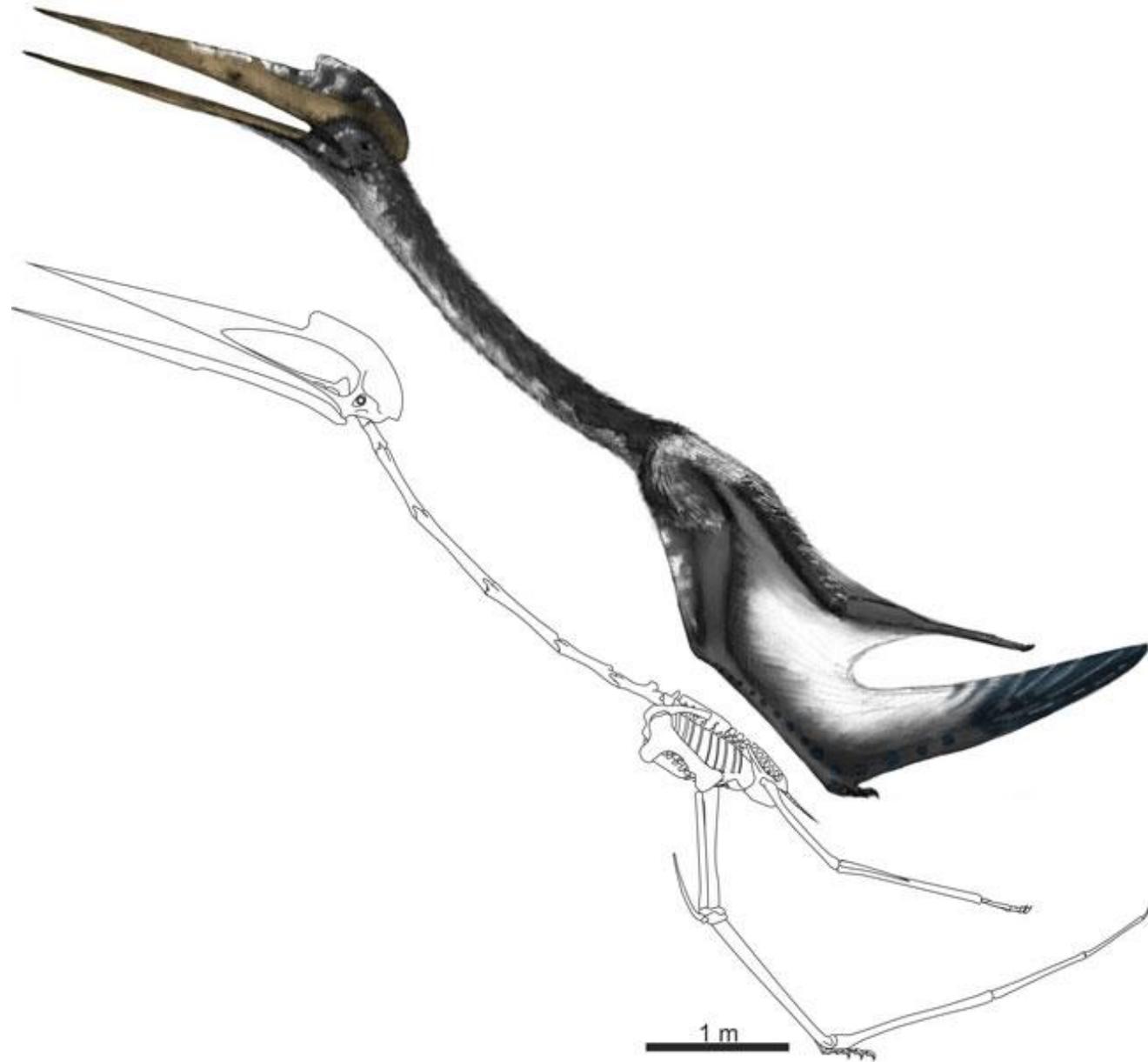


Rekonstrukcja: Raul Martin



<https://dinosaurpictures.org/Nyctosaurus-pictures>





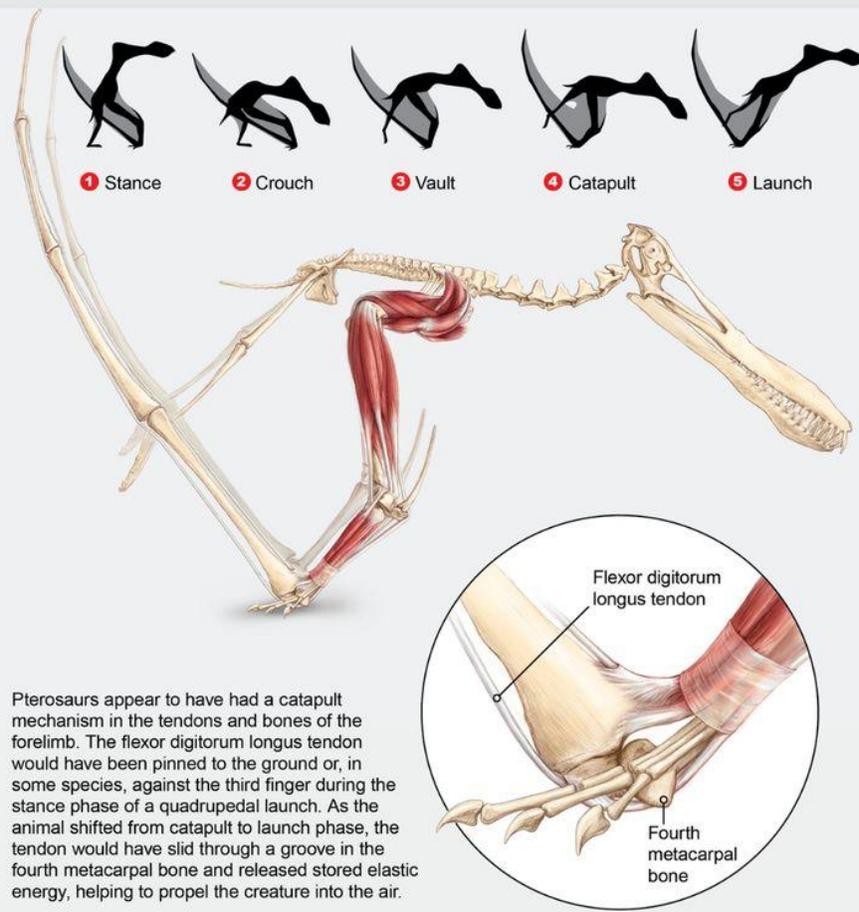
# Wielka głowa pomagająca

- Powiększenie przedniej części ciała wiązało się z przesunięciem środka ciężkości do przodu.
- Jednak długa szyja umożliwiała uniesienie czaszki do góry.
- Czaszka ażurowa o delikatnej konstrukcji.



## Up and Away

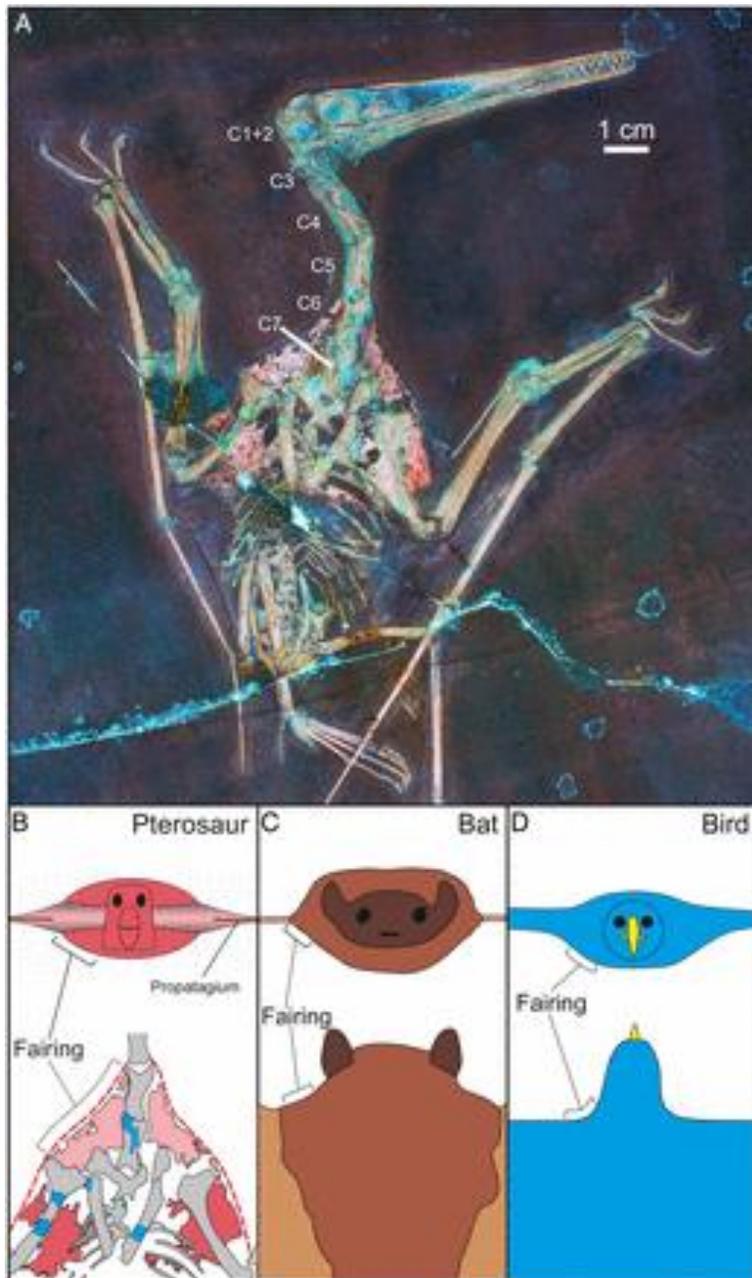
The largest pterosaurs had clear adaptations to flight but probably weighed upward of 600 pounds—far more than the largest known flying birds. How did such behemoths become airborne? Unlike birds, which walk and jump into the air using only their hind limbs, pterosaurs walked on all fours, as evidenced from fossil trackways. Mathematical modeling indicates that launching from a quadrupedal stance—pushing off first with the hind limbs and then with the forelimbs—would have provided the leaping power that giant pterosaurs required for takeoff. Unlike a bipedal launch, a quadrupedal launch would have leveraged the powerful flight muscles and a catapult mechanism in the forelimb.



Pterosaurs appear to have had a catapult mechanism in the tendons and bones of the forelimb. The flexor digitorum longus tendon would have been pinned to the ground or, in some species, against the third finger during the stance phase of a quadrupedal launch. As the animal shifted from catapult to launch phase, the tendon would have slid through a groove in the fourth metacarpal bone and released stored elastic energy, helping to propel the creature into the air.

# Pterozauiry wymyśliły katapultę!





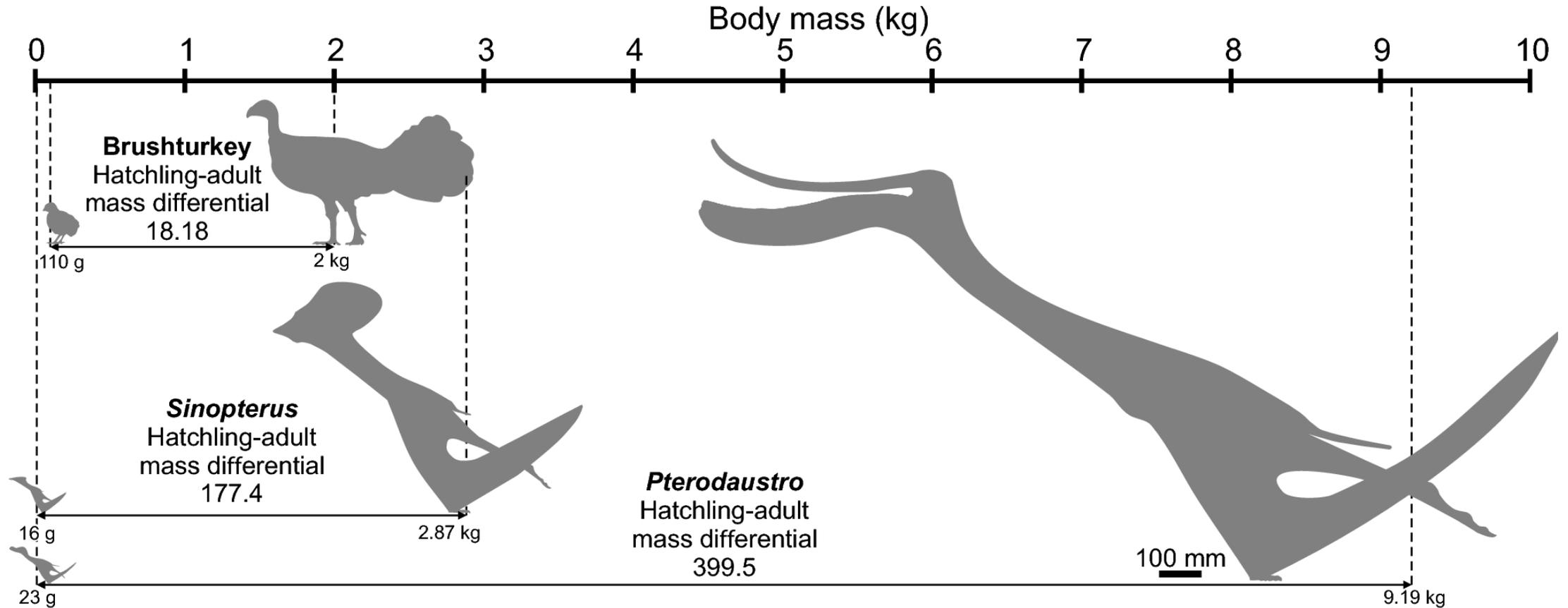
Pittman et al., 2021

# Biomechanika lotu pterozaurów

- Aby zwierzę mogło latać, jego środek ciężkości powinien pokrywać się ze środkiem parcia (*ang. center of lift*).
- U pterozaurów środek parcia znajdował się blisko przedniego krańca skrzydeł.
- Pterozaurowi musiały w locie lekko wyginać skrzydła do przodu.



# Zdolność do lotu już od wyklucia z jaja



Naish et al., 2021

**Hatchling stage**

Low mass and small body size allows for enhanced launch and skeletal strength, and slow, manoeuvrable flight. Permits flight in cluttered, obstacle-filled settings, avoidance of larger predators and pursuit of small prey.



**Juvenile stage**

Increasing mass and body size lowers launch and skeletal strength: lower climbout angles and lessened ability to avoid obstacles. May necessitate relocation to less cluttered settings.



**Giant adult stage**

Enormous wingspans and maximised glide efficiency permits unprecedented capacity for trans-continental flight. Restricted to open habitats and larger prey because of size.

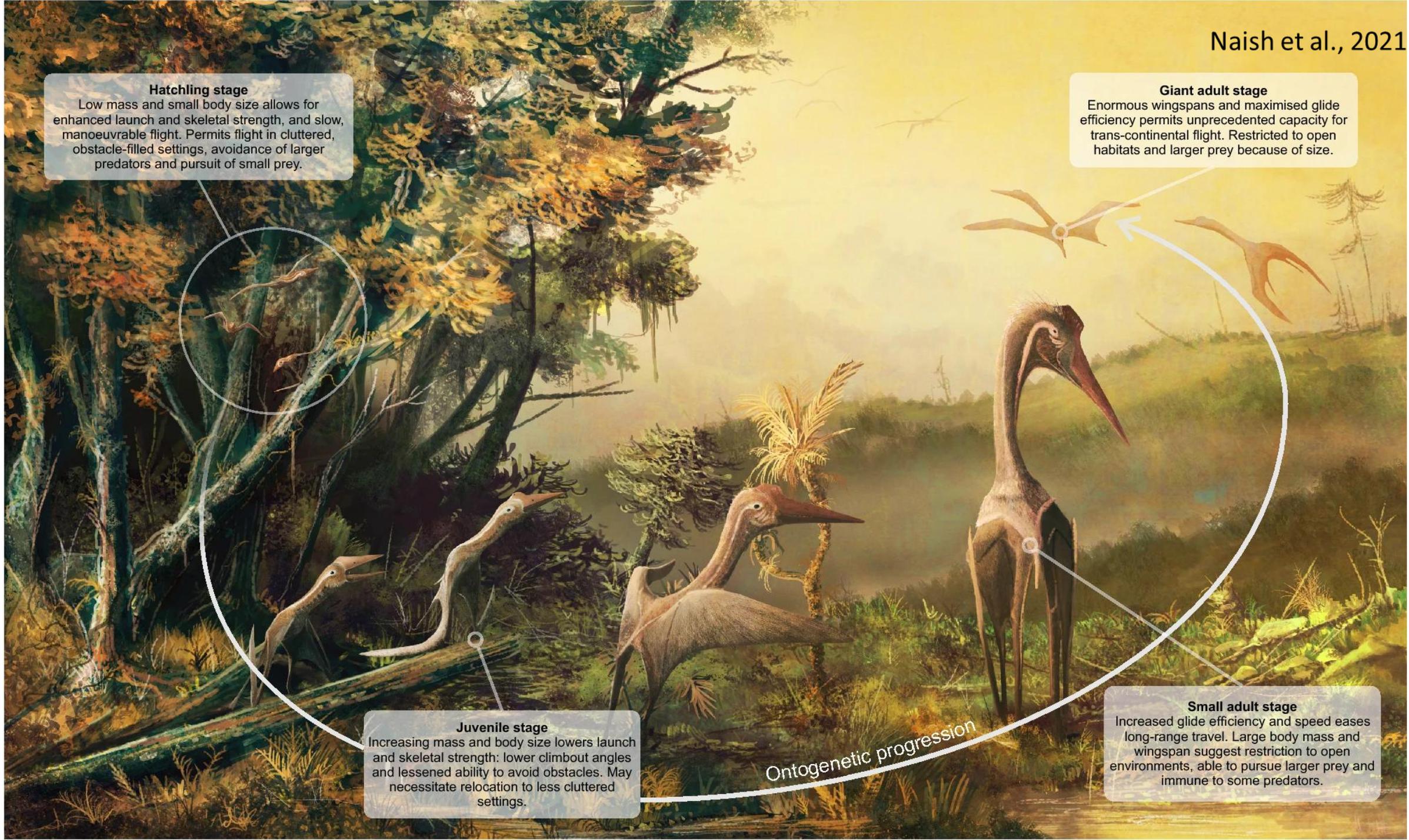


**Small adult stage**

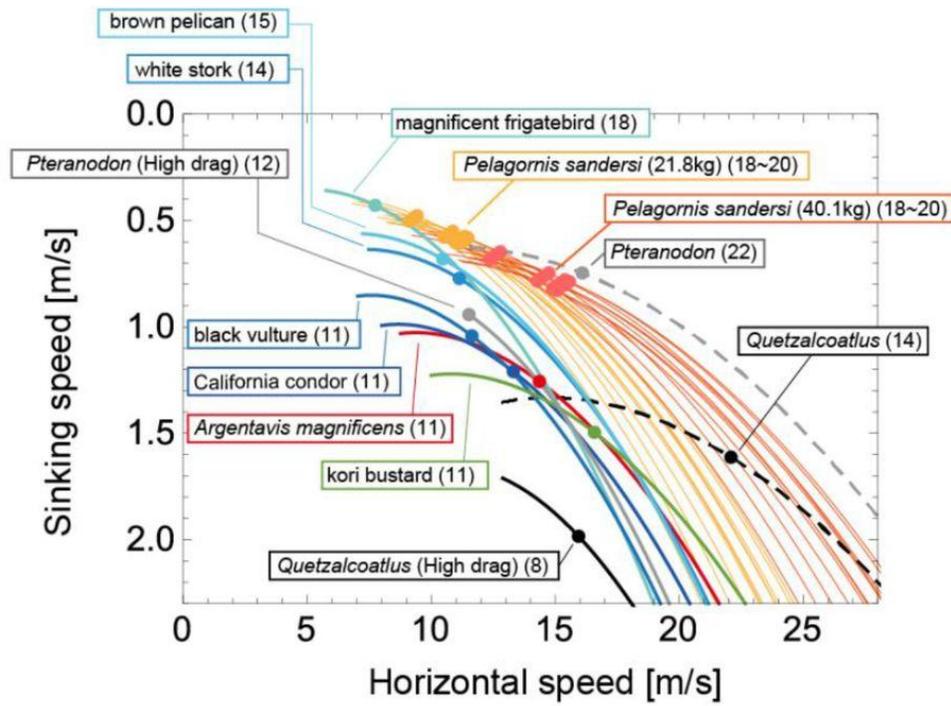
Increased glide efficiency and speed eases long-range travel. Large body mass and wingspan suggest restriction to open environments, able to pursue larger prey and immune to some predators.



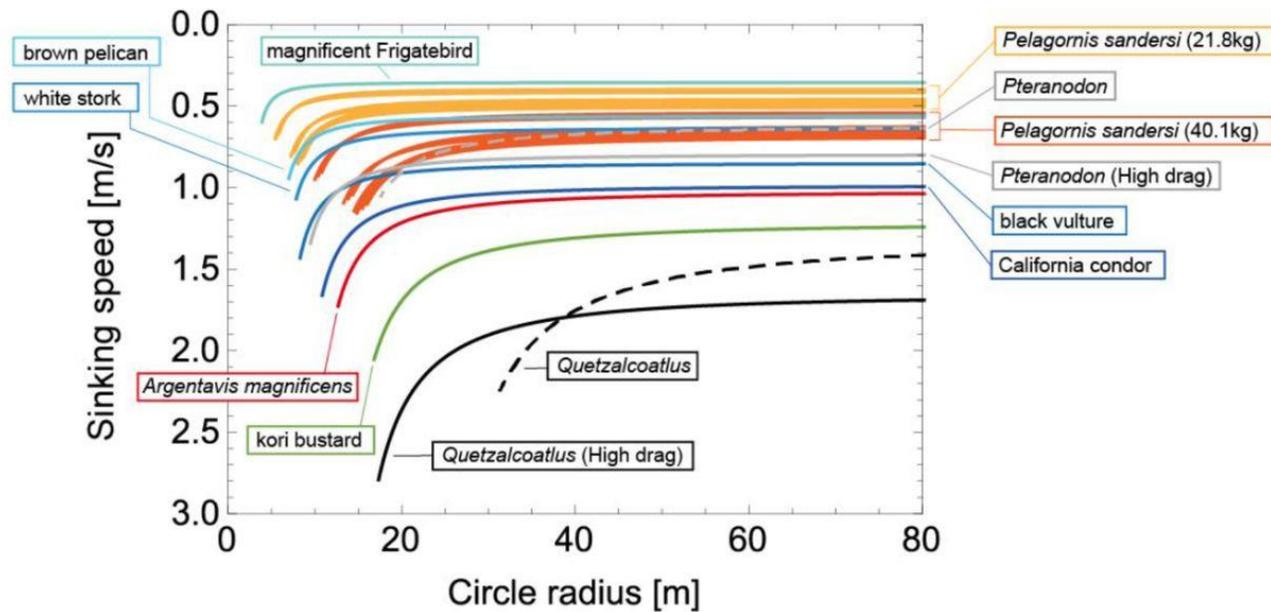
*Ontogenetic progression*

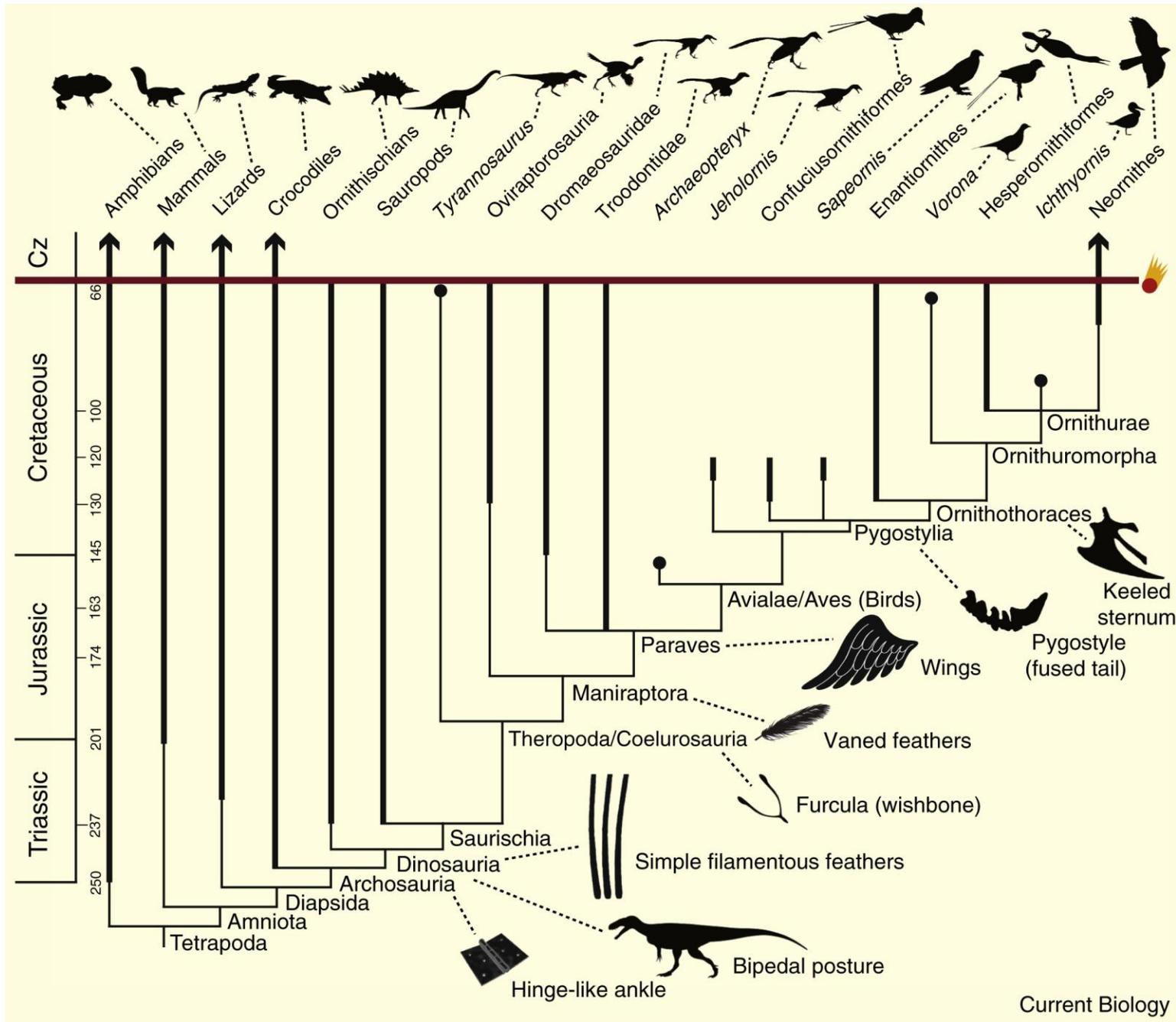


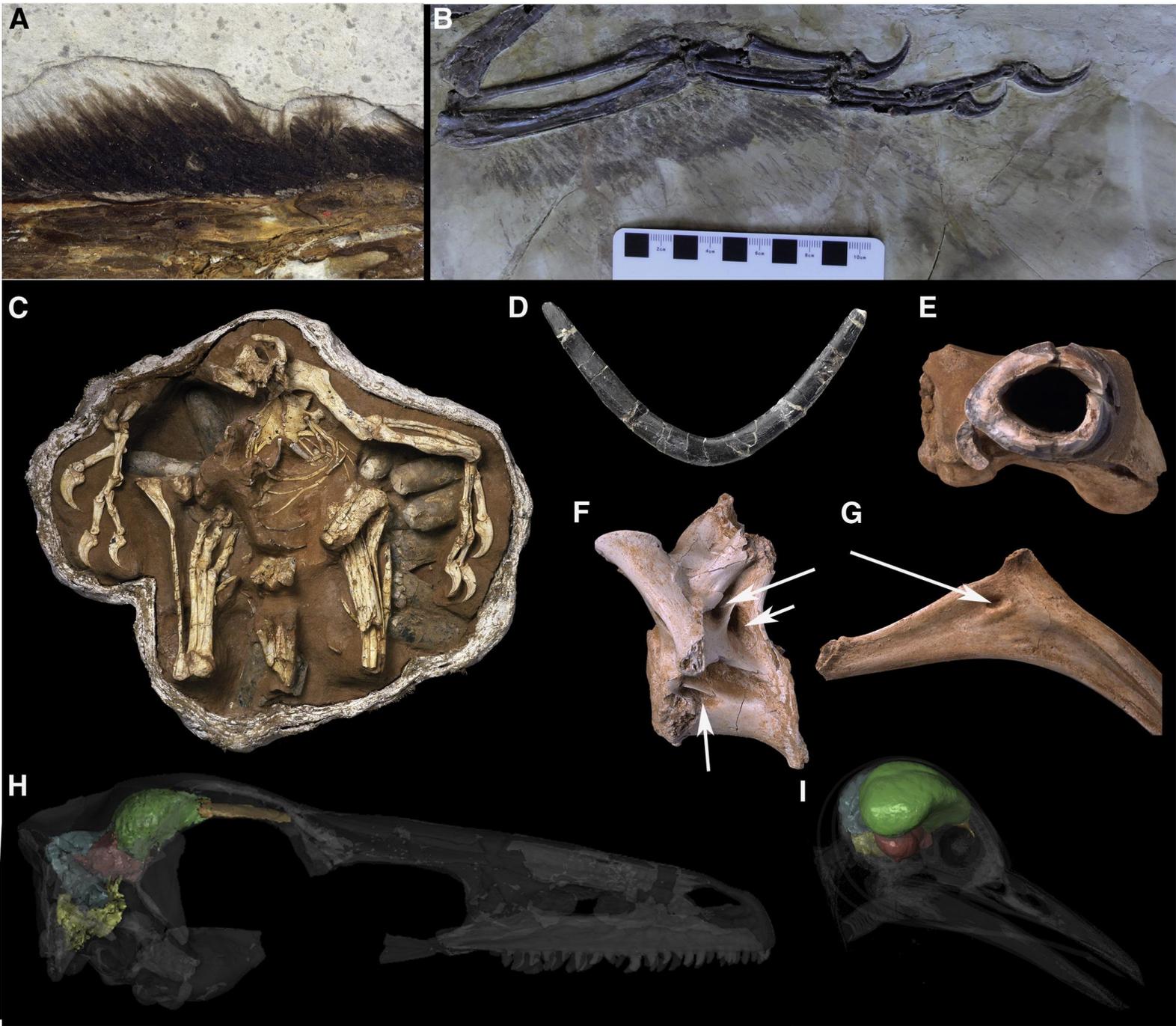
A



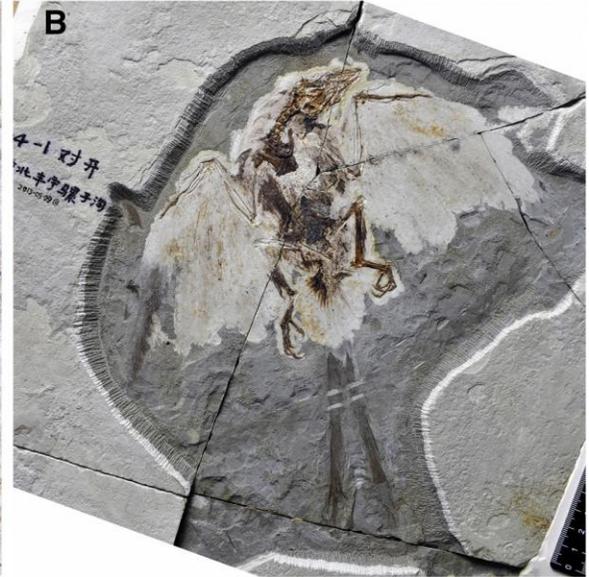
B



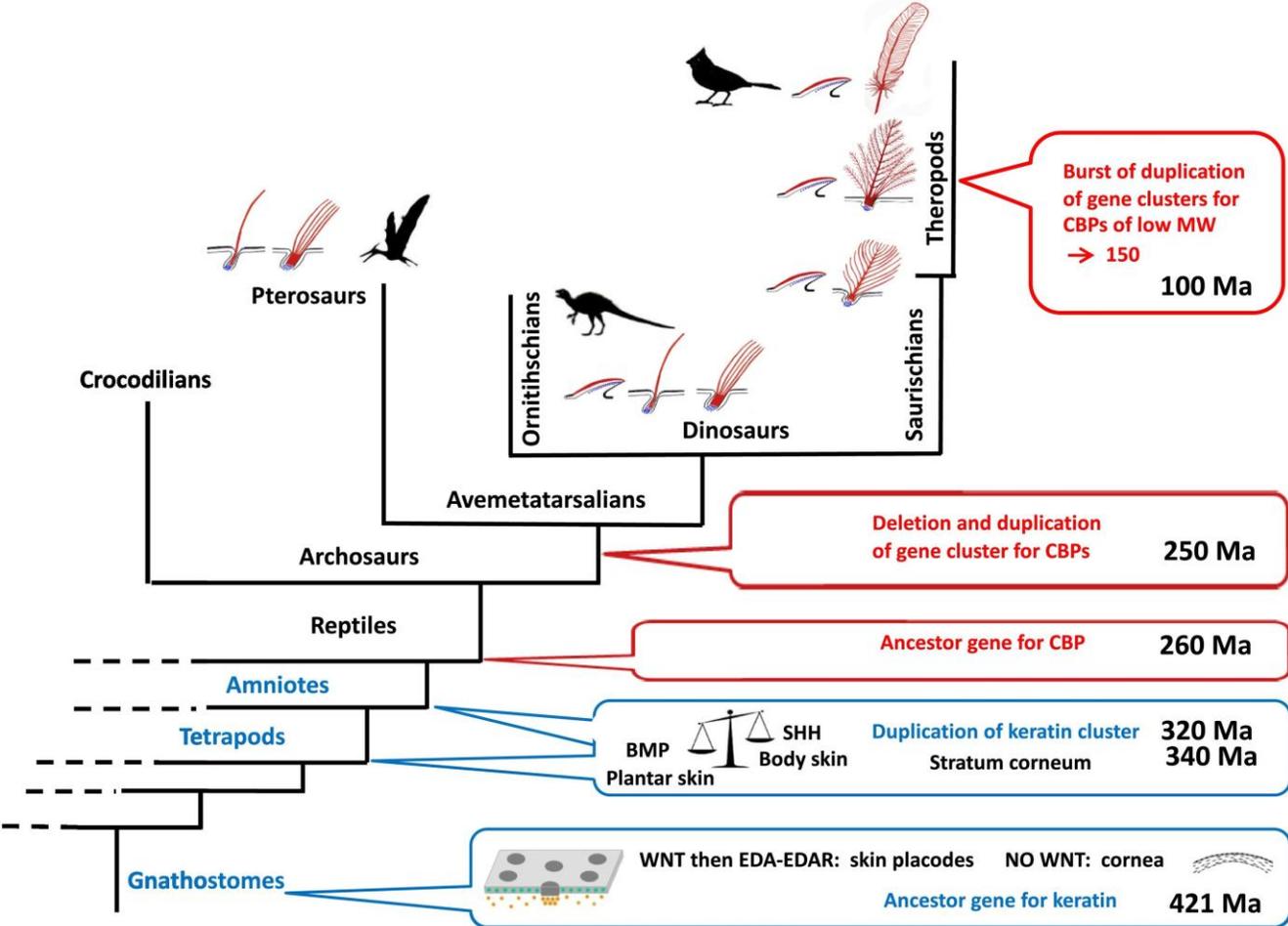
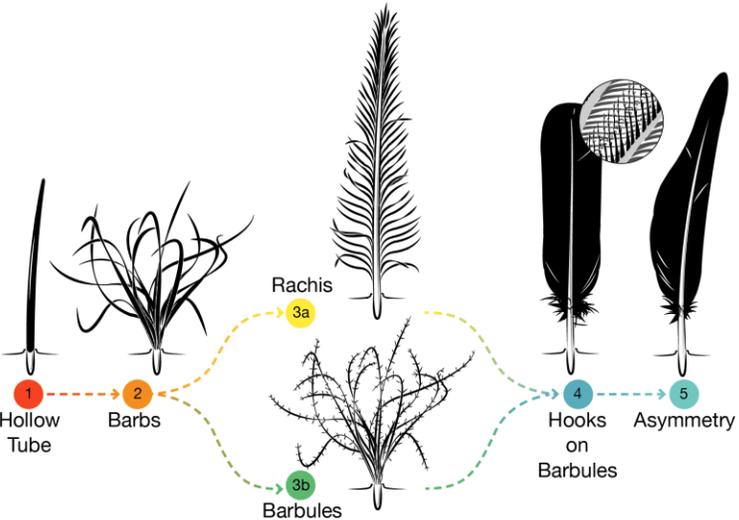




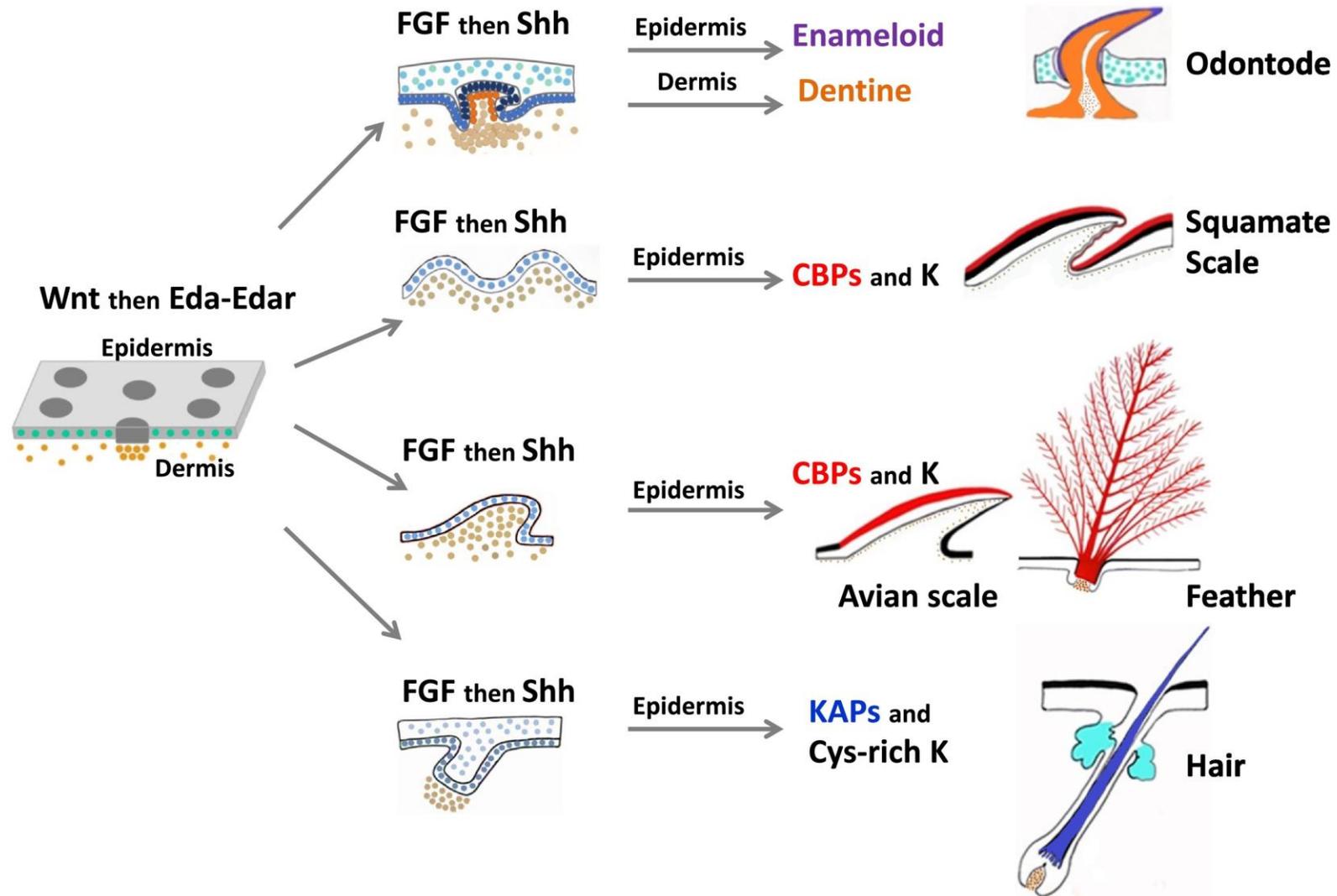
Brusatte et al., 2015



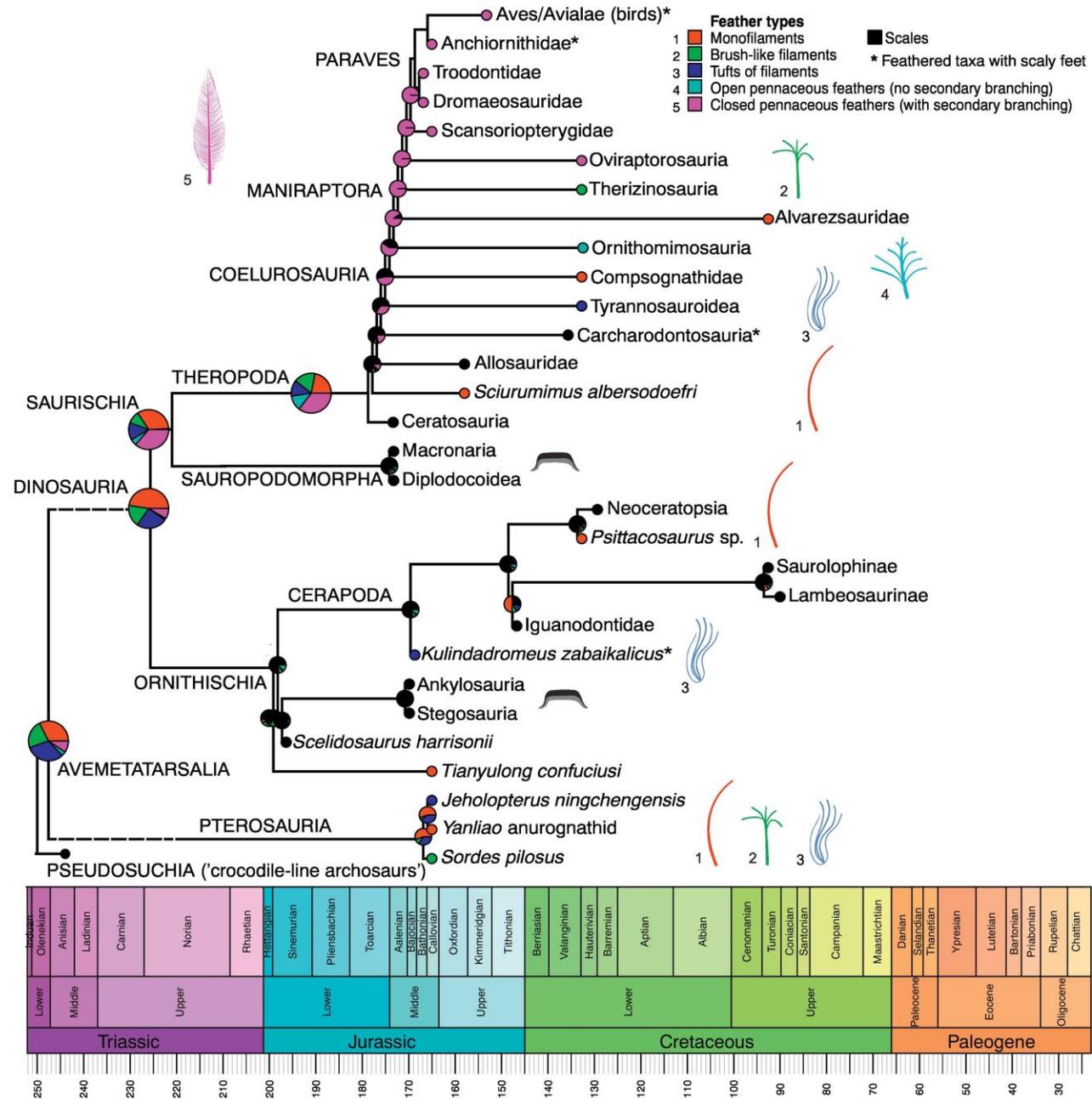
# Pochodzenie i ewolucja piór



# Homologia struktur epidermalnych



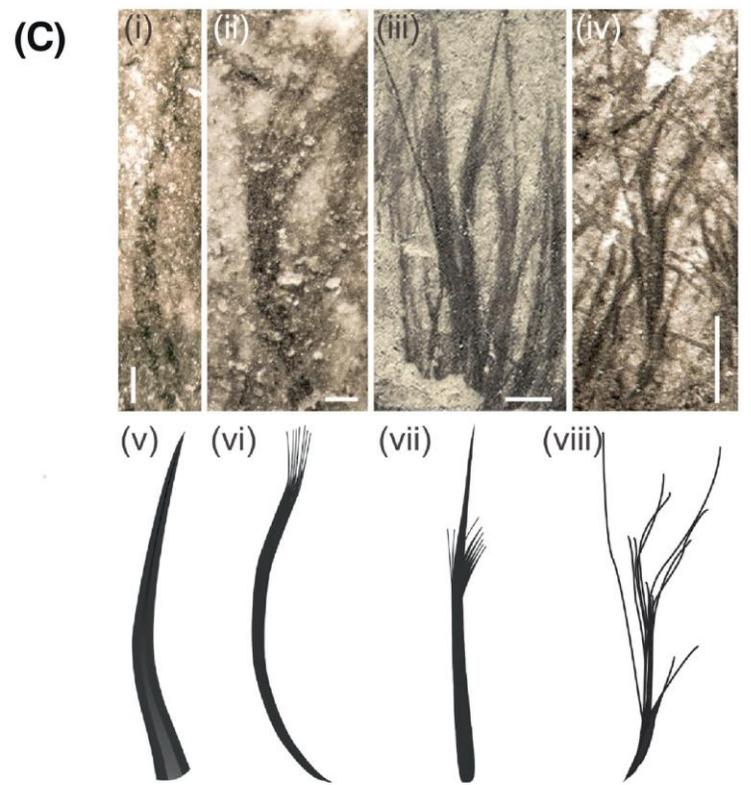
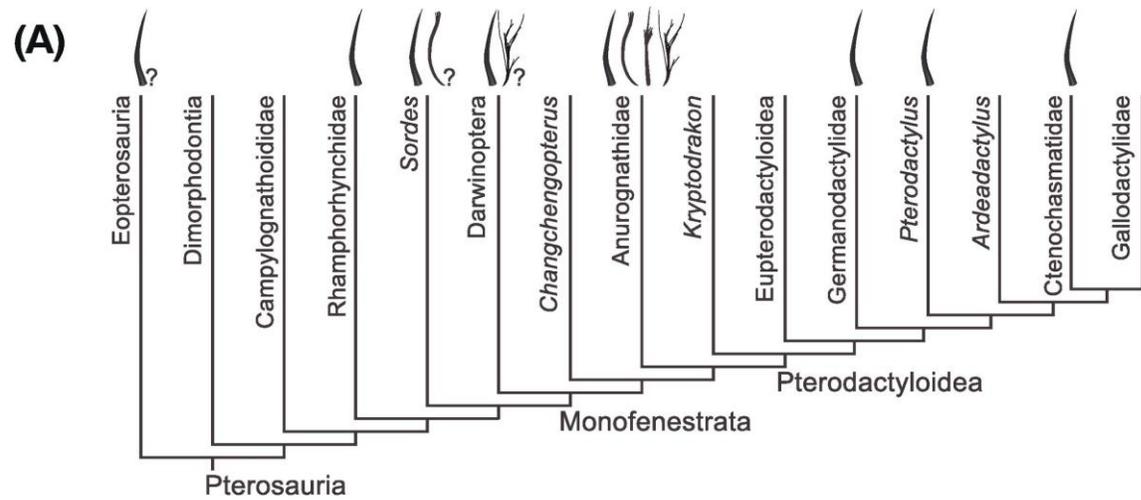
Benton et al., 2019



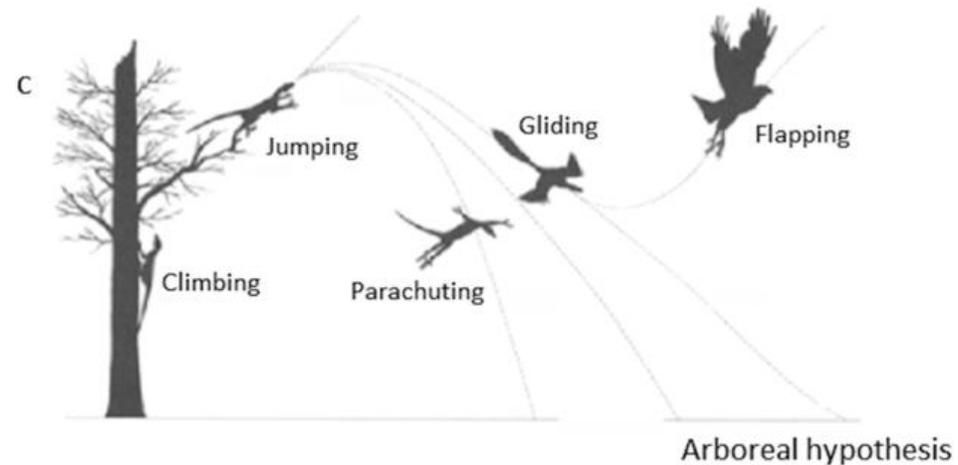
Benton et al., 2019

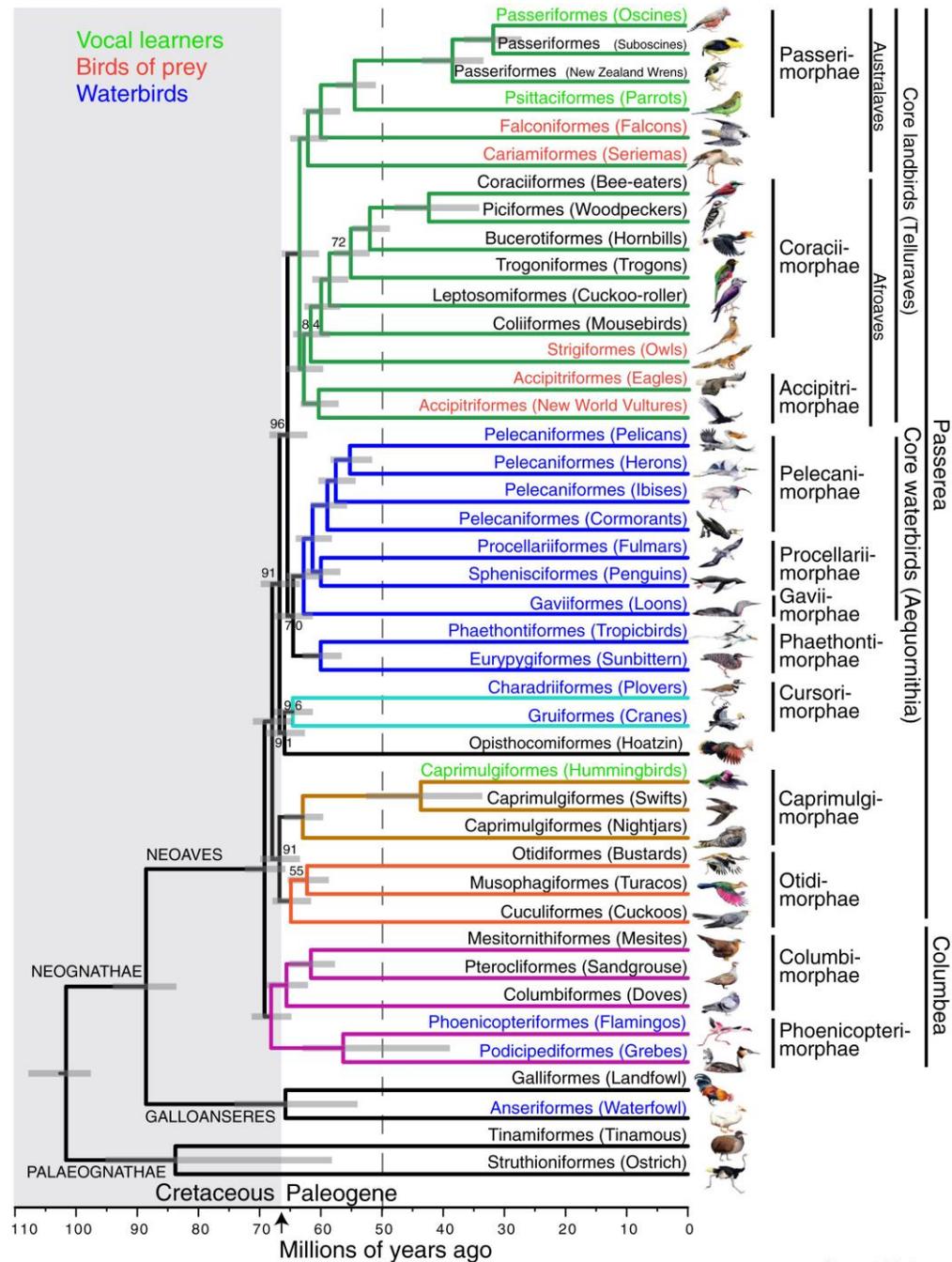
↑ (A) Early origin of feathers

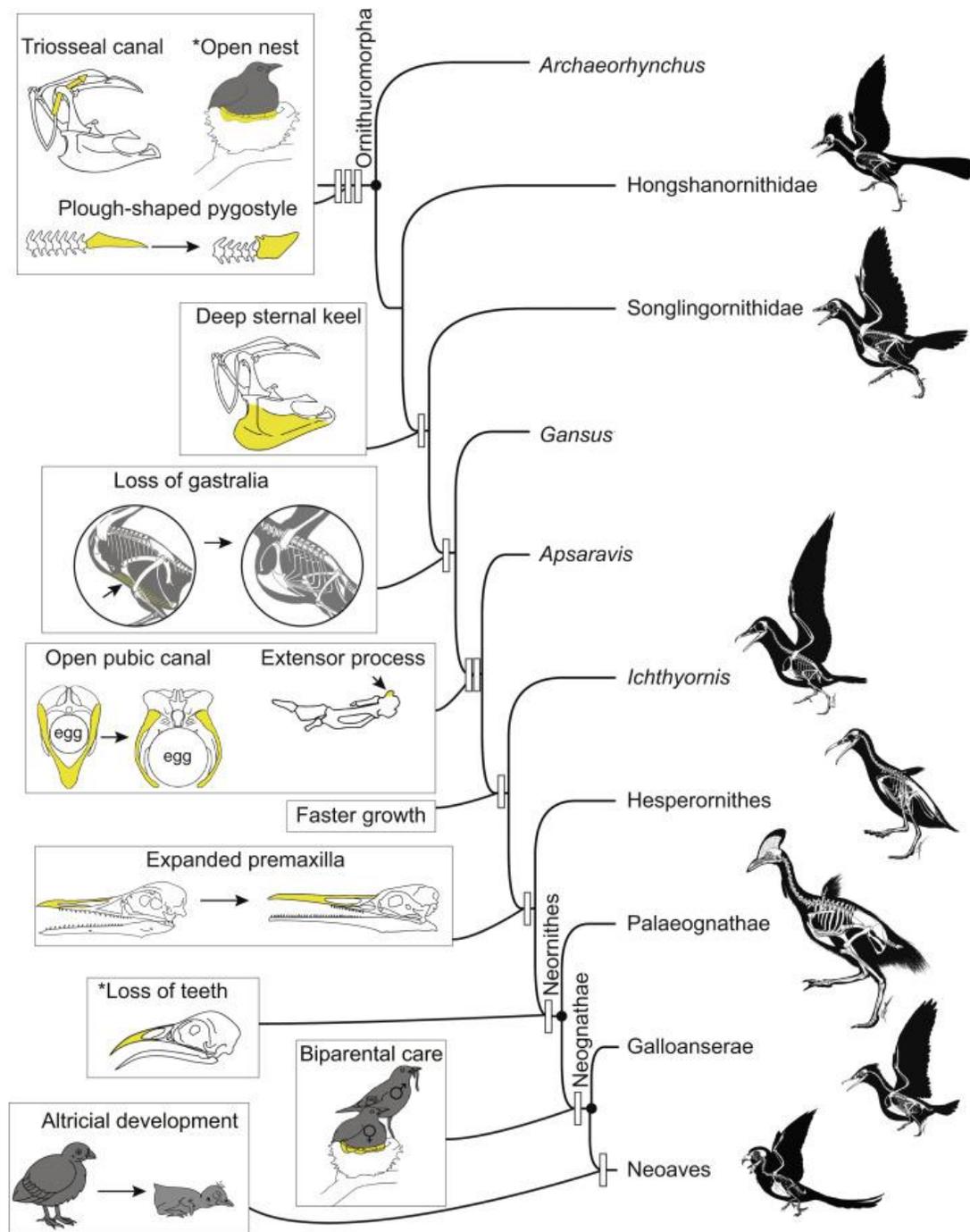
↑ (B) Late origin of feathers



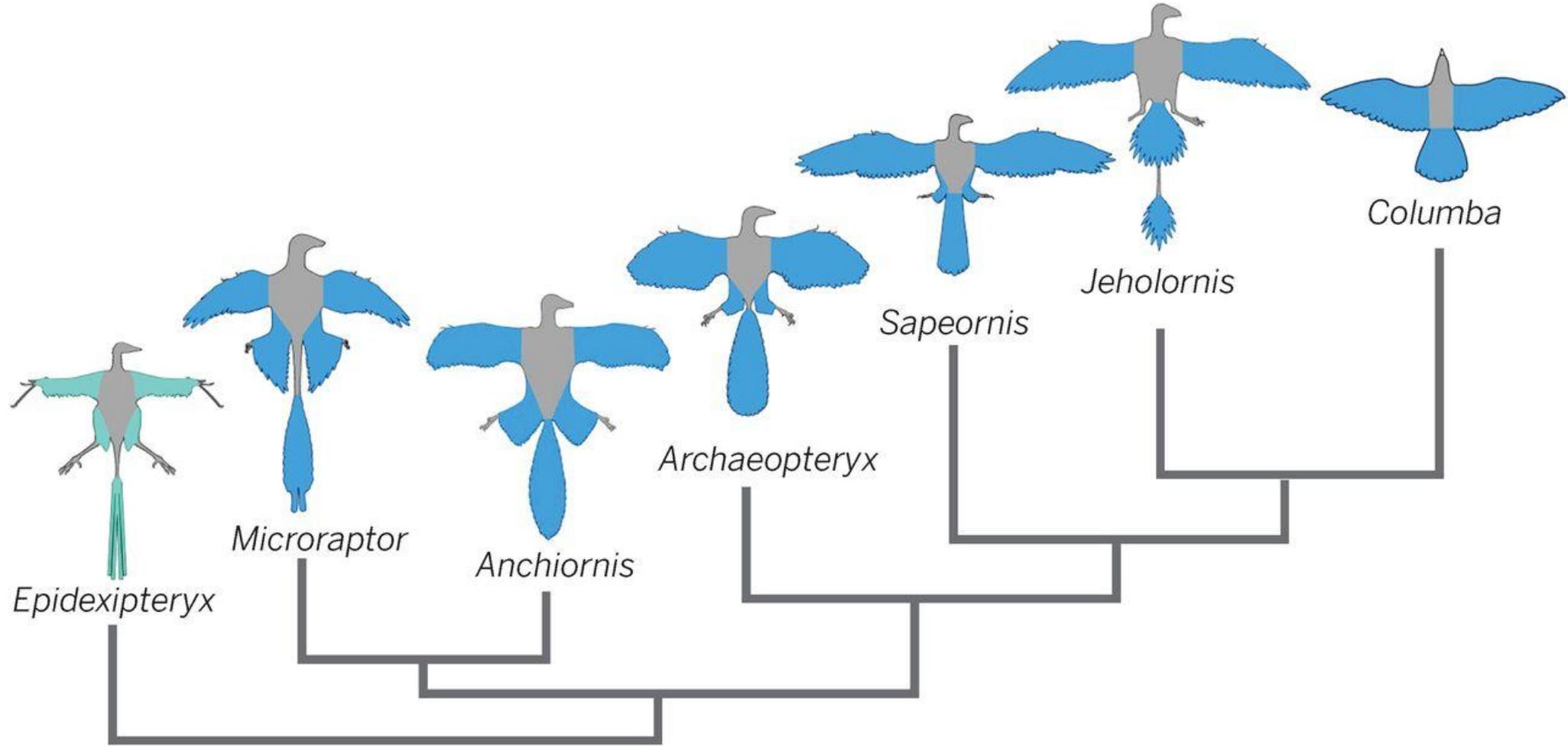
# Trzy główne hipotezy pochodzenia lotu ptaków





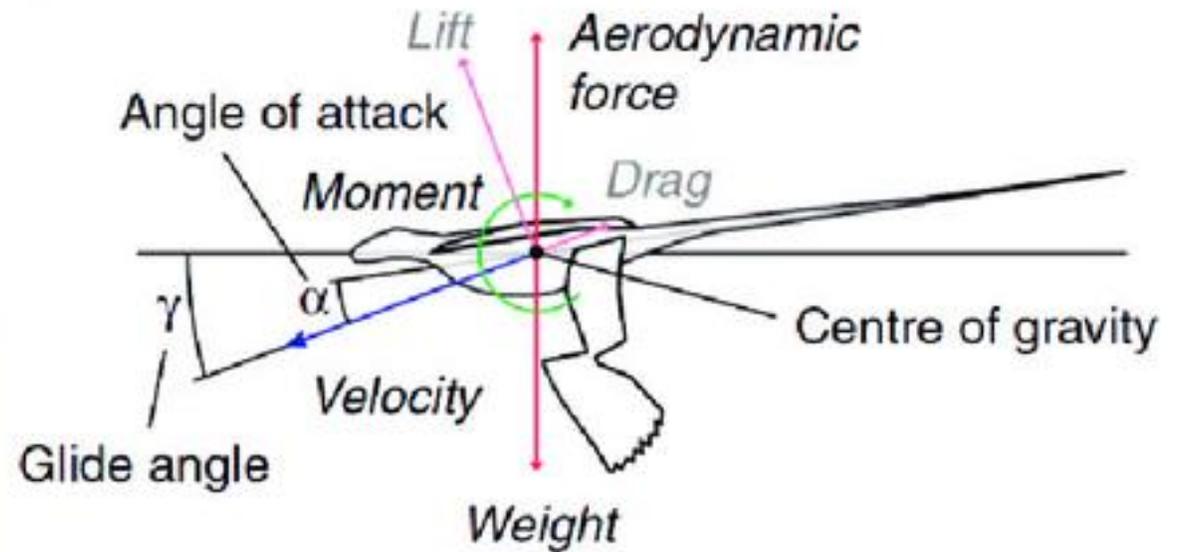


# Ewolucja geometrii



Xu et al., 2014

# Hipoteza „tetrapteryksa” poparta przez biomechanikę



# Konwergencja = środowisko > pochodzenie

- **Pterozaurowy**

- Zestaw błon lotnych (proapatagium, brachiopatagium, uropatagium);
- Biomechanika startu → „katapulta” (środek parcia z przodu skrzydeł);
- Zdolności aerodynamiczne na późnych etapach ontogenezy.

- **Ptaki**

- Pióra powstałe z epidermy;
- Biomechanika startu → najprawdopodobniej arborealna geneza (środek parcia bliżej środka masy);
- Zdolności aerodynamiczne na wczesnych etapach ontogenezy.