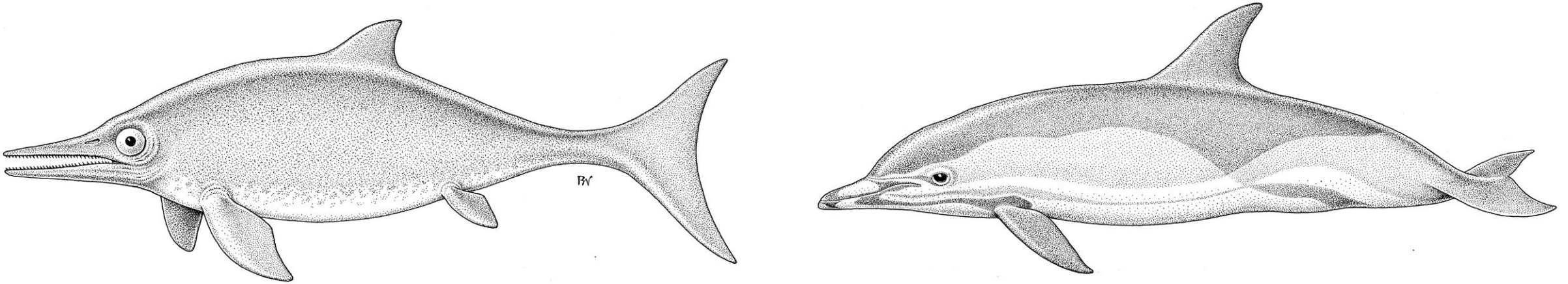


EWOLUCJA KONWERGENTNA KRĘGOWCÓW



Powrót kręgowców do mórz

Dr Daniel Tyborowski

Katedra Geologii Historycznej, Regionalnej i Paleontologii

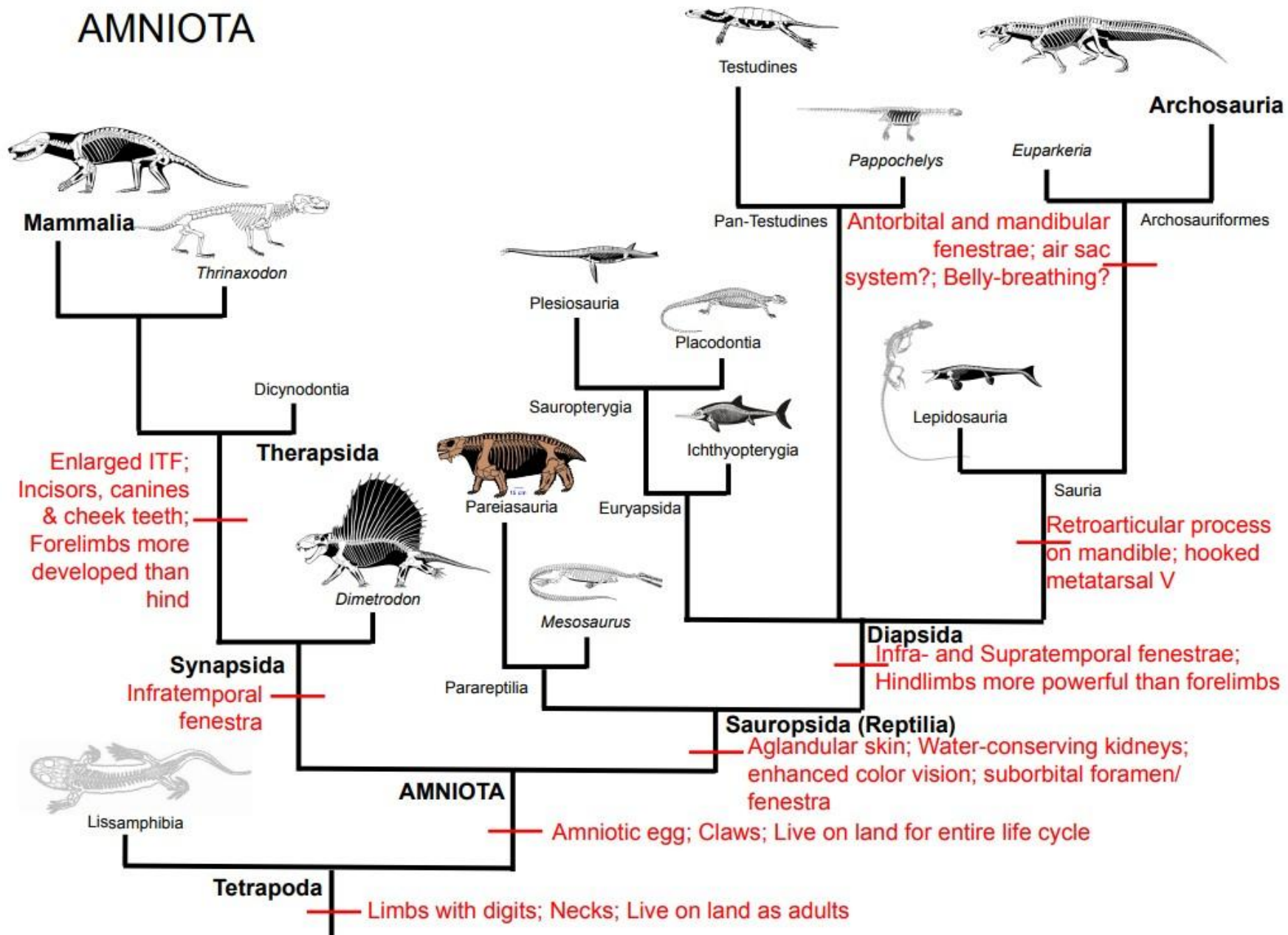
Wydział Geologii UW

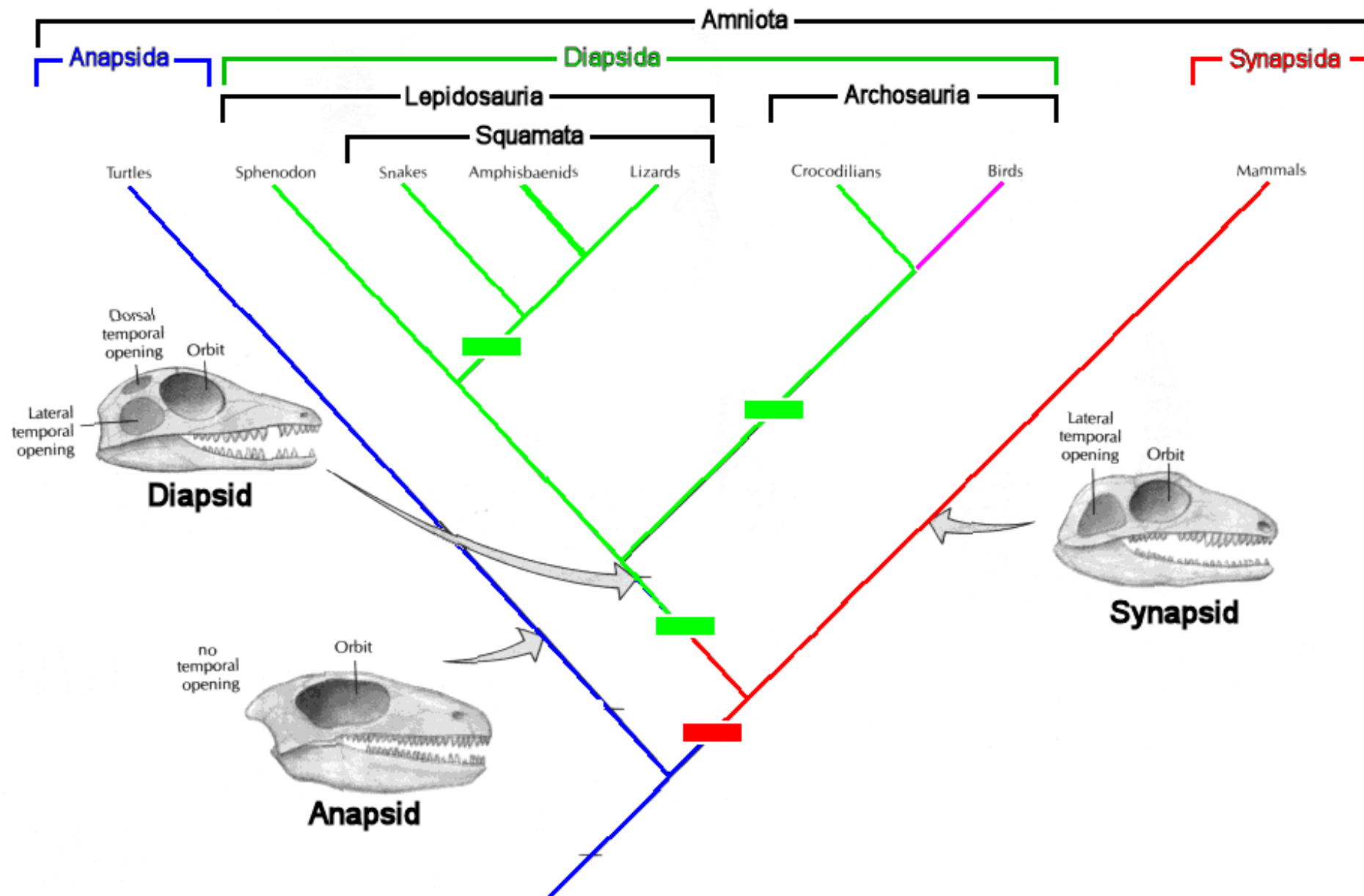
d.tyborowski@uw.edu.pl



UNIwersytet
Warszawski

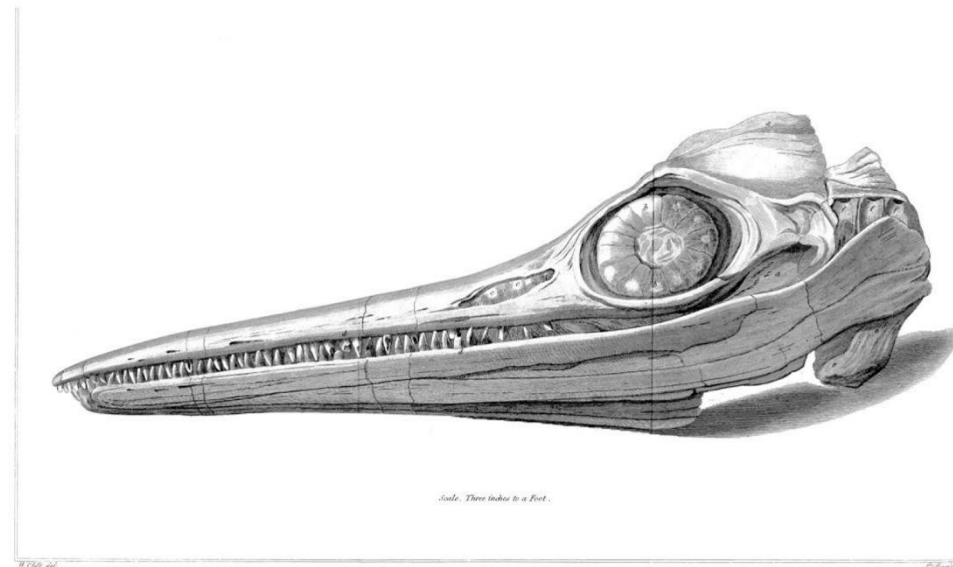
AMNIOTA



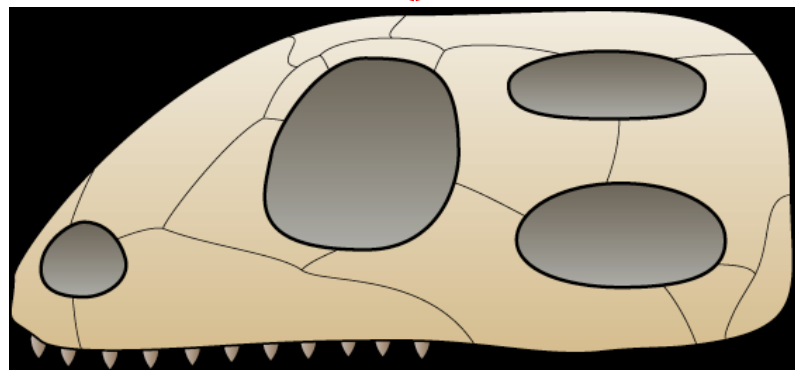
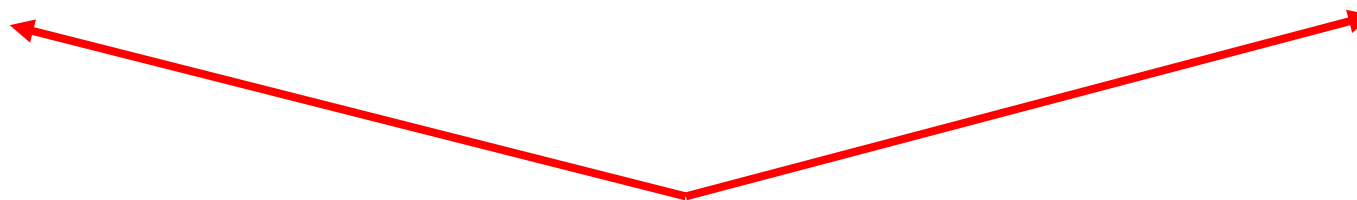




Dinozaury, ptaki, pterozaurow, pseudosuchow i krokodylow



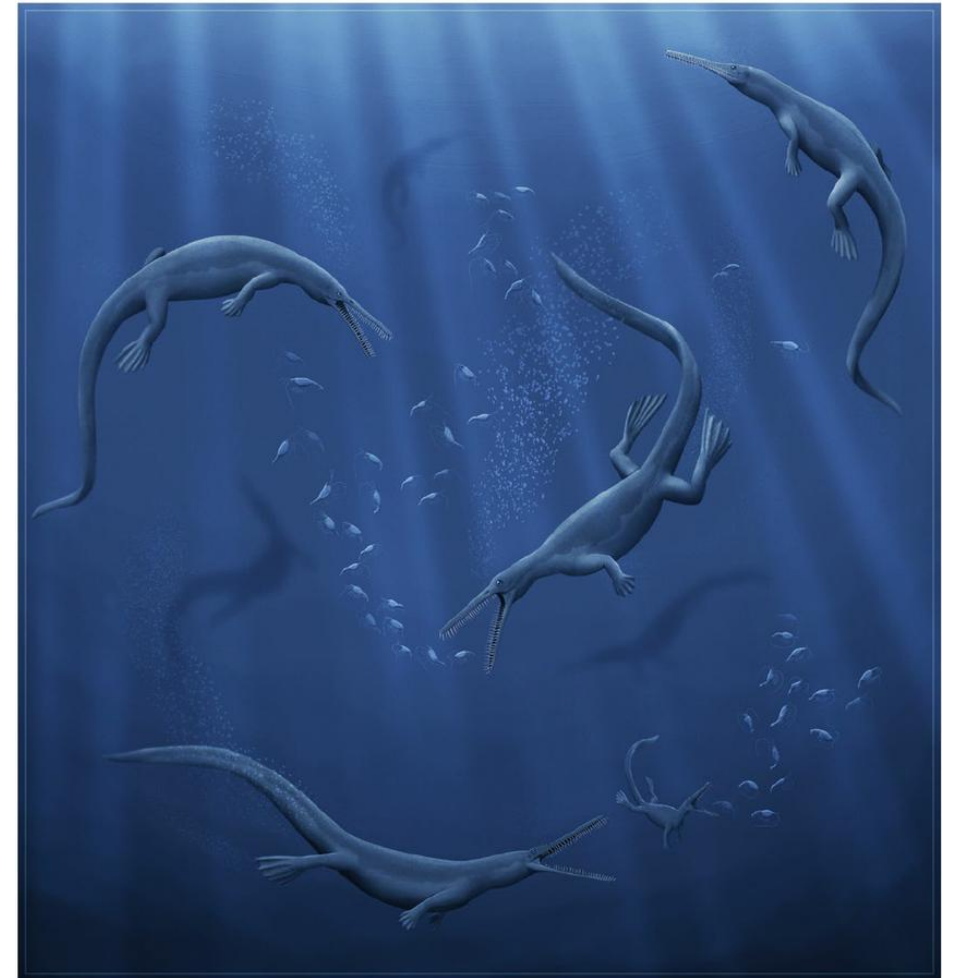
Ichthyozaurow, plezjozaurow, jaszczurek, wężow, mozazaurow i żółwi



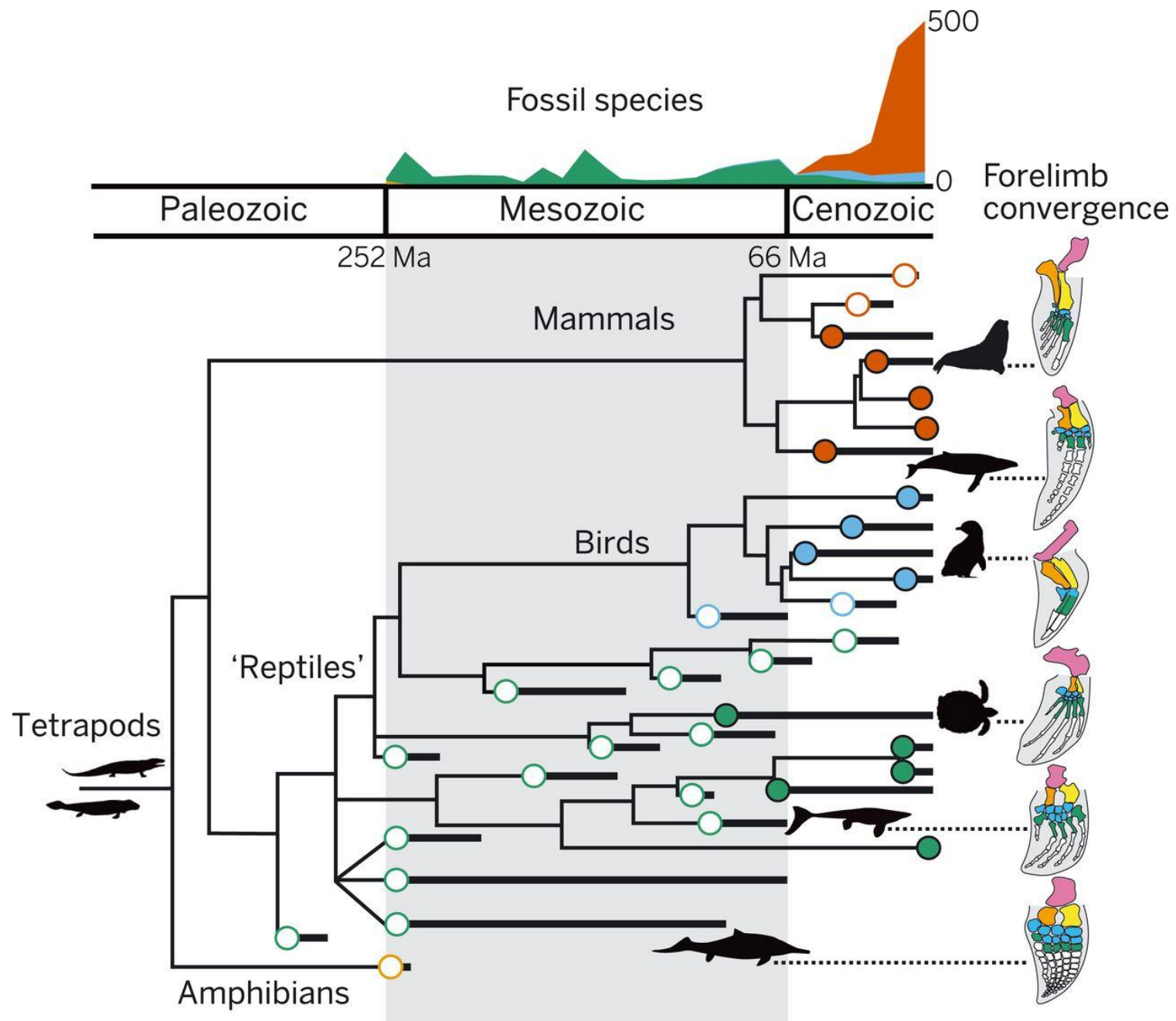
Pierwotne zauropsydy

Adaptacje do środowiska wodnego

- Najważniejsze adaptacje jakie musiały wykształcić gady aby opanować środowiska morskie:
- 1) dłuższe, bardziej ruchliwe szyje lub brak szyi;
- 2) wydłużone szczęki umożliwiające pochwycenie szybkiej zdobyczy lub wessanie jej do pyska;
- 3) usprawnienie zmysłu wzroku;
- 4) przekształcenie kończyn kroczych w płetwy;
- 5) żyworodność.



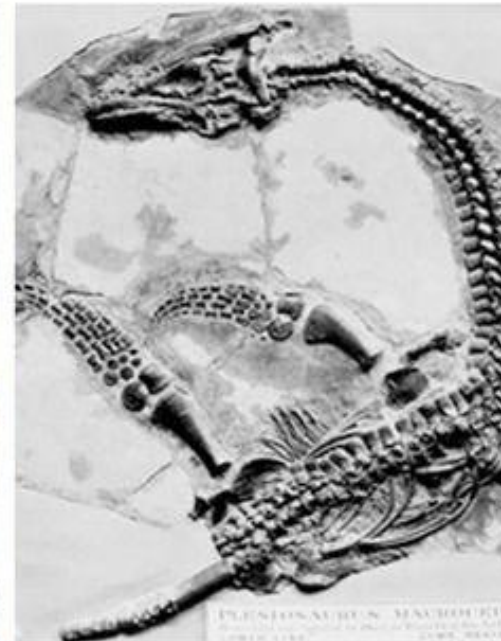
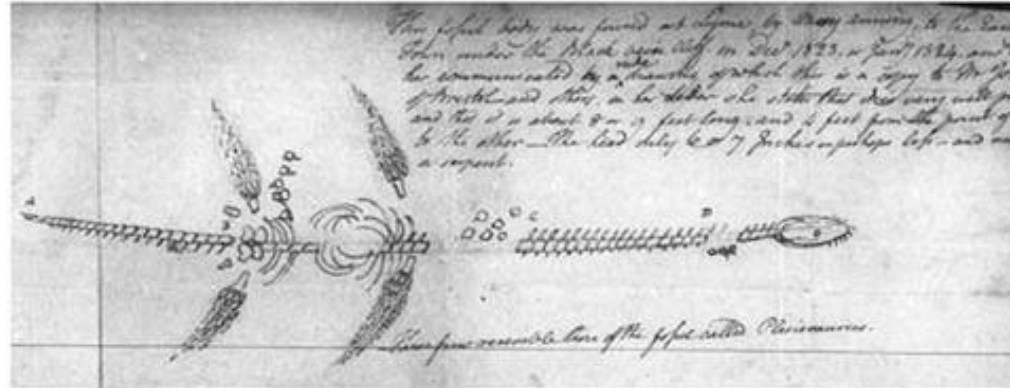
Villamil et al., 2016



Kelley & Pyenson, 2015

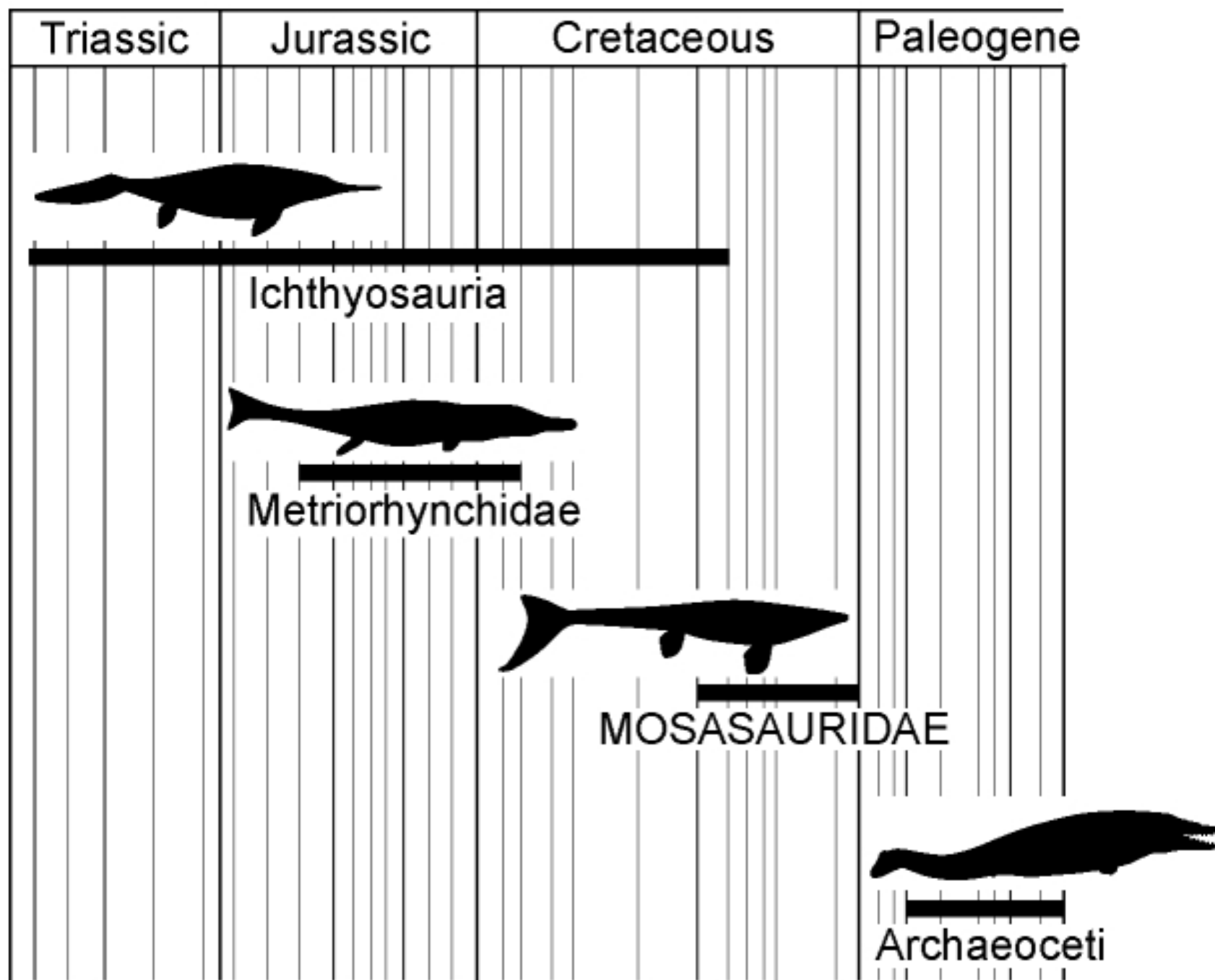


[SHE SELLS SEA SHELLS BY THE SEA SHORE]



WomenRockScience.tumblr.com

Mary Anning (1799 – 1847)



nasal openings

external nares located in a posterior position

ISBN 9780520252783, p. 20; DOI 10.1201/b11001-4, p. 100

eyes

eyes adapted for underwater and low-light vision, and increased pressure environment

ISBN 9780195369748, pp. 159-160; ISBN 9780226903400, p. 276

sleep behavior

hemispheric sleep strategy with one part of the brain sleeping at a time

DOI 10.1007/978-1-4939-011-0-067-2, p. 76; DOI 10.1007/978-1-4939-011-0-067-2, p. 231

ears

dense and massive auditory ossicles

ISBN 9781461270240, pp. 72, 100; ISBN 9781489901613, p. 296

neck

very short cervical region

ISBN 9781475769180, p. 133; ISBN 9780520247789, p. 247

bone structure

reduced bone density, increase in spongy (cancellous) bone

ISBN 9780123735539, p. 125; DOI 10.1016/j.comms.5789, |doi.org/10.1016/j.comms.5789

dorsal fin

fish-like dorsal fin used for stabilizing the body

ISBN 9781570345899, p. 6; ISBN 9780253011831, p. 101

spine

reduced interlocking of vertebrae

ISBN 9781855857377, p. 31; ISBN 9780226702360, p. 126

pelvis

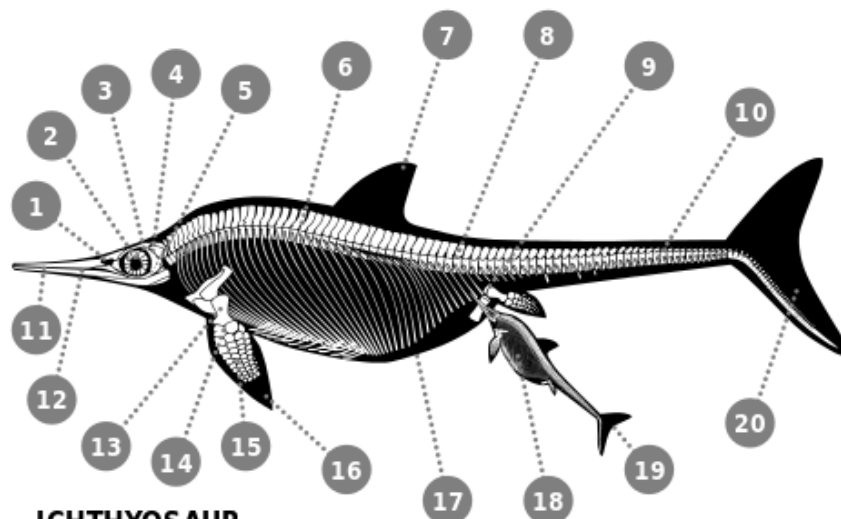
reduced pelvic girdle, not attached to the vertebral column

DOI 10.1080/00207179.2011.595464, p. 1015; ISBN 9780171417223, p. 279

tail

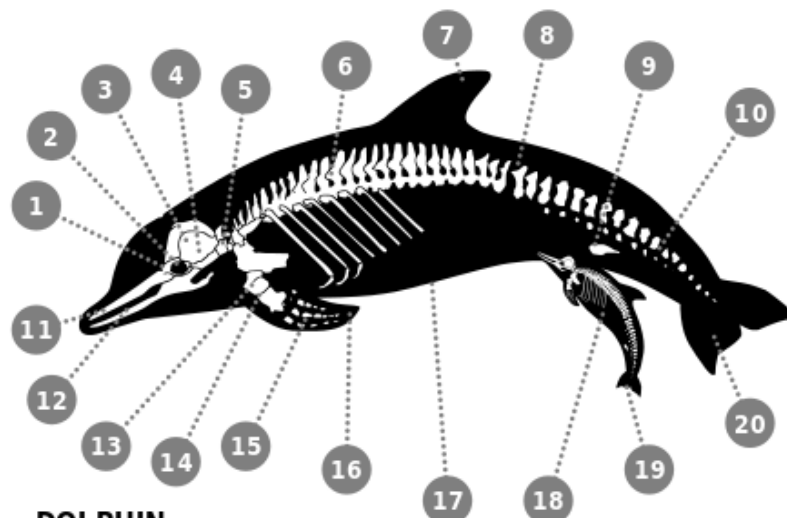
increased number of vertebrae, esp. in the caudal region

ISBN 9780301012114, p. 19; ISBN 9783899370702, p. 57; ISBN 9780761478829, p. 31



ICHTHYOSAUR

image based on DOI 10.1371/journal.pone.0088640
by Ryosuke Motani, Da-yang Jiang, Andrea Tinteri, Olivier Rieppel, Guan-bao Chen



DOLPHIN

image based on https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dolphin_anatomy_blank.png
by User:Shiba 77

skull

a hydrodynamic, elongated, protruding rostrum

DOI 10.1371/journal.pone.0019480; ISBN 9781405157780, p. 17

teeth

a homodont dentition consisting of numerous conical teeth

ISBN 9780674207691, p. 225; ISBN 9780520216563, p. 252

upper forelimb bones

short and robust humeri

ISBN 9780520243224, p. 91; ISBN 9780124402805, p. 46; ISBN 9780674021839, p. 476

elbow

non-functional (not rotational) elbow joint

DOI 10.1017/S0016758130010782; DOI 10.1201/b11001-4, p. 100

finger bones

increased number of phalanges in the forelimb (hyperphalangy)

DOI 10.1002/ar.20532; PMID 15032905; ISBN 9781401400402, p. 208

front flippers

pectoral fins used to steer and balance the animal

ISBN 9780018713511, p. 122; ISBN 9780632051496, p. 405

skin

flexible and smooth (scaleless and hairless) skin

DOI 10.1080/00207179.2011.595464, p. 1015; ISBN 9780895779762, p. 83

vivipary

young born live, underwater, with an innate ability to swim

ISBN 9781158407554, p. 258; ISBN 9780123735539, p. 428

fetal position

tail-first instead of head-first delivery

ISBN 9781118407554, p. 258; ISBN 9780123735539, p. 229

tail fluke

a two-lobed fish-like caudal fluke used for propulsion

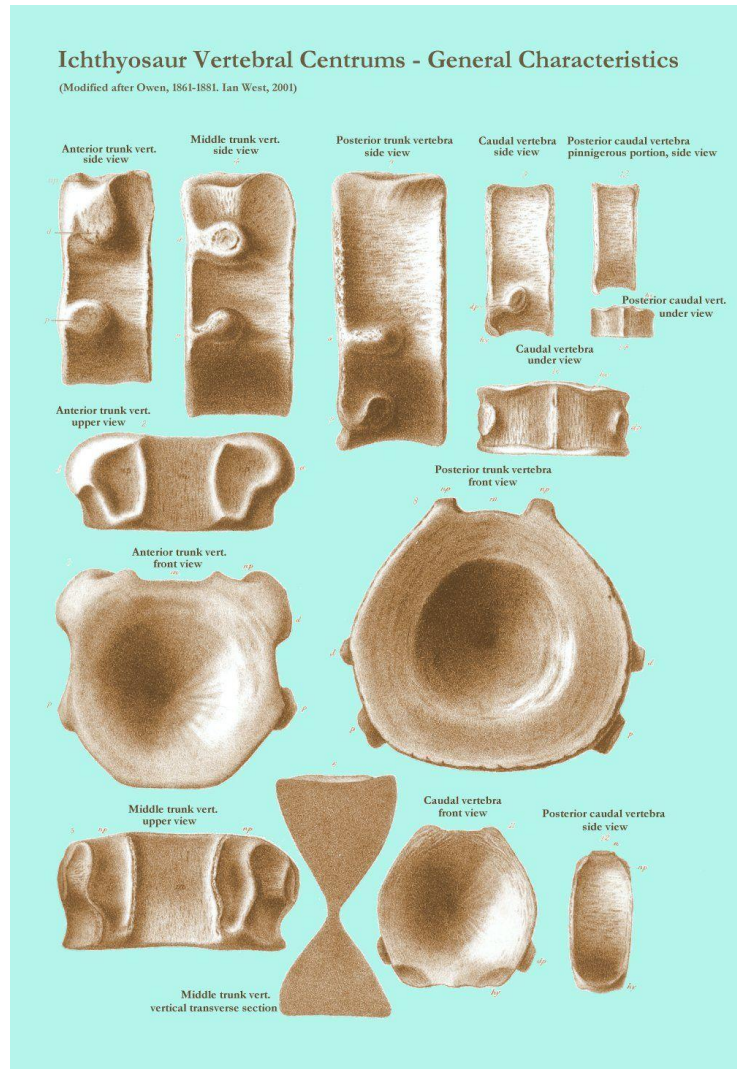
ISBN 9780521460781, p. 135-138; ISBN 9780120885527, pp. 190-193

Ichtiozaury – rybojaszczury

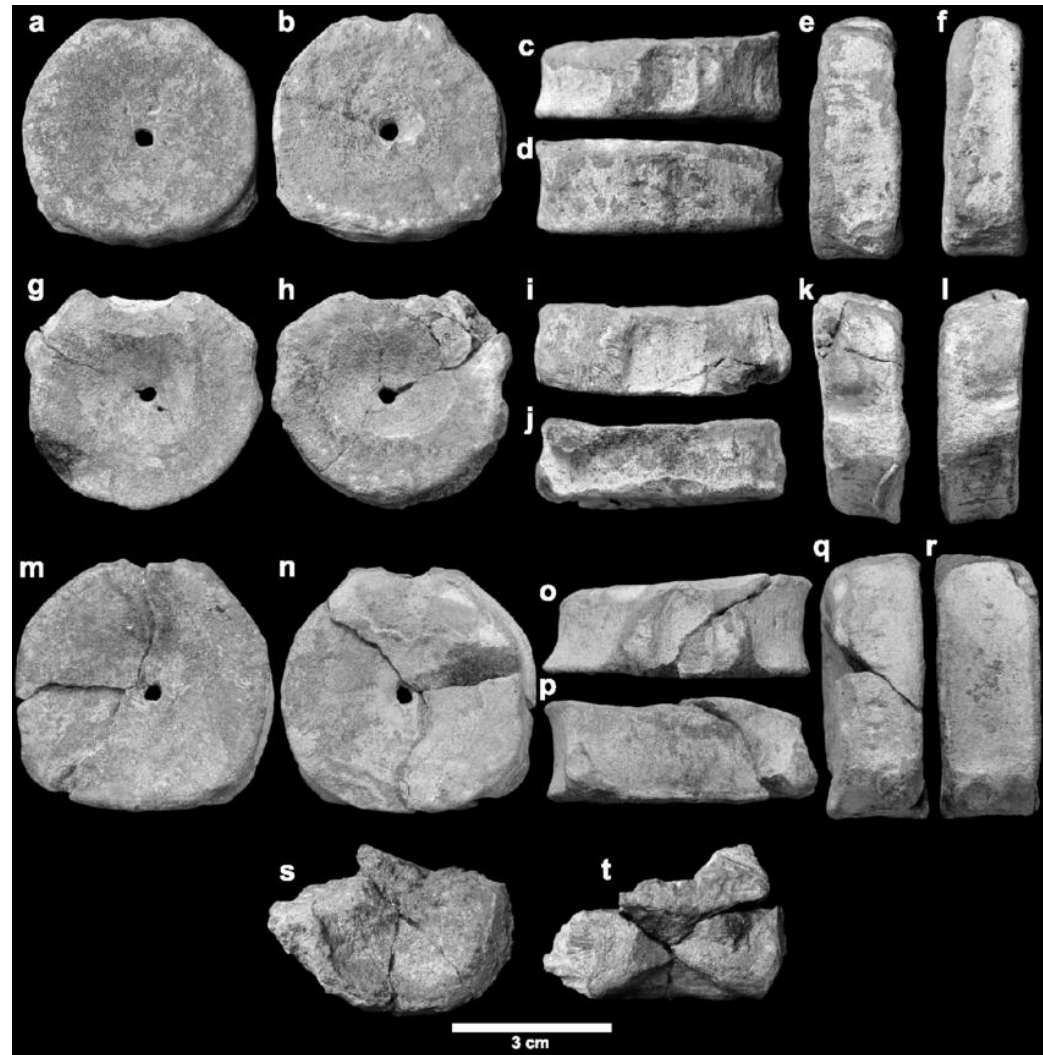


BOB NICHOLLS (THINKTANK, BIRMINGHAM SCIENCE MUSEUM)

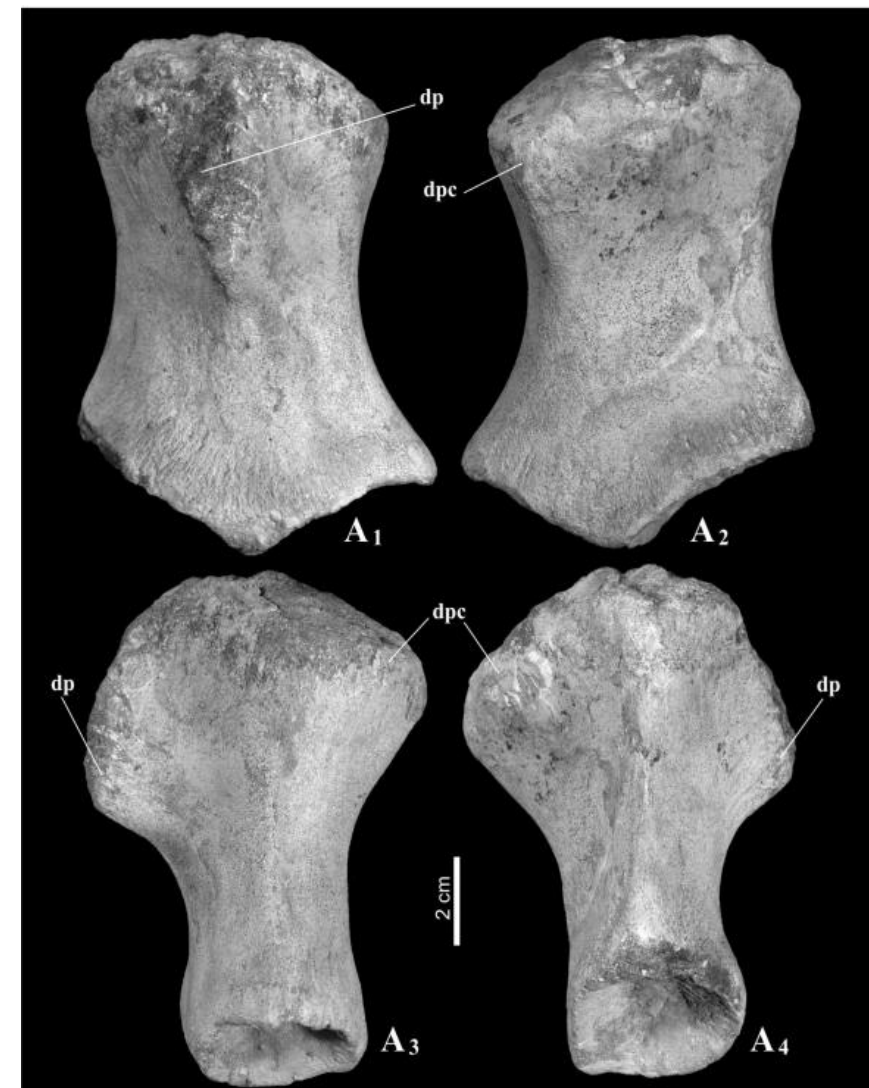
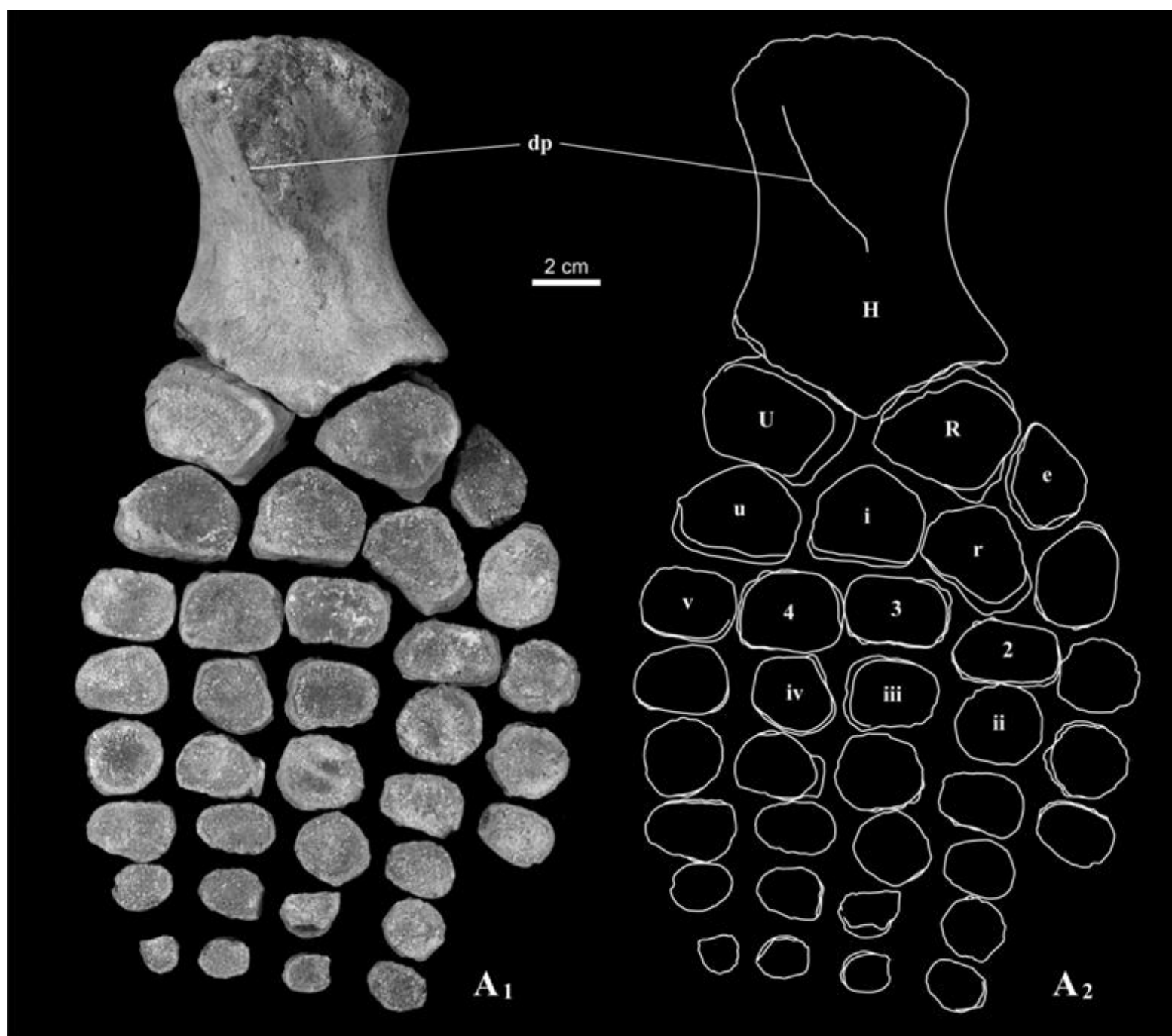
Kręgi niczym klepsydra



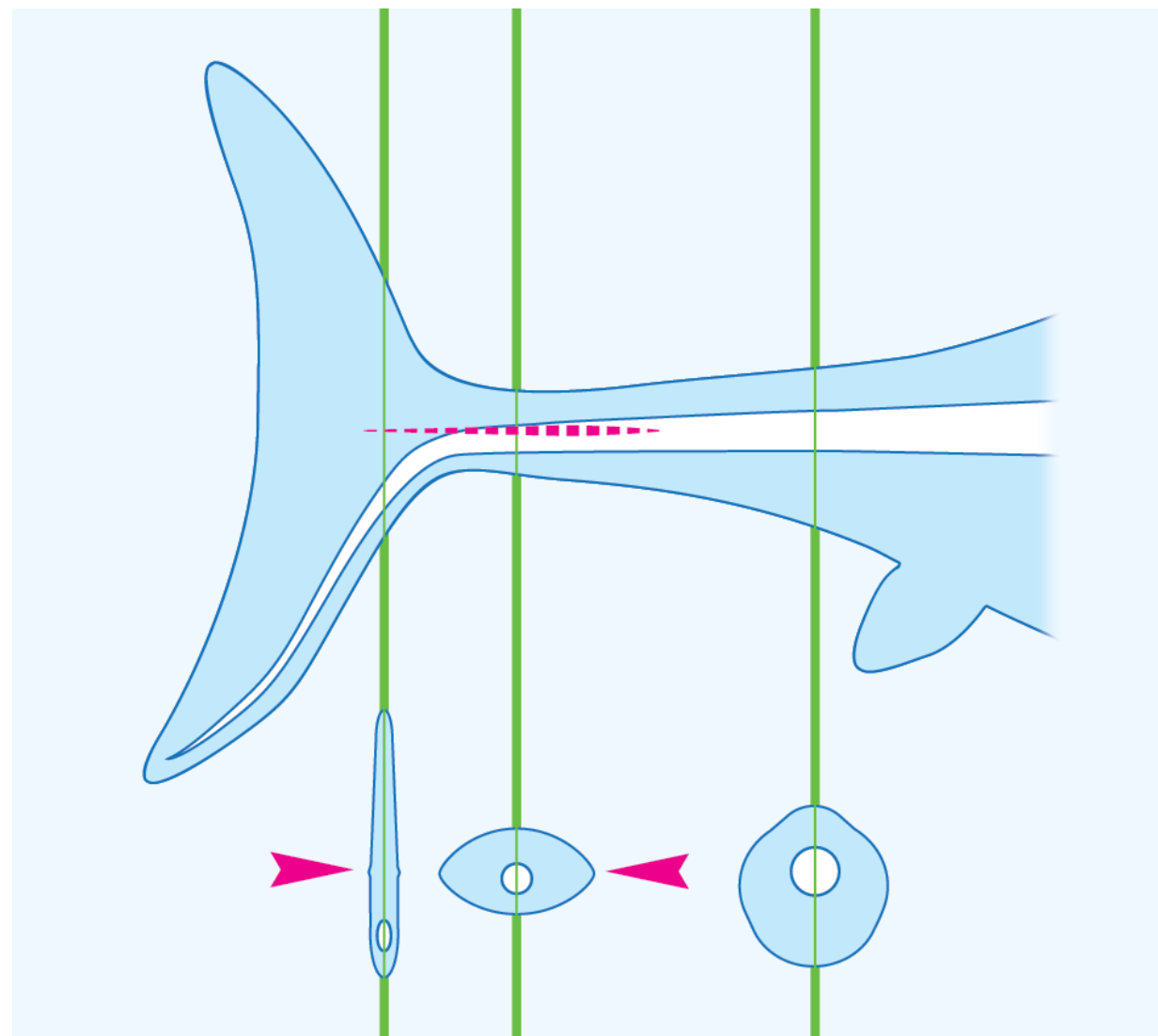
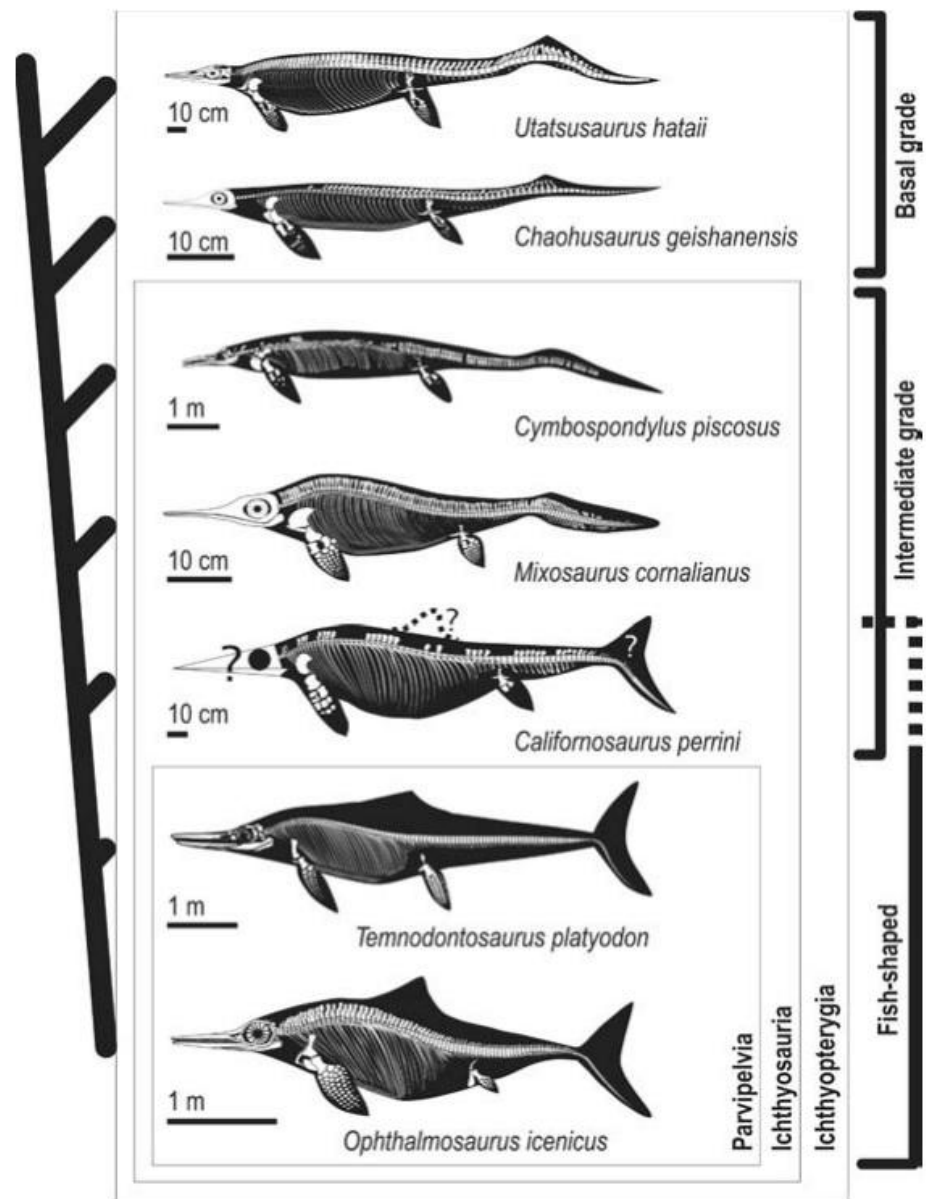
Morfologia trzonów kręgów ichtiozaurów



Brusatte et al., 2015

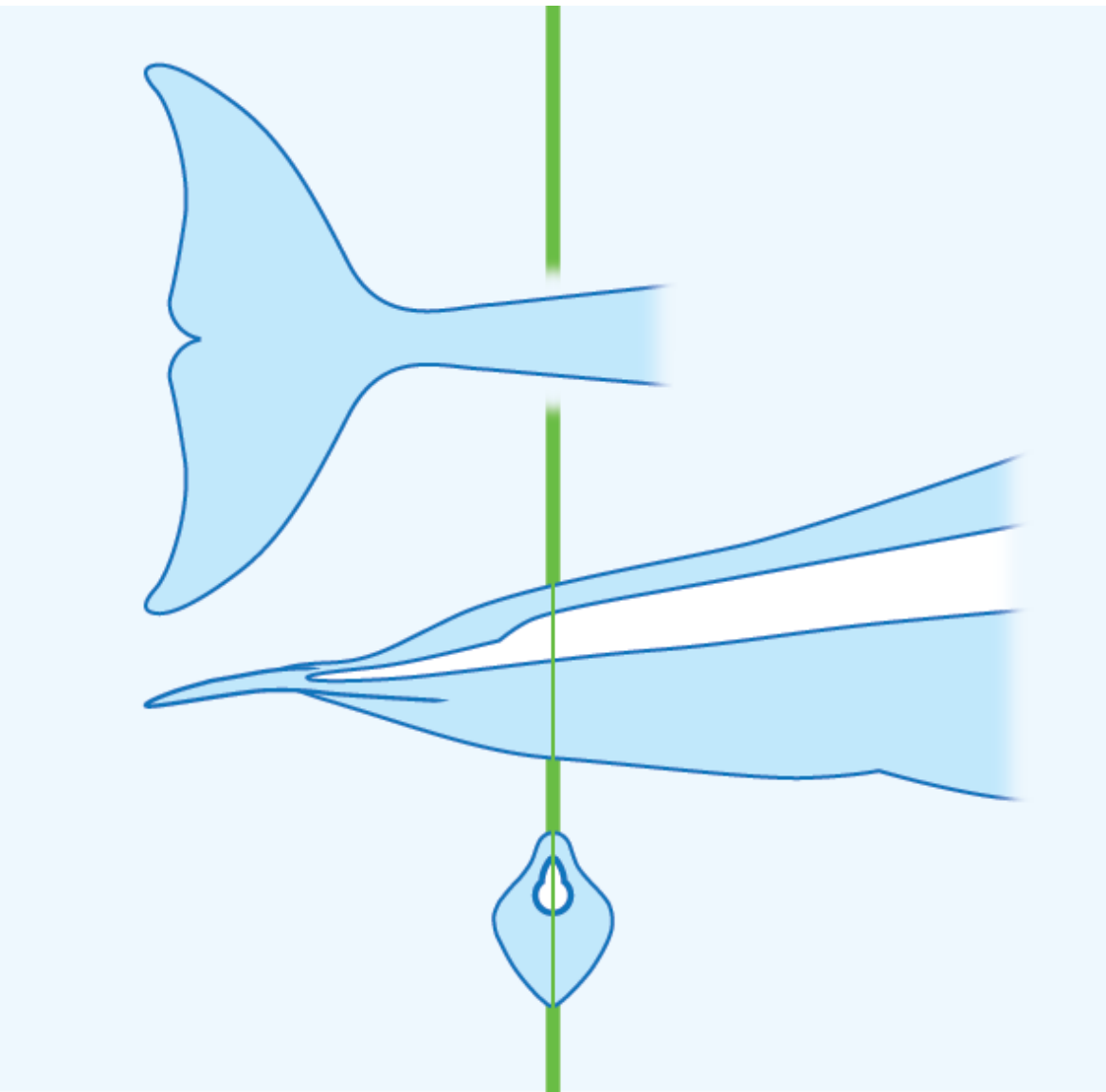


Tyborowski, 2016



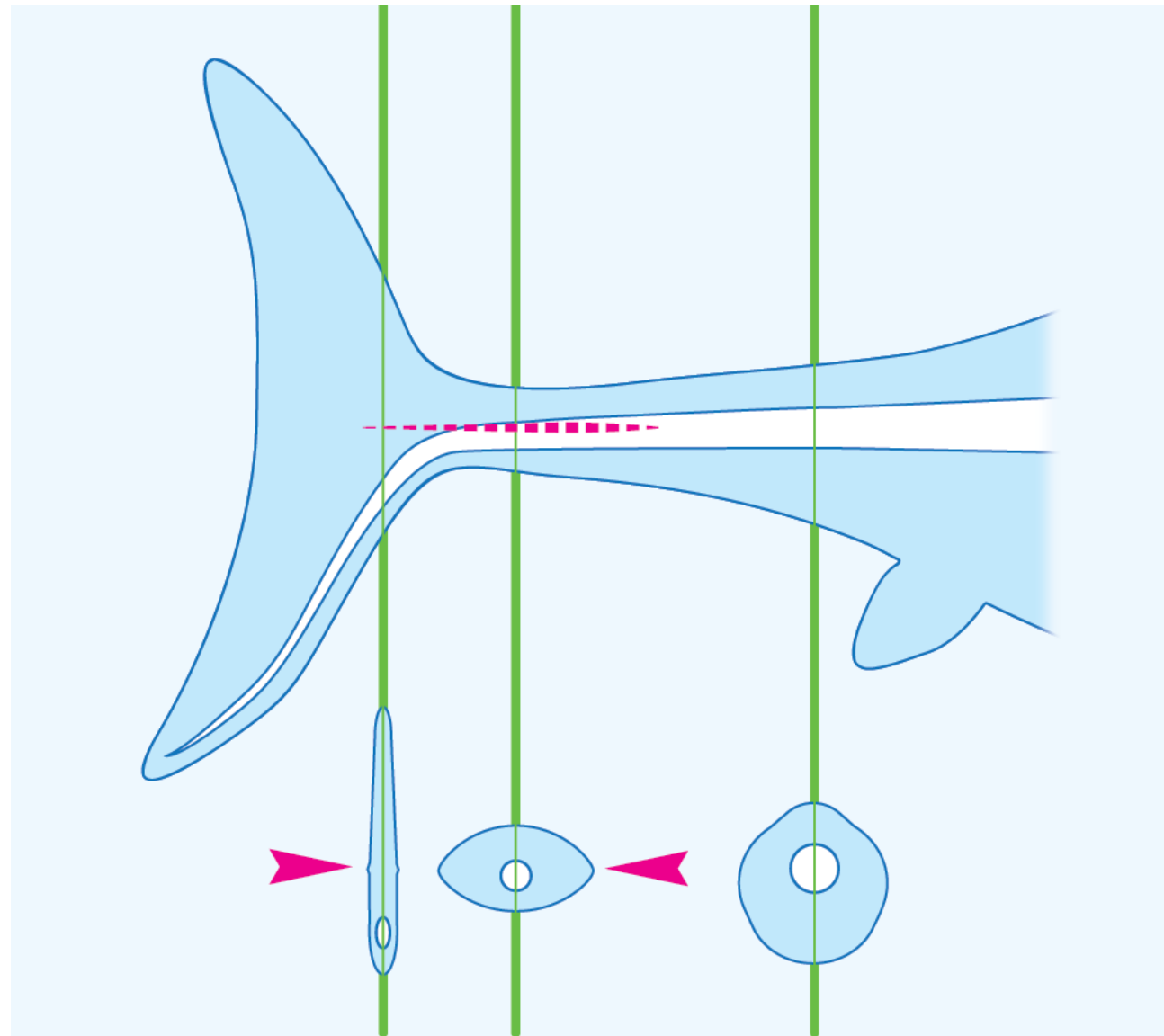
Płetwa ogonowa ichtiozaura

<http://pteroformer.blogspot.com/2018/05/are-we-shrink-wrapping-ichthyosaur-tails.html>



Płetwa ogonowa walenia

<http://pteroformer.blogspot.com/2018/05/are-we-shrink-wrapping-ichthyosaur-tails.html>

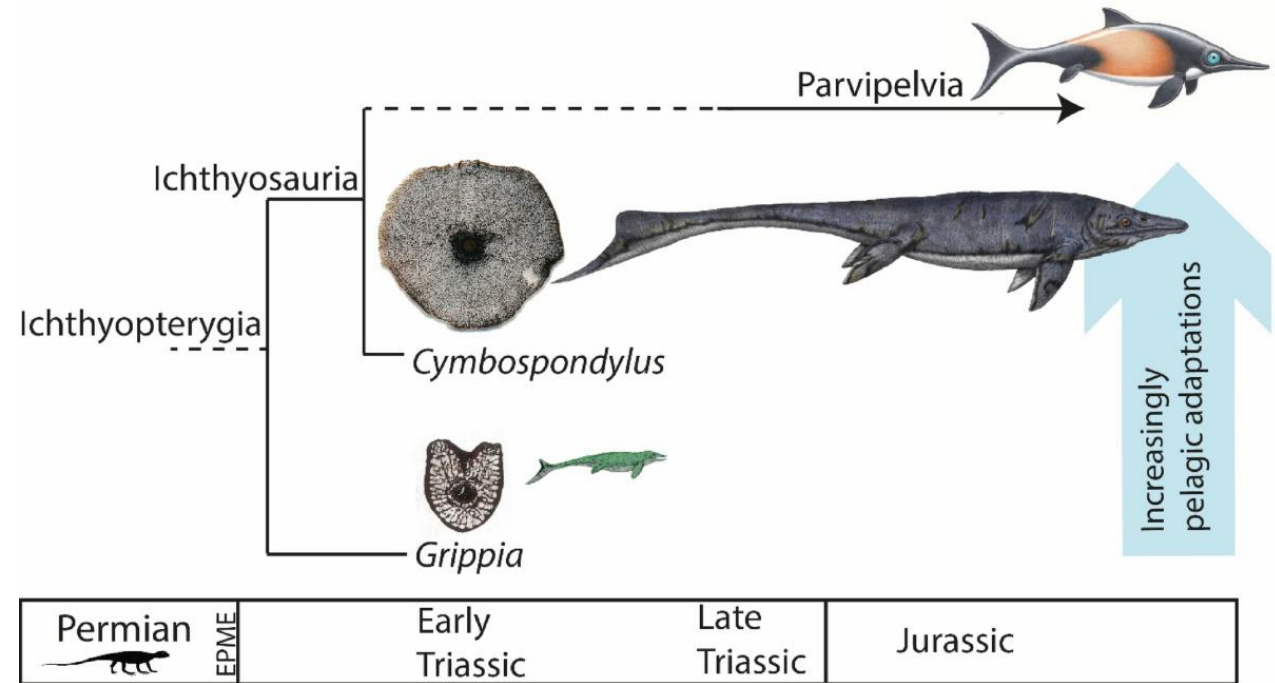


Płetwa ogonowa ichtiozaura

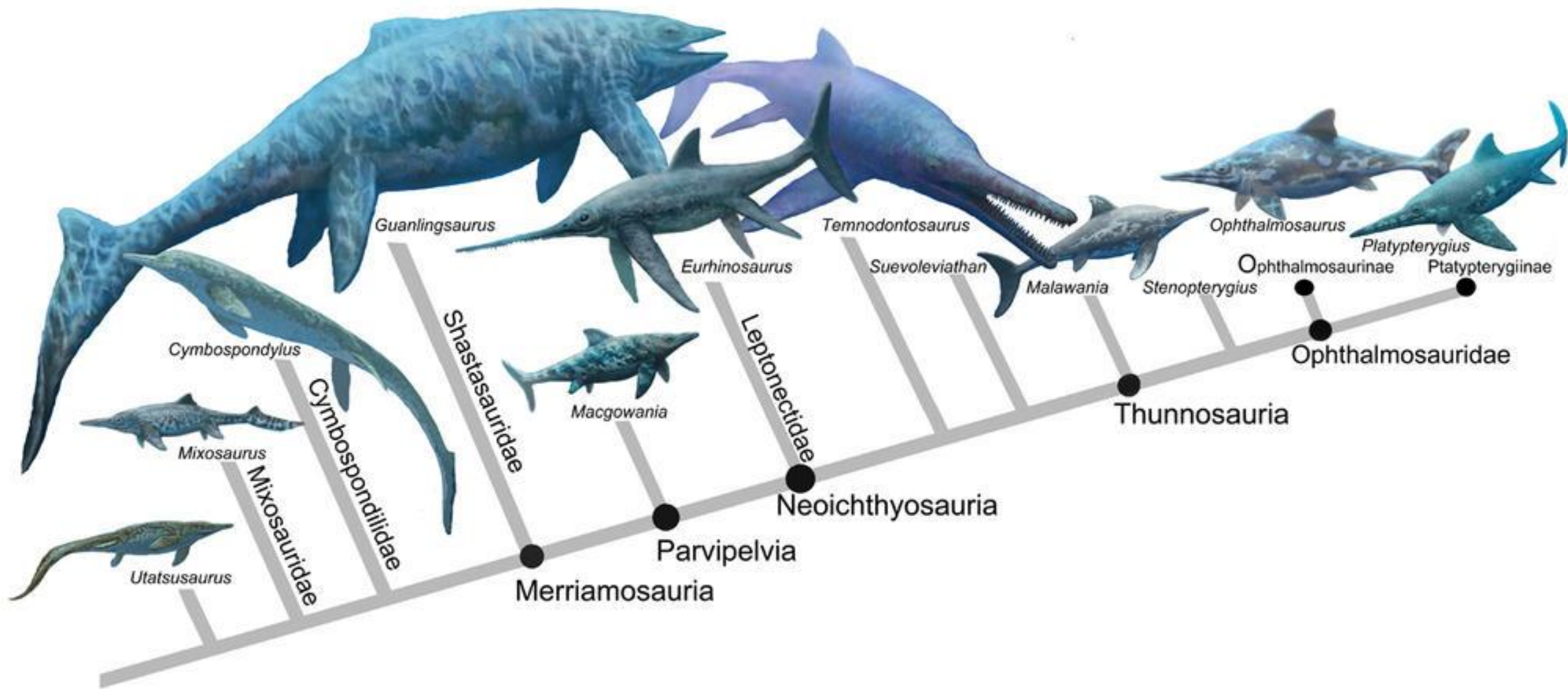
<http://pteroformer.blogspot.com/2018/05/are-we-shrink-wrapping-ichthyosaur-tails.html>

Fazy ewolucji ichtiozaurów

- 1. Faza archaiczna wczesnego triasu → **Grippida** i ich pobratymcy; formy niewielkie o stosunkowo **długich kościach kończyn**.
- 2. Faza dynamicznej ewolucji dużych drapieżników → **Cymbospondylidae** i **Shastasauridae**; wydłużenie szczęk; powiększenie i wydłużenie płetw; faza ta rozciągnięta jest na cały trias.
- 3. Faza radiacji **Parvipelvia** → dominacja form o rybich kształtach; **hydrodynamiczne** adaptacje; redukcja pasa miednicowego i tylnych płetw; **ekspansja w pelagicznych środowiskach**; od początku jury do początków wczesnej kredy (cenoman).

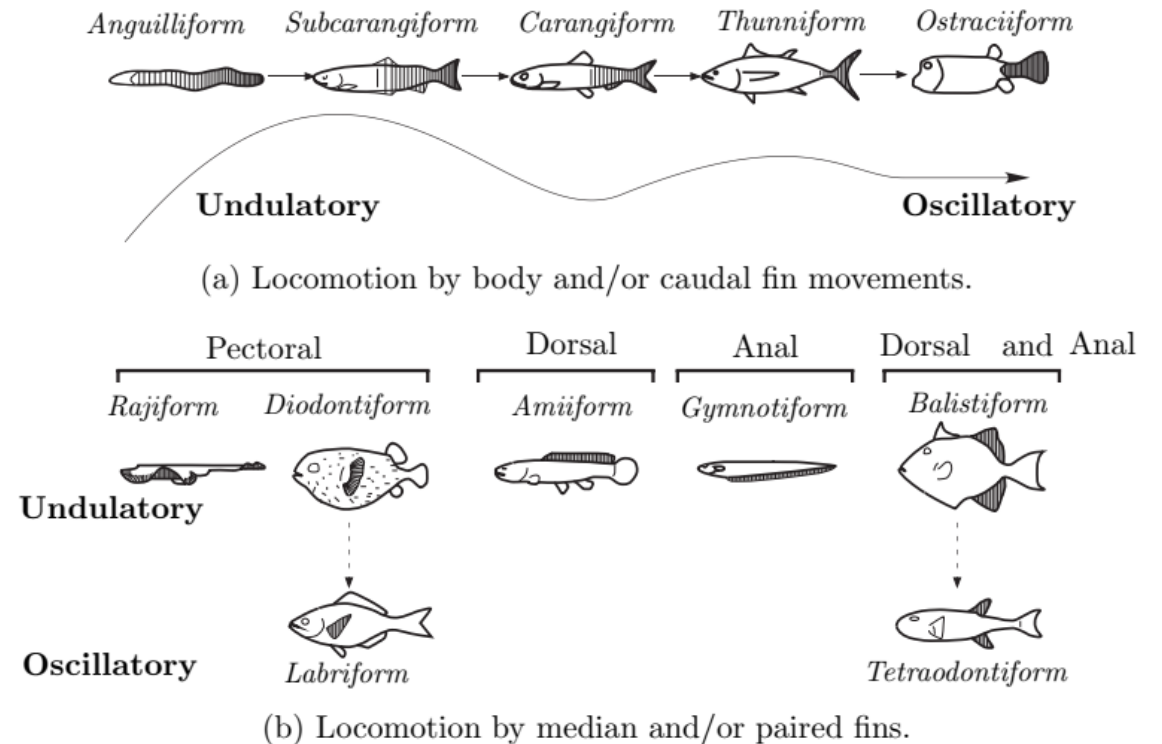


Delsett et al., 2025



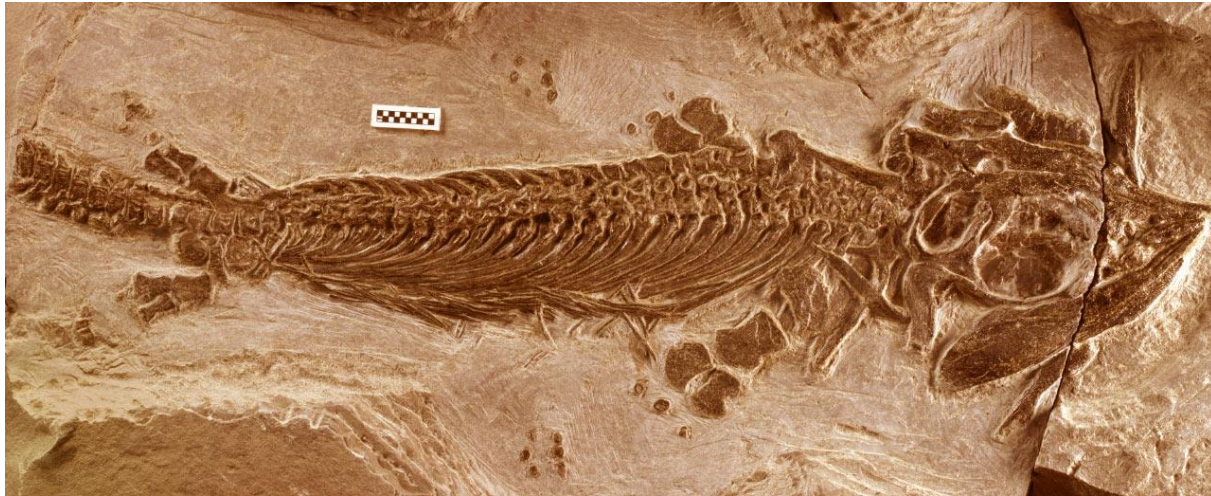
Ewolucja biomechaniki w morzach

- Przejście z undulacji na oscylację jest nieuniknione przy ekspansji ze strefy litoralnej do pelagicznej.
- Zwiększona wydajność energetyczna umożliwia ewolucję form rozwijających duże prędkości.
- Konwergencja to kompromis pochodzenia ewolucyjnego i praw fizyki.

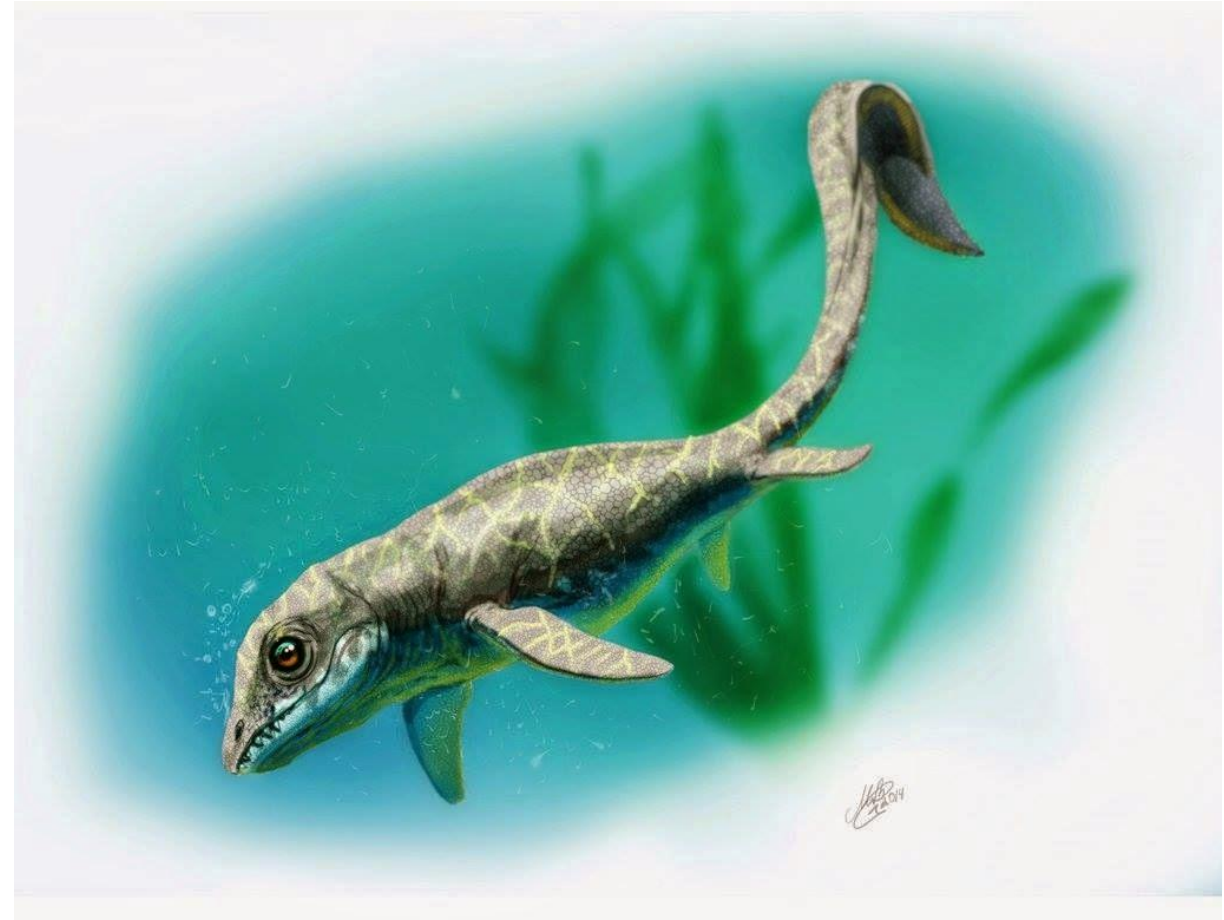


Vatanabe et al., 2008

Pochodzenie ichtiozaurów

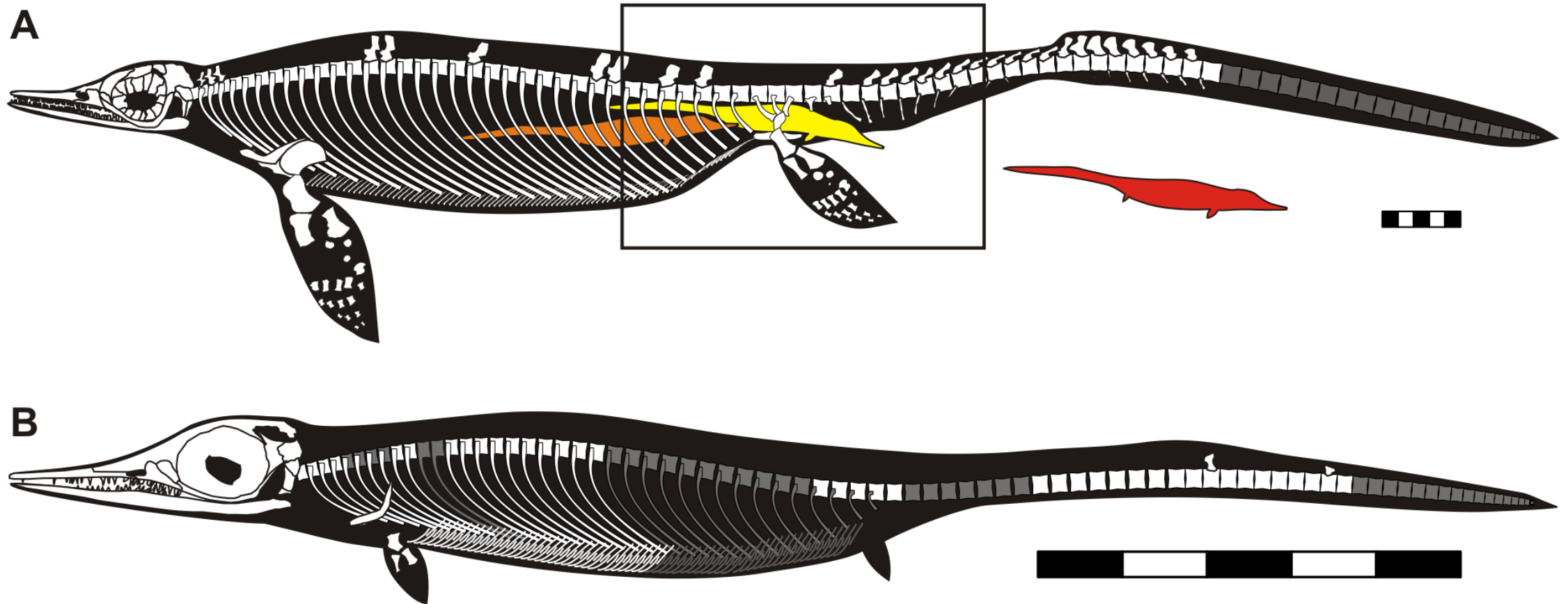


Szkielet *Cartorhynchus lenticarpus*
Motani et al., 2014



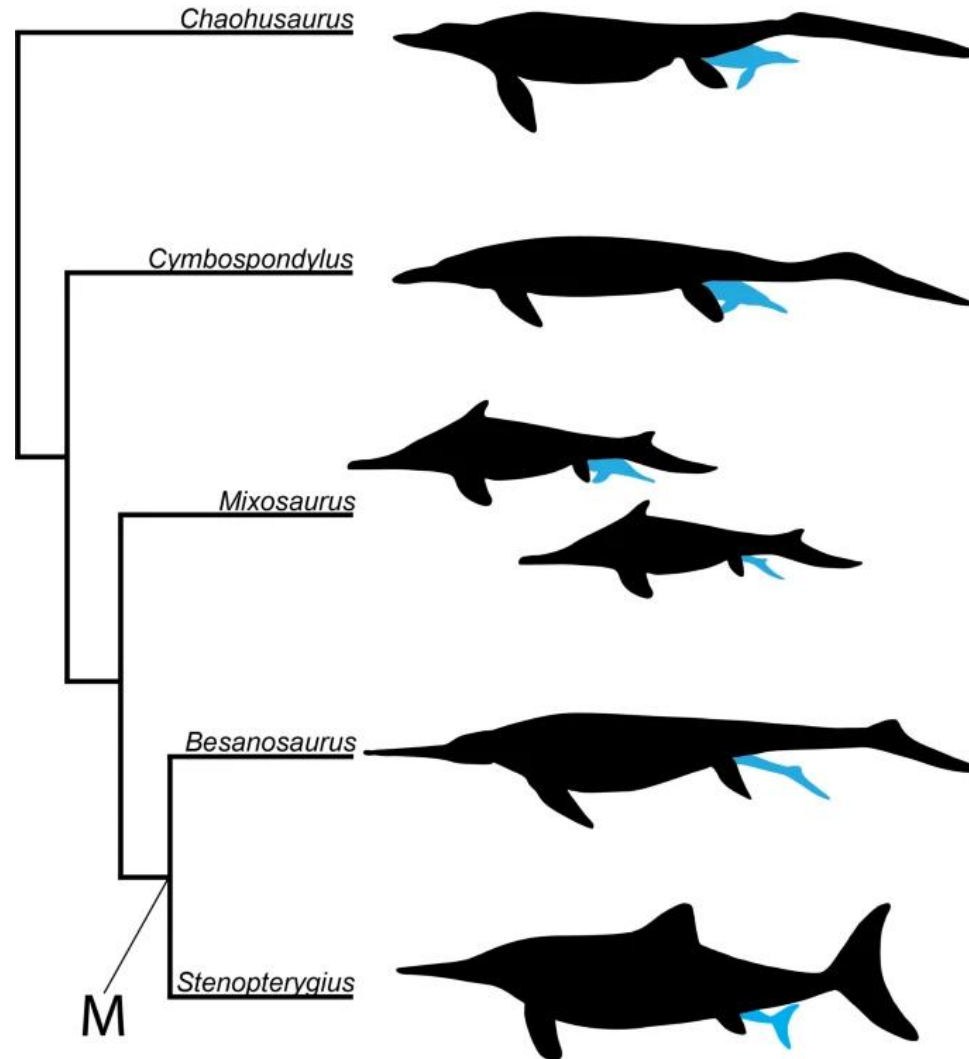
Rekonstrukcja Vitaliy Melnik

Żyworodne już od triasu



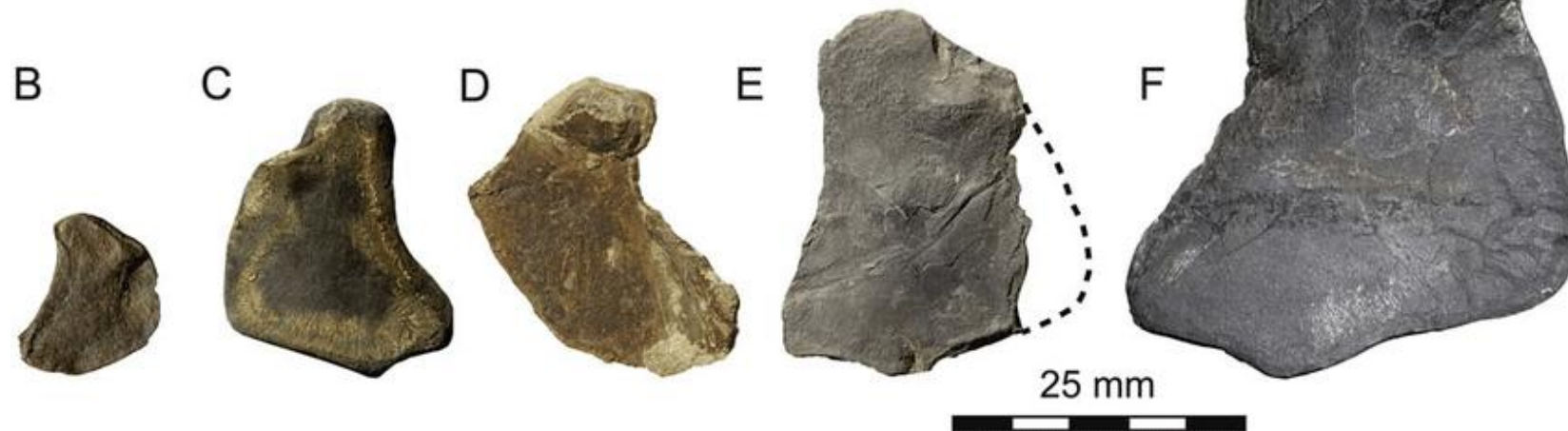
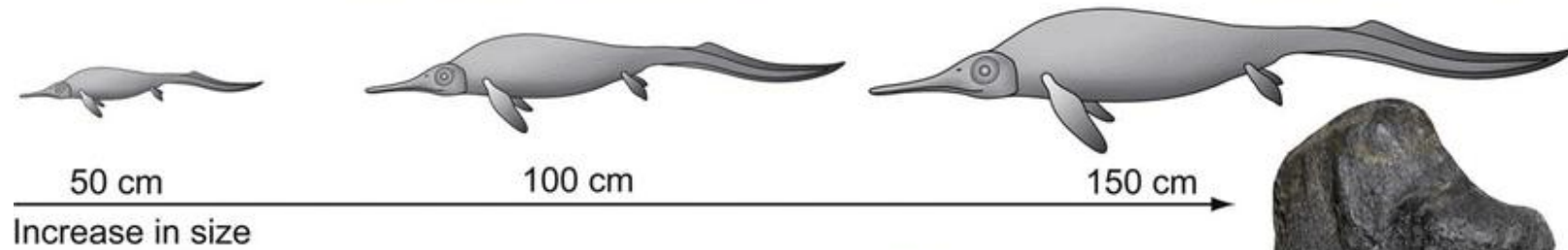
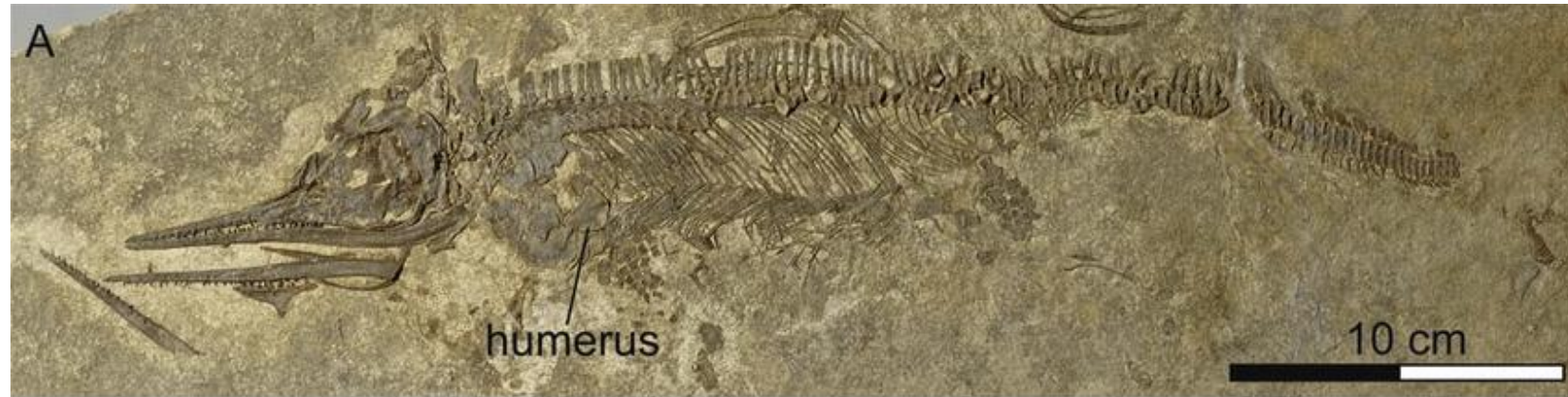
Motani et al., 2014

Ewolucja żyworodności

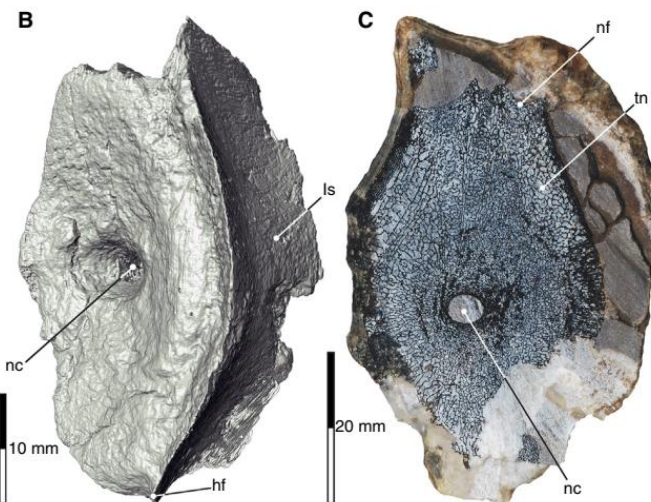
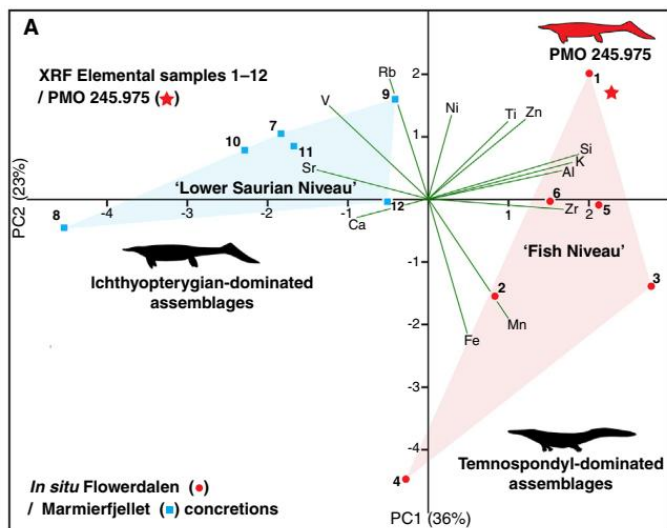


Miedema et al., 2023

Mixosaurus



Paleontologiczny zwrot akcji!

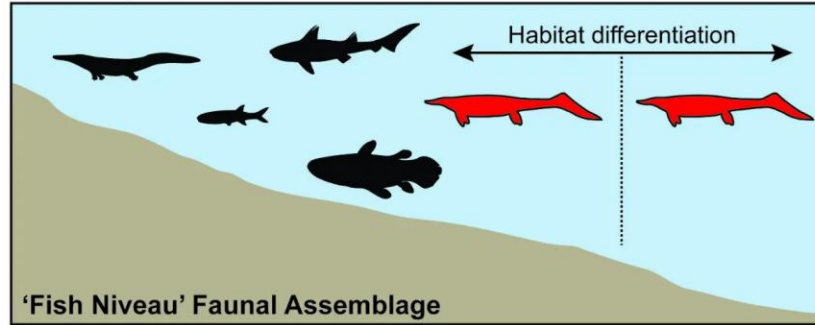


Kear et al., 2023

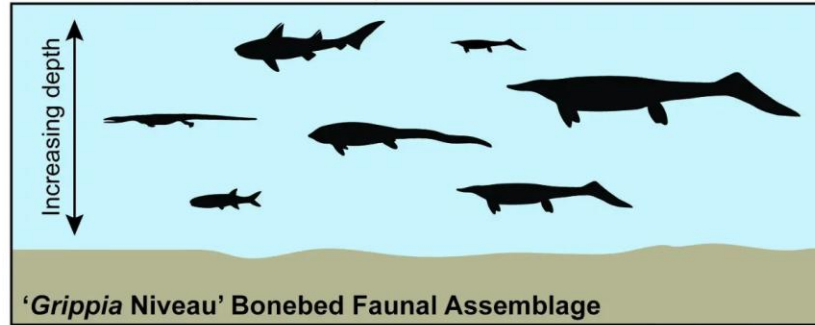


Ryc. Esther van Hulsen

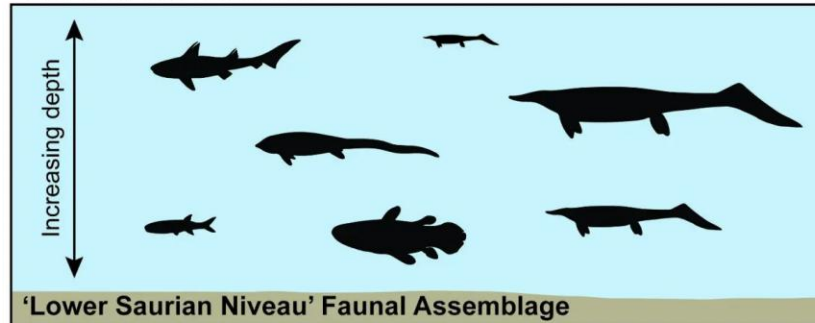
~250 Ma, middle to late Smithian



~248 Ma, early to middle Spathian



~247 Ma, late Spathian



Early Triassic (middle to late Olenekian)



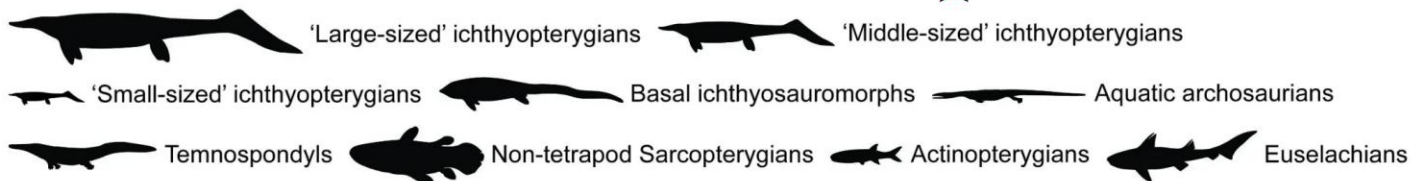
Oceanic dispersal



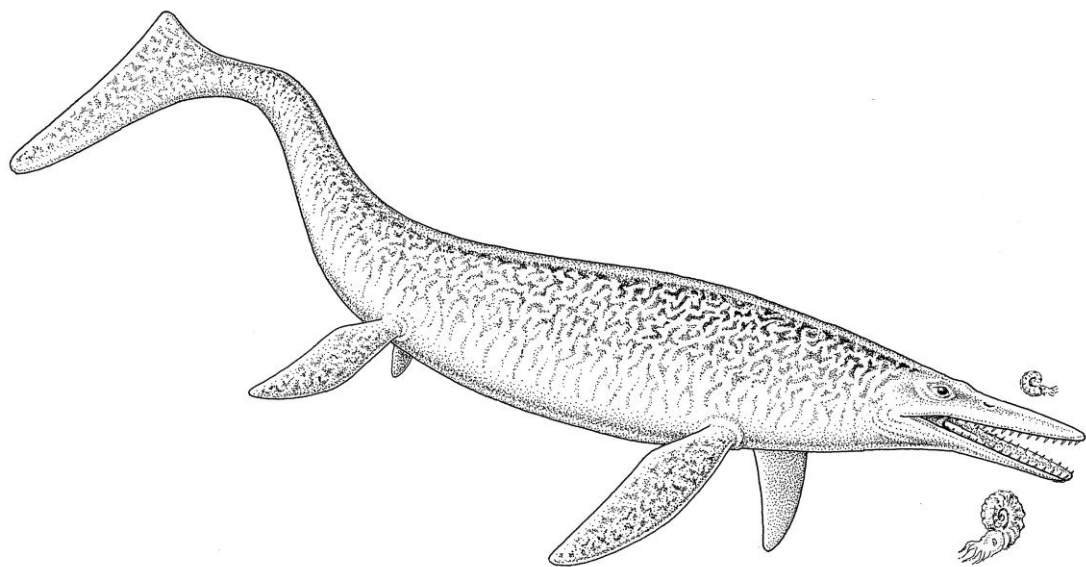
Oceanic dispersal



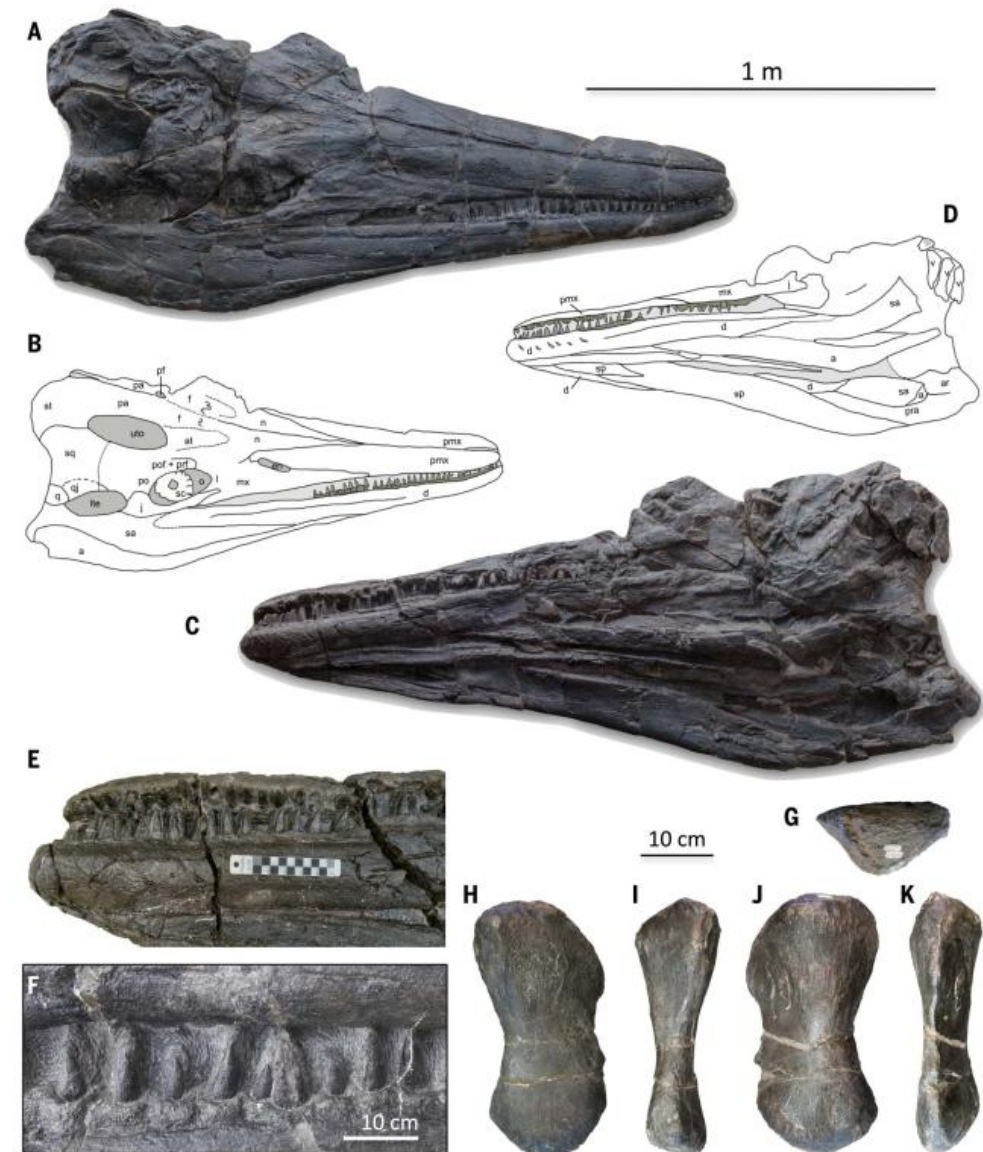
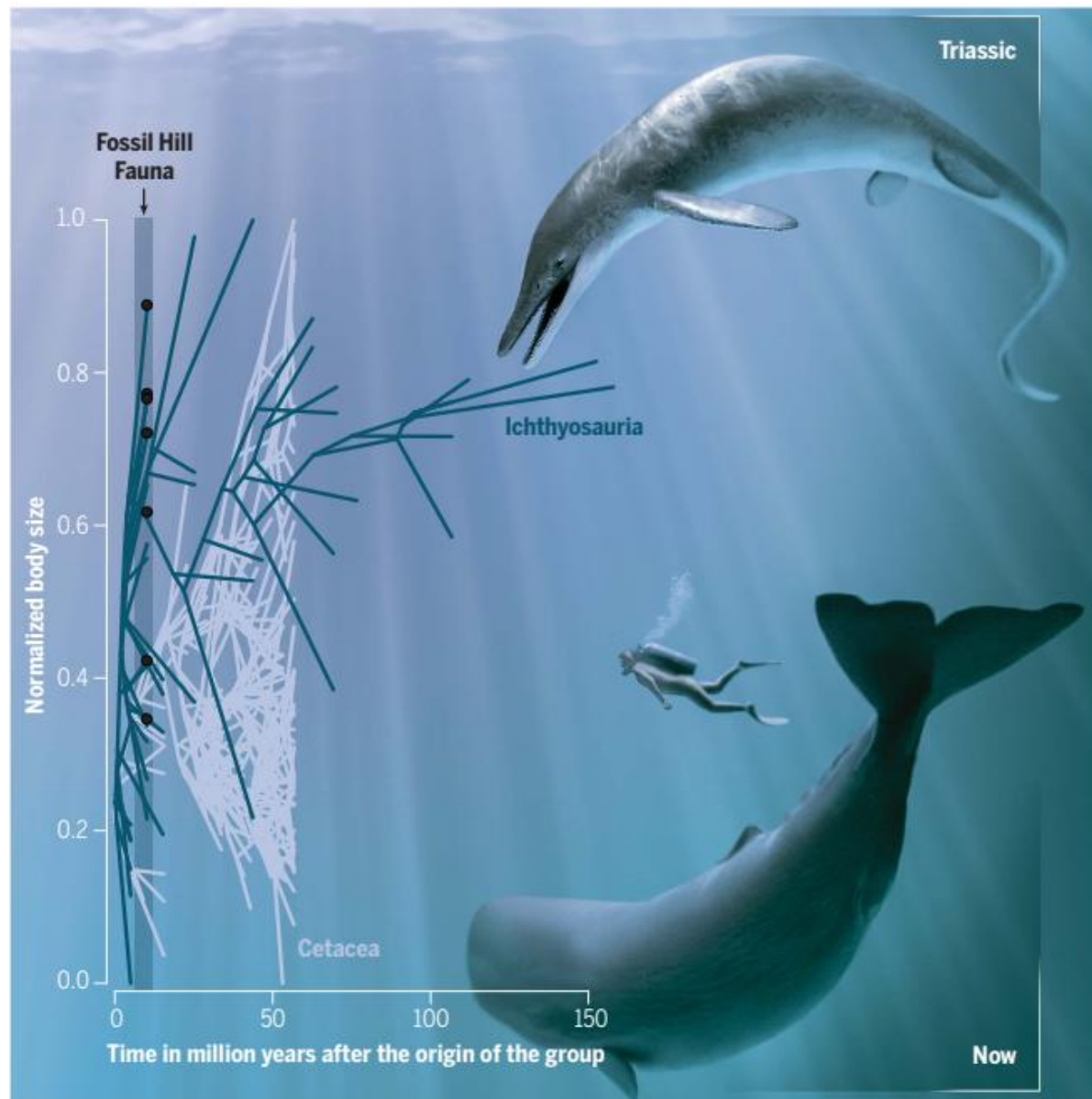
★ Ichthyosauromorph occurrences



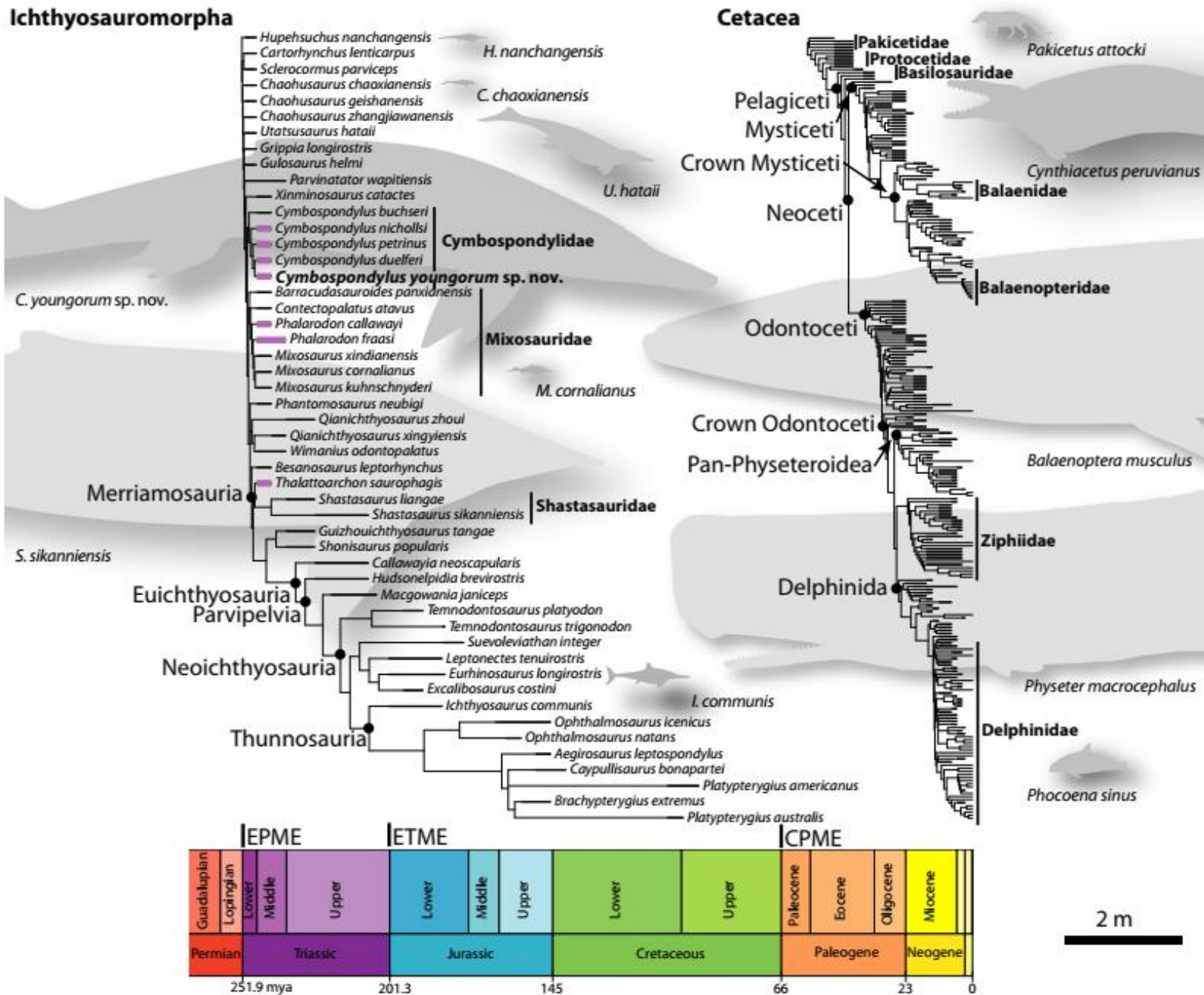
Cymbospondylus i narodziny morskich gigantów



Sander et al., 2021



Sander et al., 2021



Holzmaden – wczesnojurajskie cmentarzysko gadów morskich



Wykopalka paleontologiczne w Holzmaden

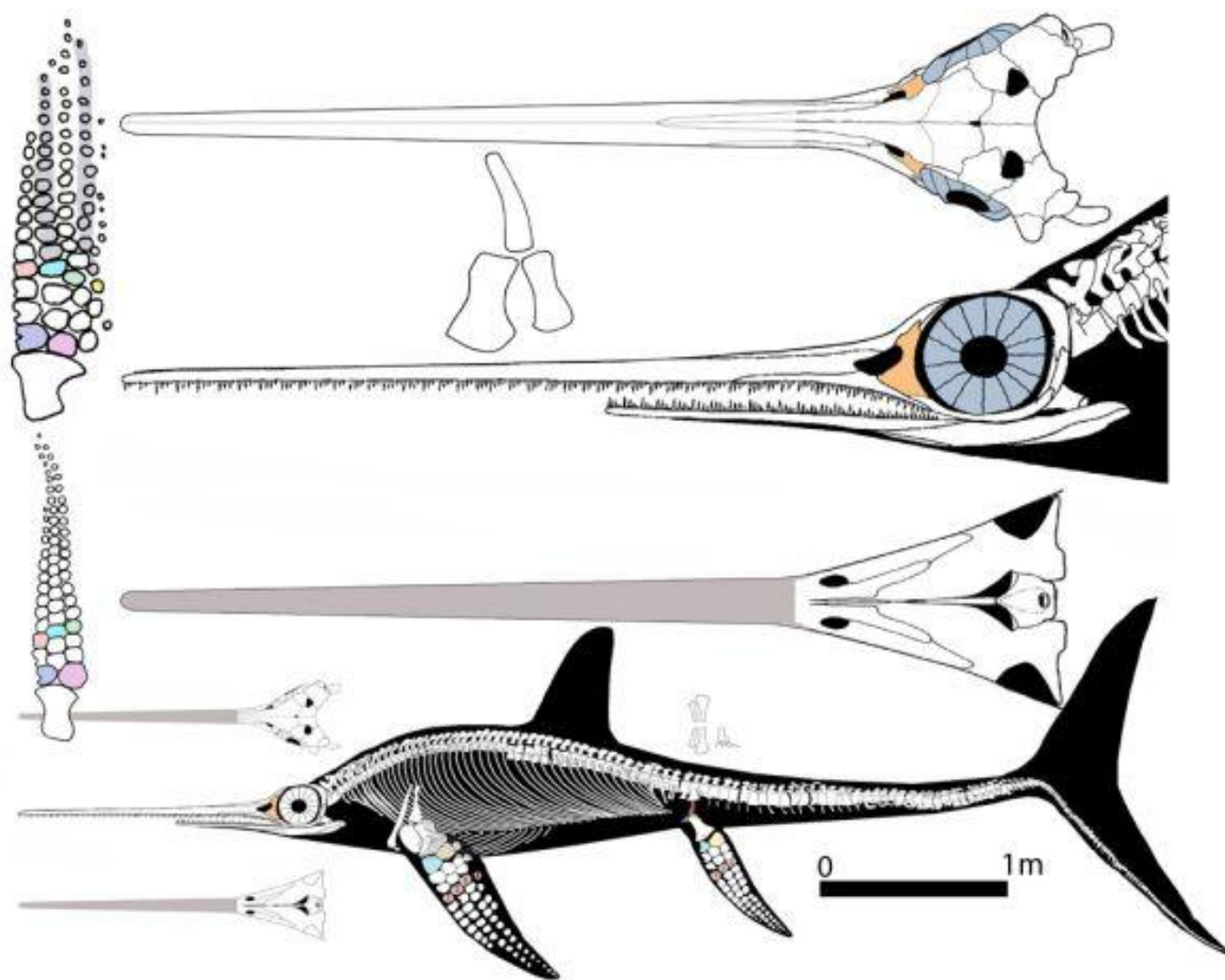
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holzmaden,auf_der_Suche_nach_Fossilien_-_panoramio.jpg



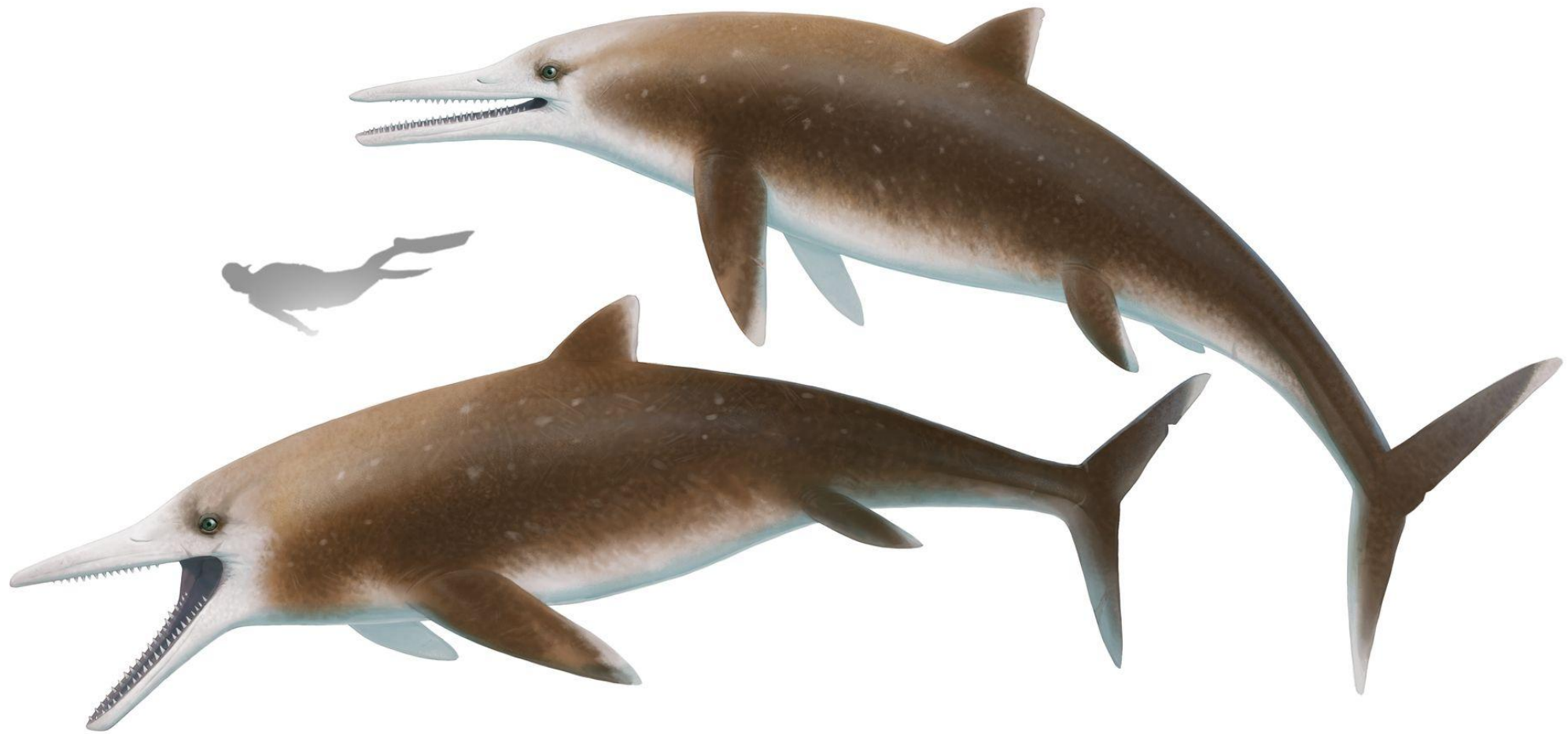
Ichthiozaury z rodzaju *Stenopterygius*

<https://en.wikipedia.org/wiki/Stenopterygius>

Eurhinosaurus – jurański włócznik

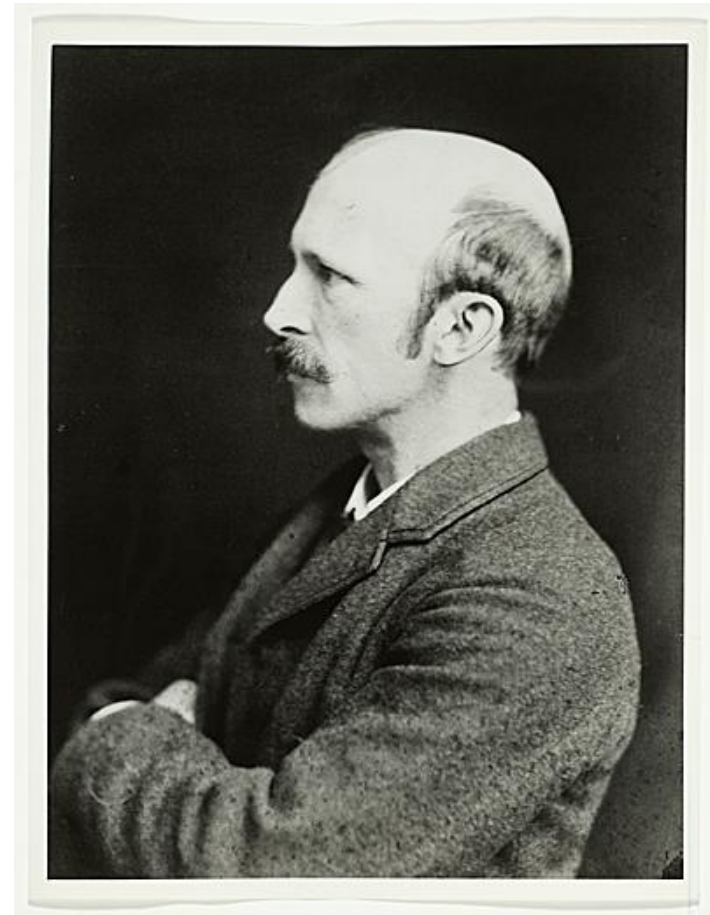


Temnodontosaurus – jurajska orka



Prawo Thayera i konwergencja melanistyczna

- Rozmieszczenie ciemnego i jasnego umaszczenia na ciele organizmów jest odwrotne względem kierunku padania światła w danym środowisku.
- Przeciwcień jest formą adaptacji do rozmaitych typów środowisk.
- Liczne zastosowania militarne.

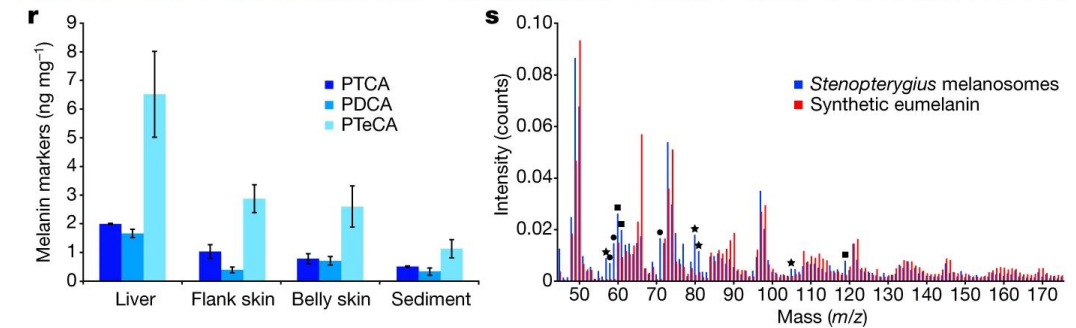
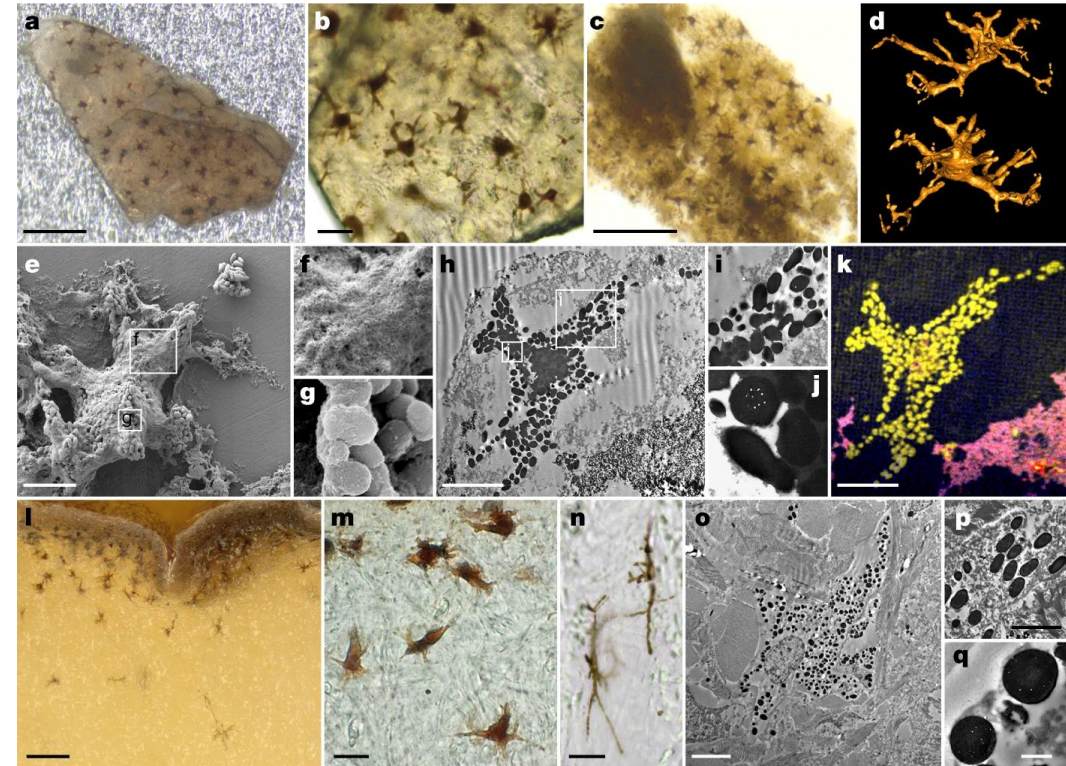
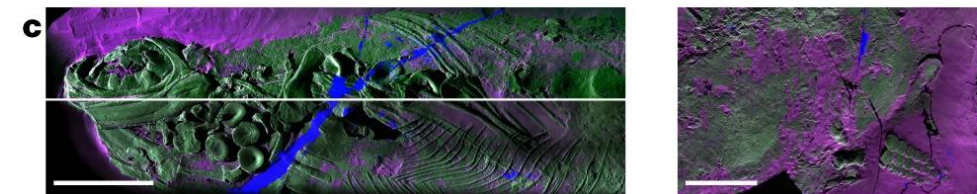
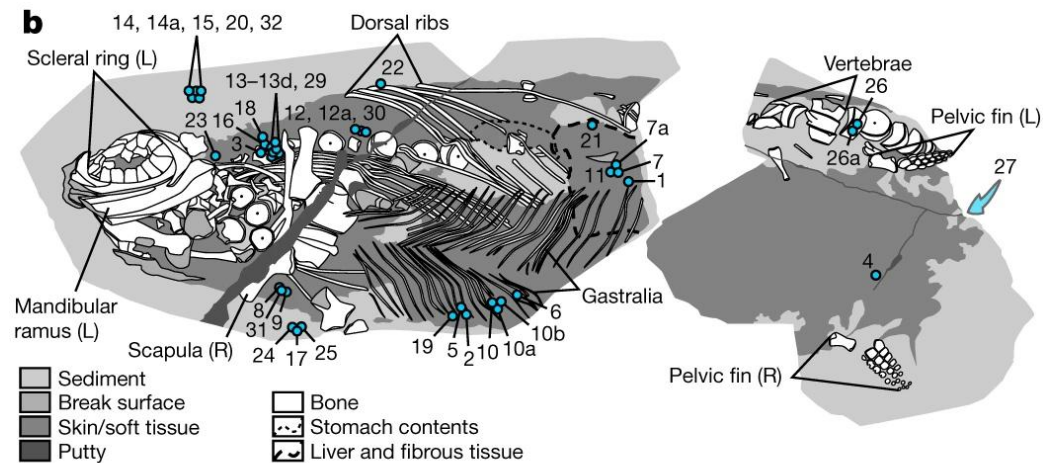
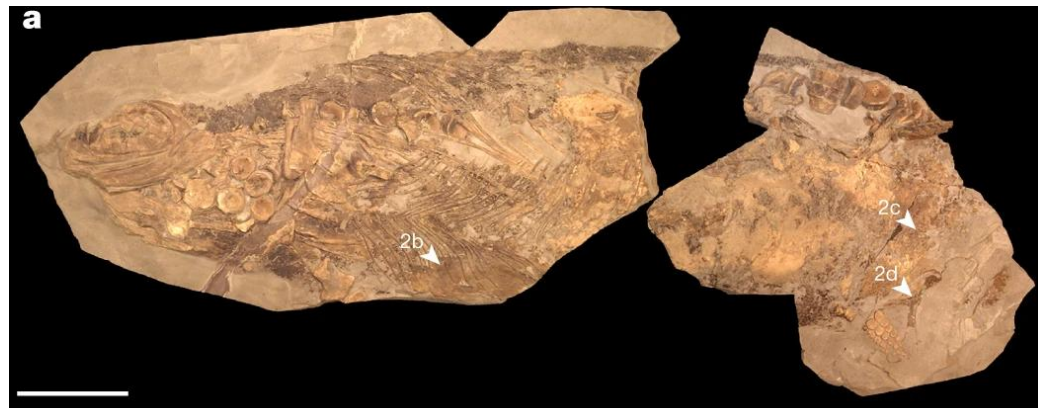


Abbott Handerson Thayer
1849 - 1921

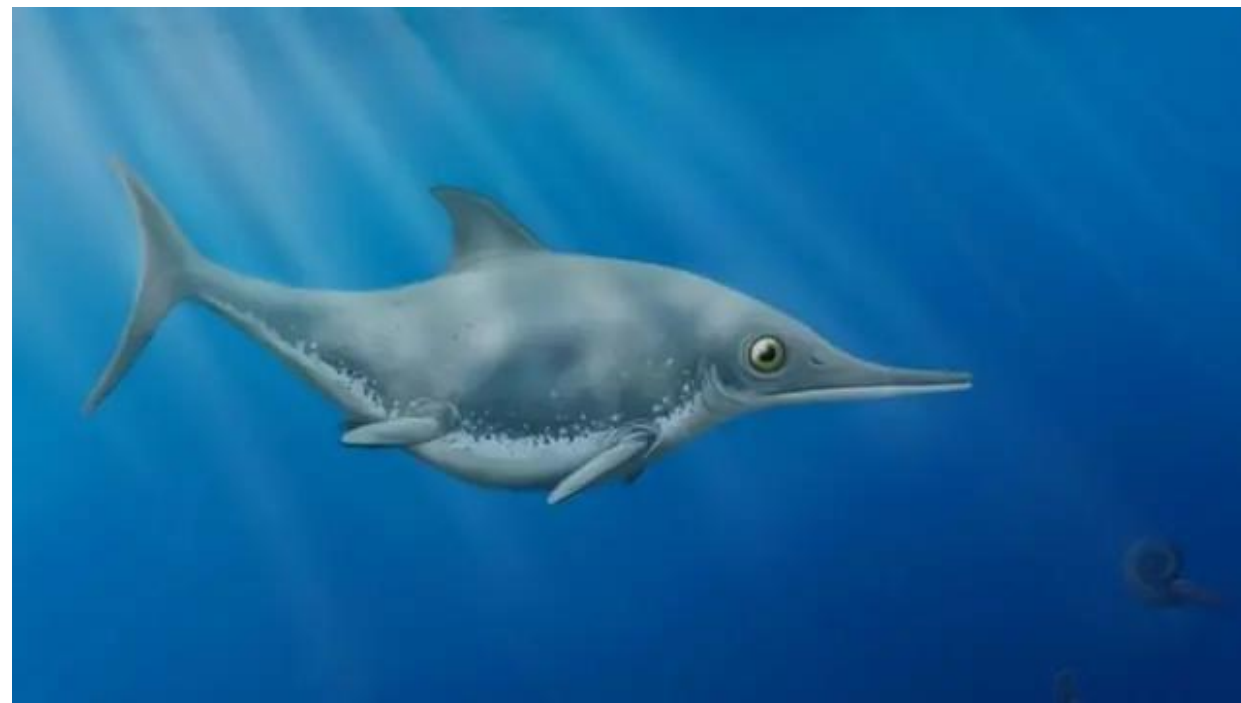
Przeciwnieć w środowiskach morskich



Przeciwcień u ichtiozaurów

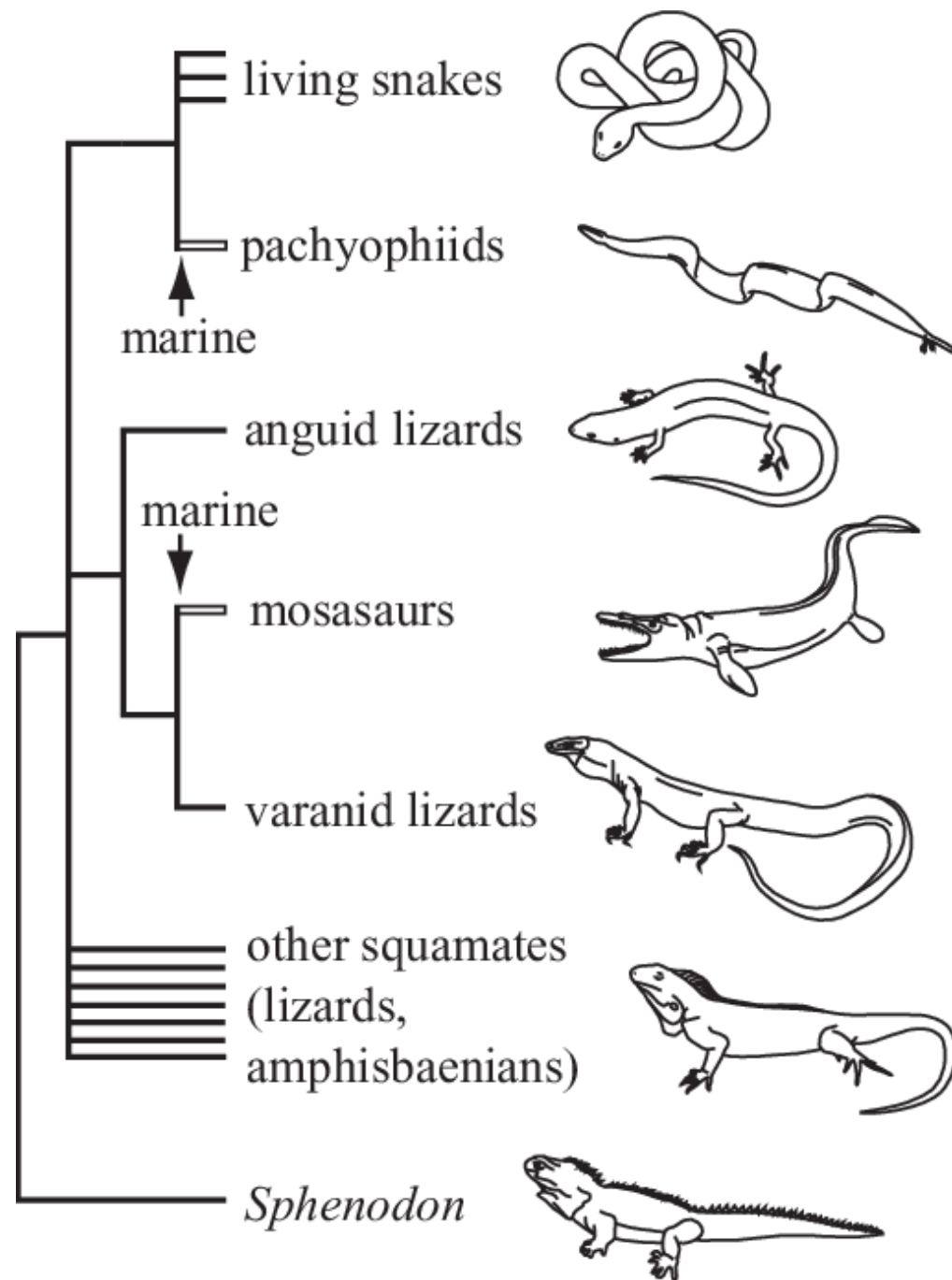


Prawo Thayera to przykład konwergencji



Mozazaury – morskie warany







Czaszka mozazaura vs czaszka warana



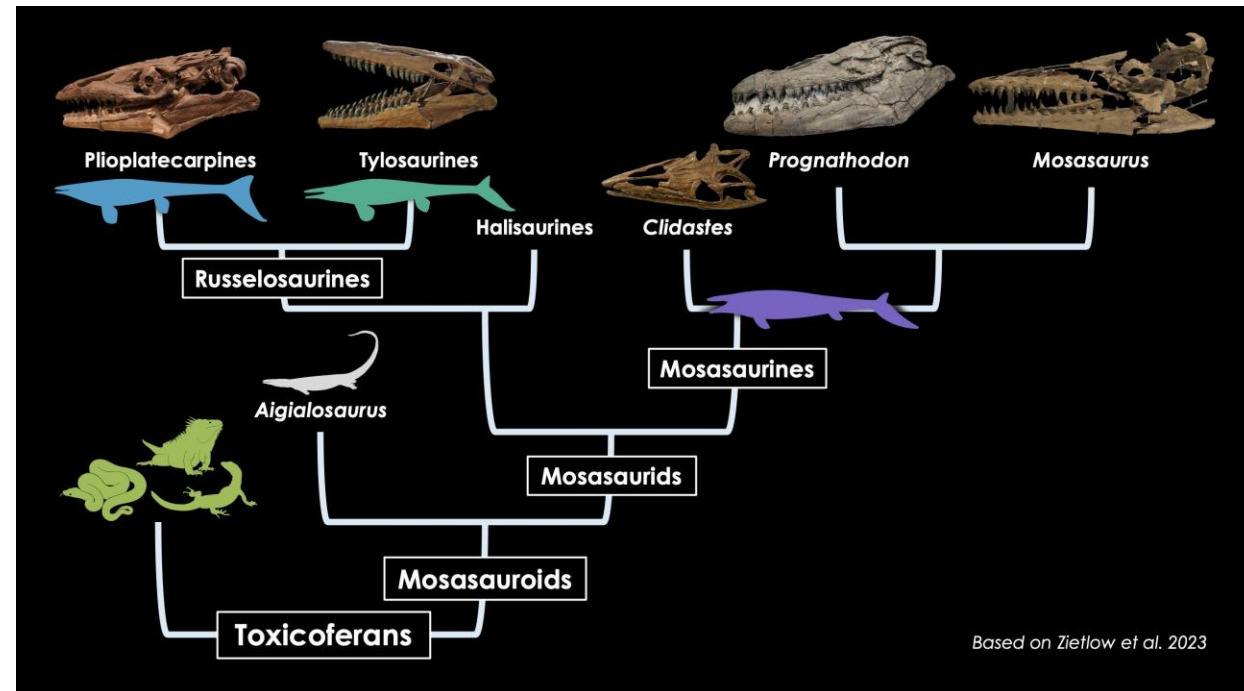
<http://www.extravaganzi.com/wp-content/uploads/2012/05/American-Mosasaur-skull-Tylosaurus-kansasensis.jpg>



<https://images.fineartamerica.com/images-medium-large-5/komodo-dragon-skull-millard-h-sharp.jpg>

Fazy ewolucji mozazaurów

- 1. Faza pierwotnych **pytonomorfów**
→ transformacja form lądowych w wodne; niewielkie **Dolichosauridae** i **Aigialosauridae**.
- 2. Faza **ewolucji iteratywnej** (równoległa dywersyfikacja) mozazaurydów → niezależne przejście *plesiopedal* > *hydropedal* u:
 - **Russellosaurina**
 - **Mosasaaurinae**



THE SEA DRAGONS

Mosasaurs were a group of lizards that returned to the sea to become apex predators. They replaced many iconic sea monsters in their conquest of the Cretaceous oceans. The animals represented here are not to scale and don't represent a direct line of descent, but rather plausible models for how this amazing transition happened.

Aigialisaurus dalmaticus

100-93 mya • Croatia



Dallasaurus turneri

92 mya • USA



Yaguarasaurus columbianus

90 mya • Colombia



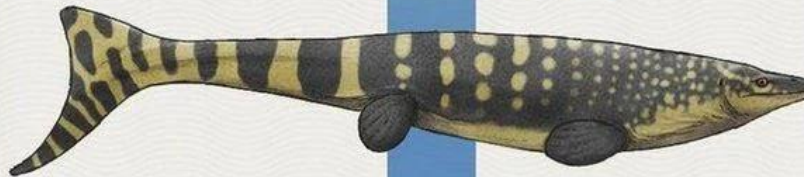
Halisaurus platyspondylus

70-66 mya • USA



Platecarpus tympanicus

84-81 mya • USA / Canada



Plotosaurus bennisoni

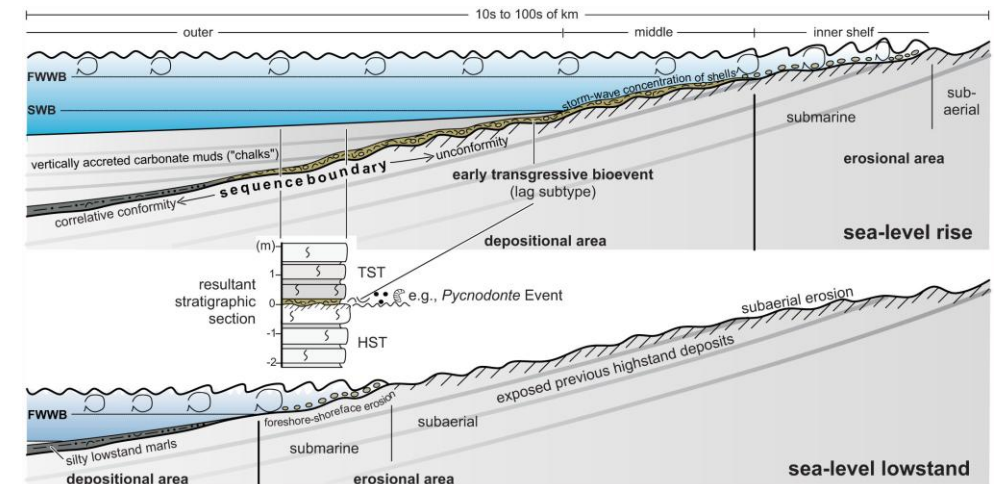
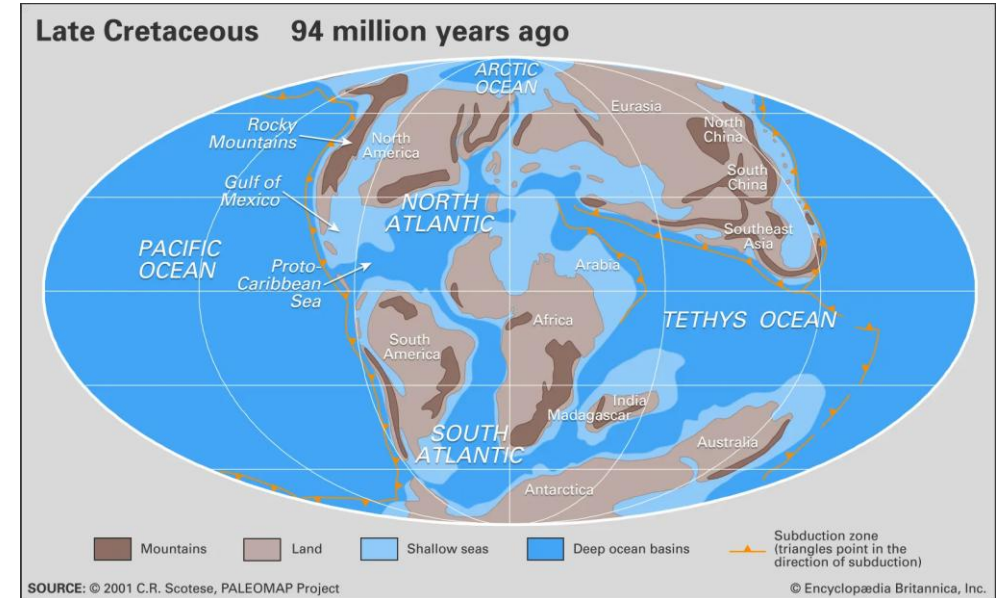
70 - 66 mya • USA



JULIO LACERDA

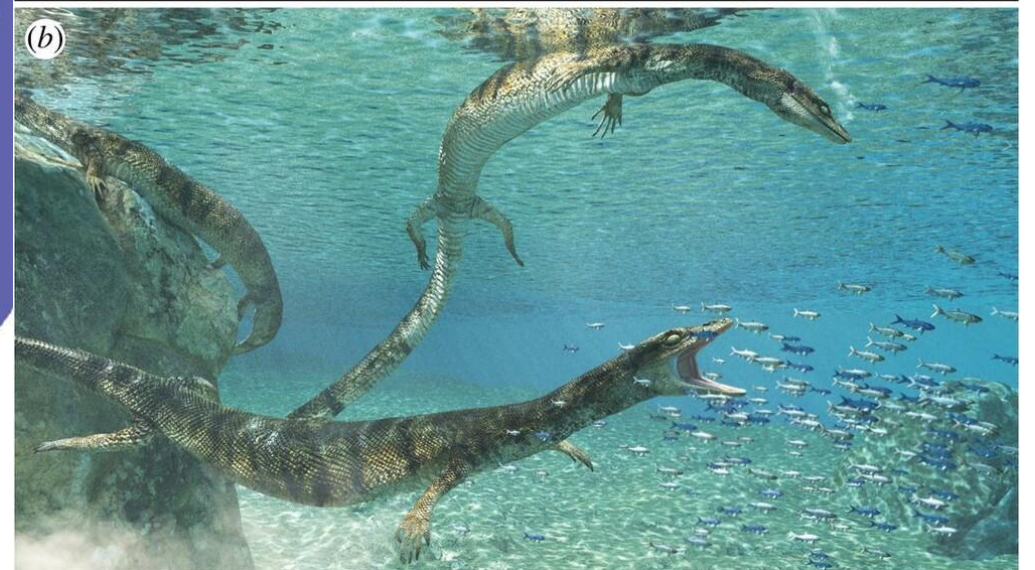
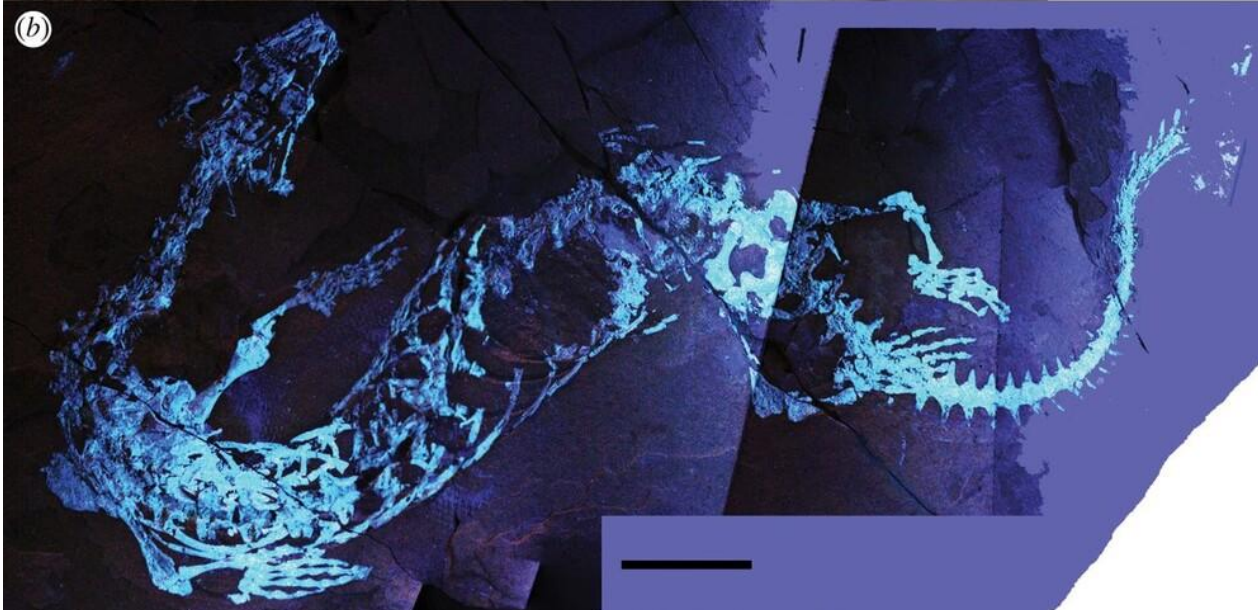
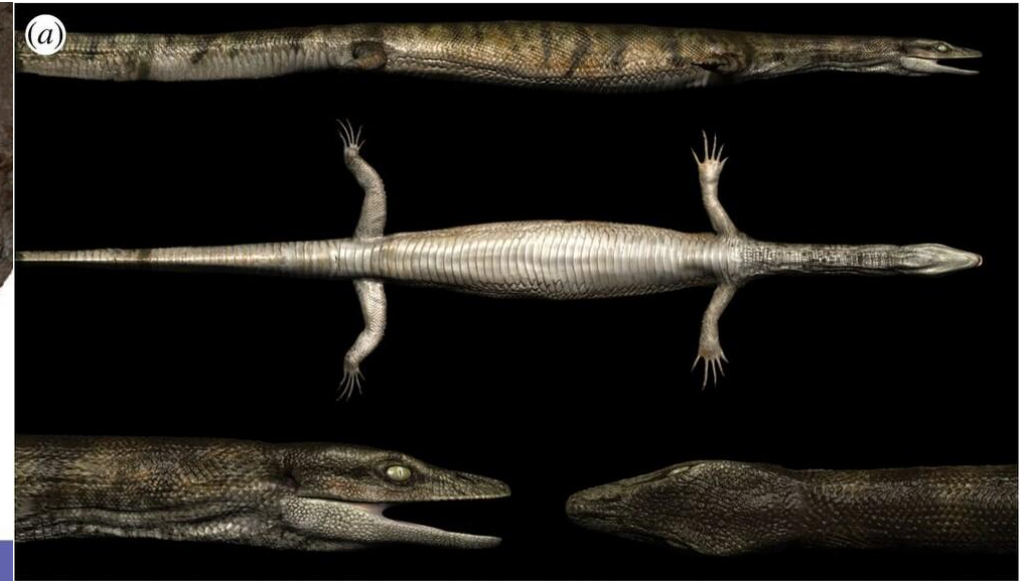
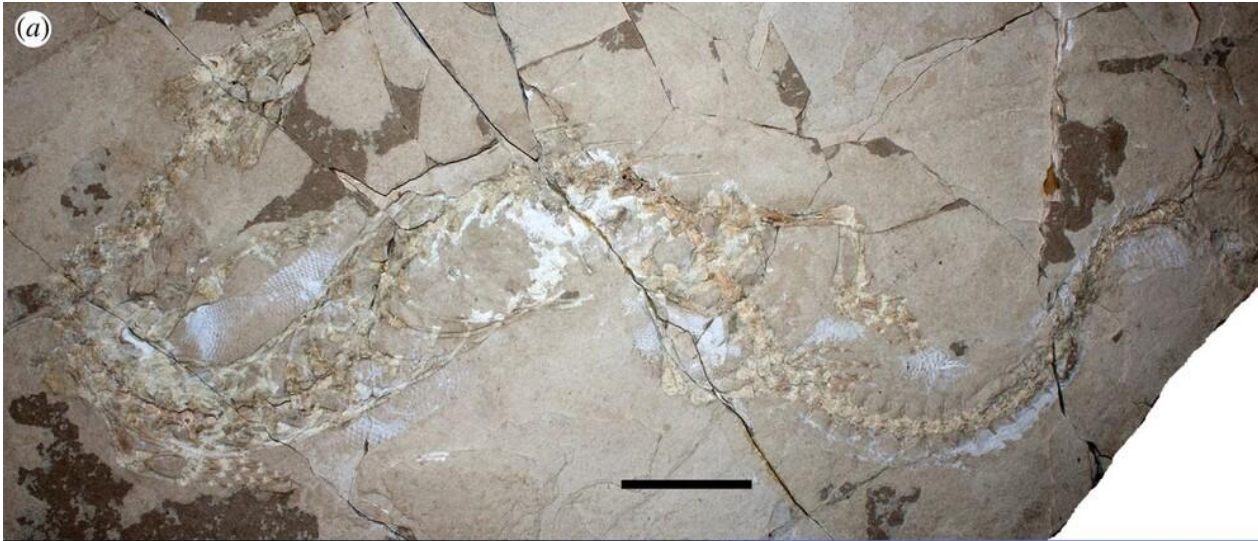
Środowiskowe uwarunkowania

- Poziom oceanu światowego w późnej kredzie najwyższy w dziejach!
- Płytkie i ciepłe morza sięgały daleko w głąb lądów.
- Wysokiemu poziomowi mórz towarzyszyły migracje i dynamiczne przemiany faun morskich.
- Ułatwione powstawanie cmentarzysk morskich kręgowców.



Wilmsen, 2012

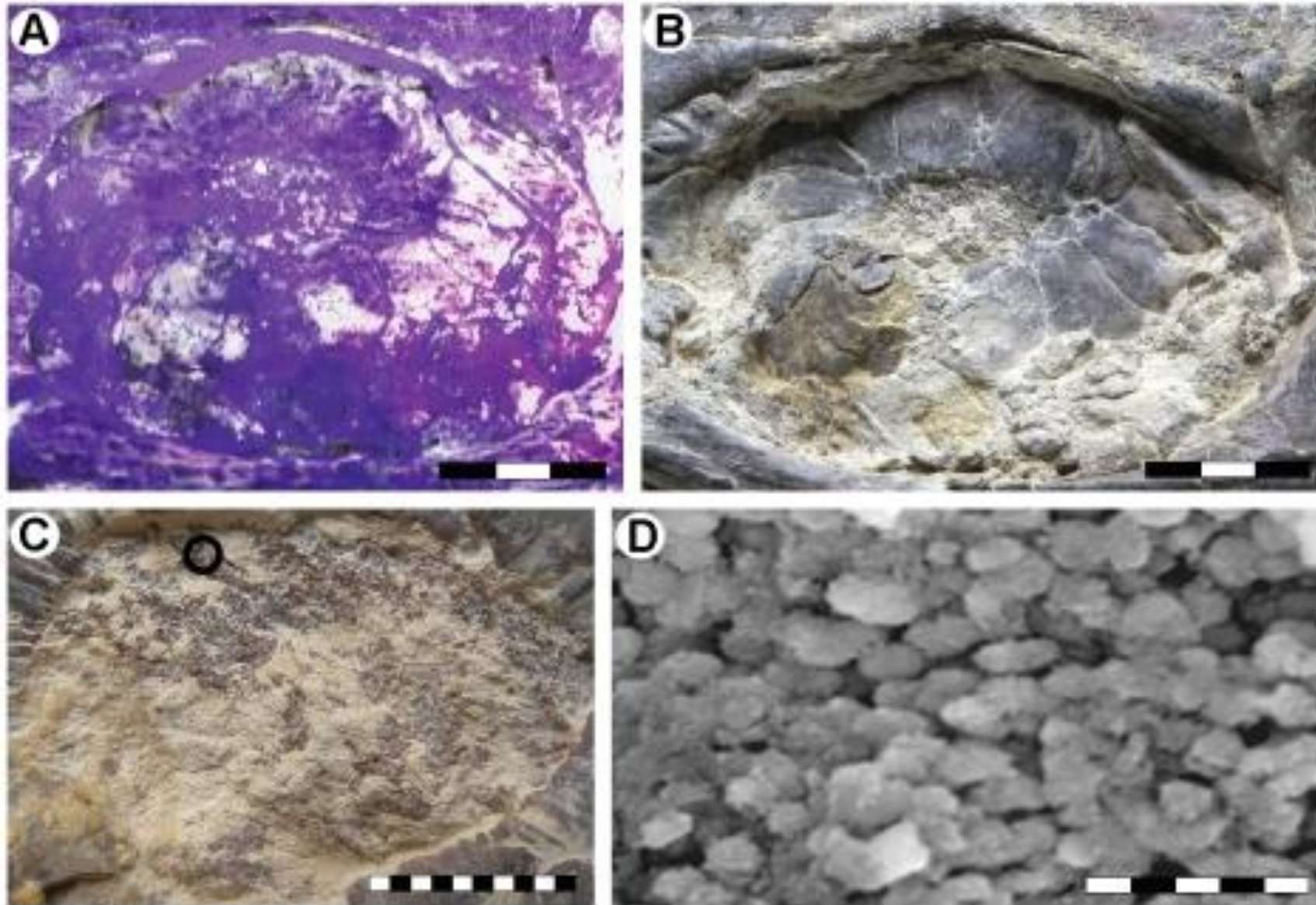
Primitivus – włoski prakuzyn

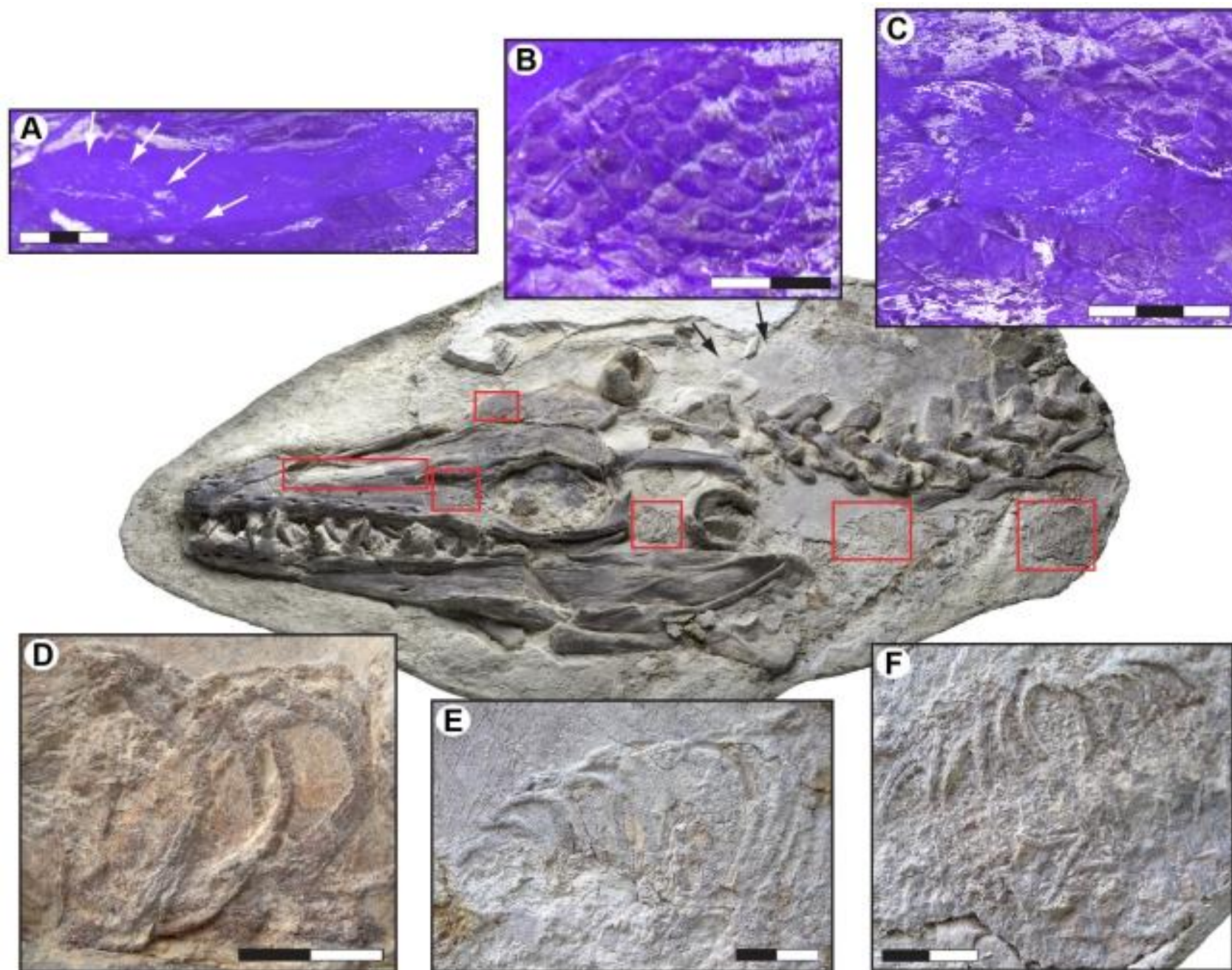


Platecarpus tympaniticus z przełomu santonu i kampanu w stanie Kansas, USA

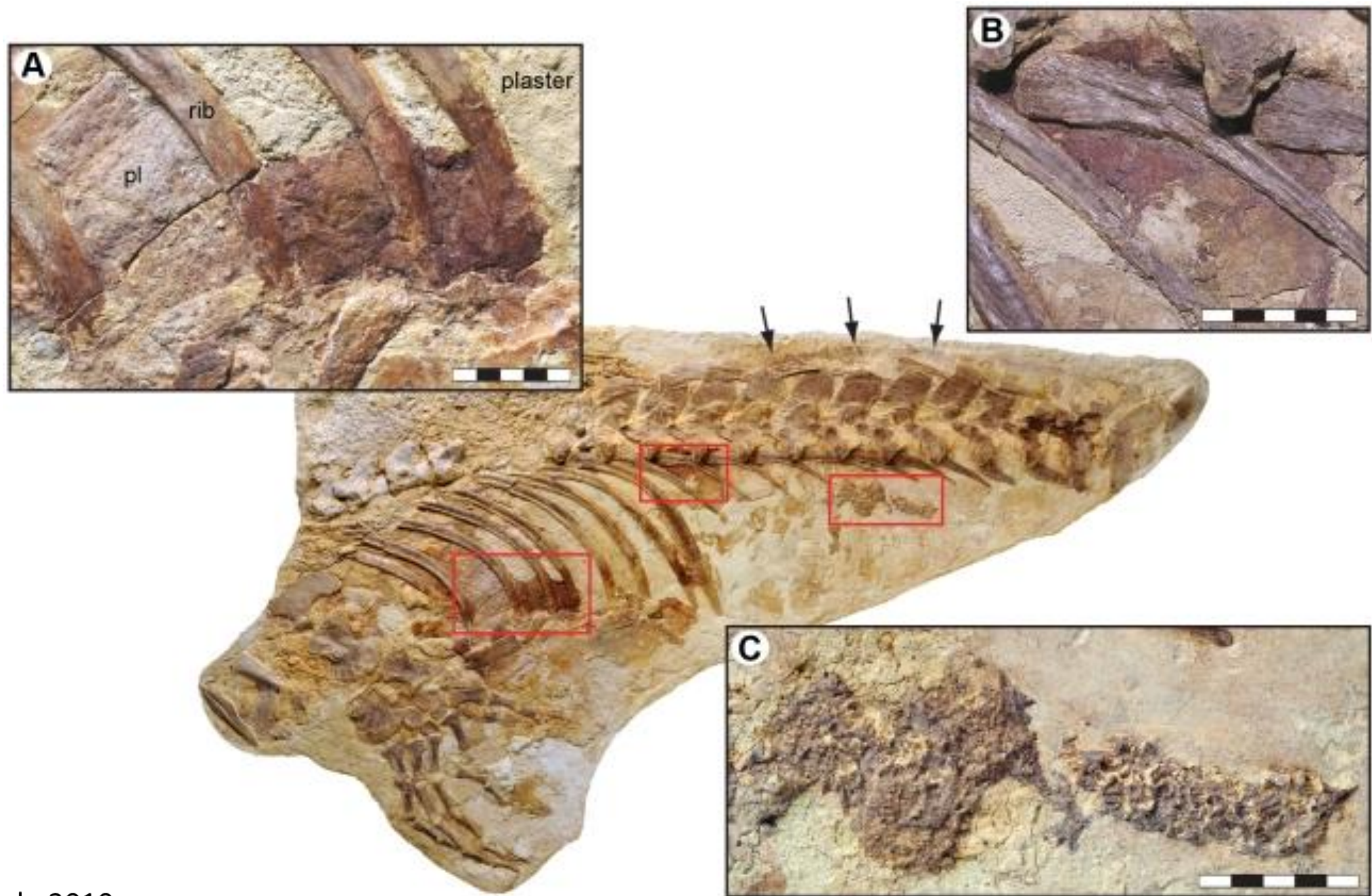


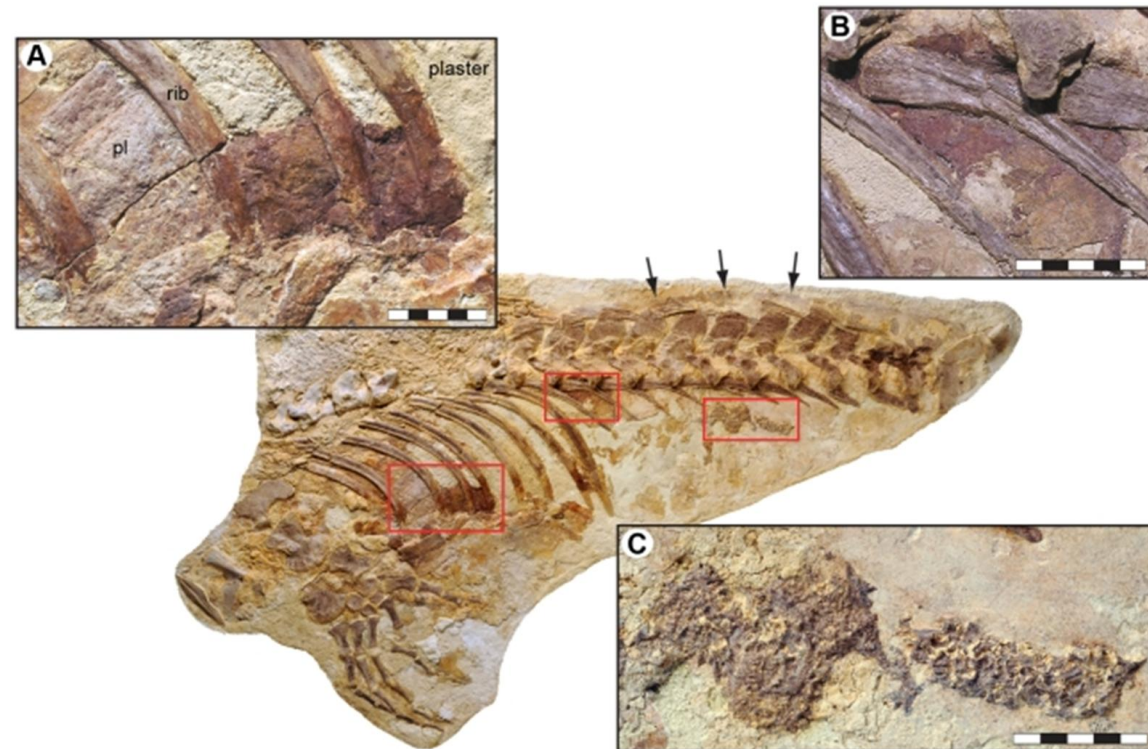
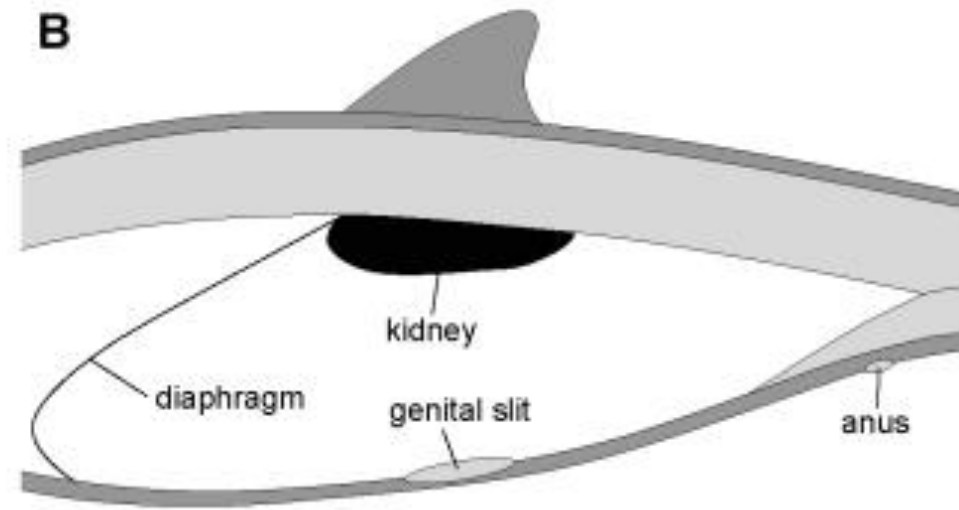
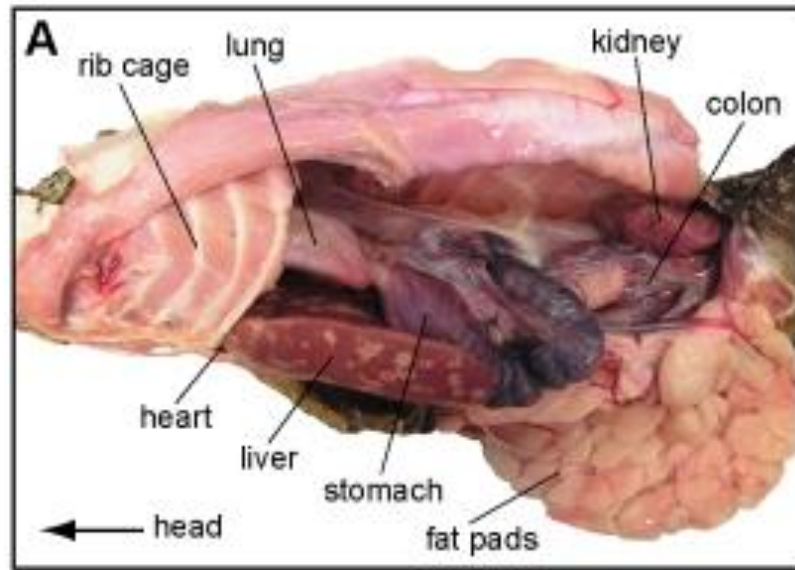
Fosfatyzacja tkanek miękkich

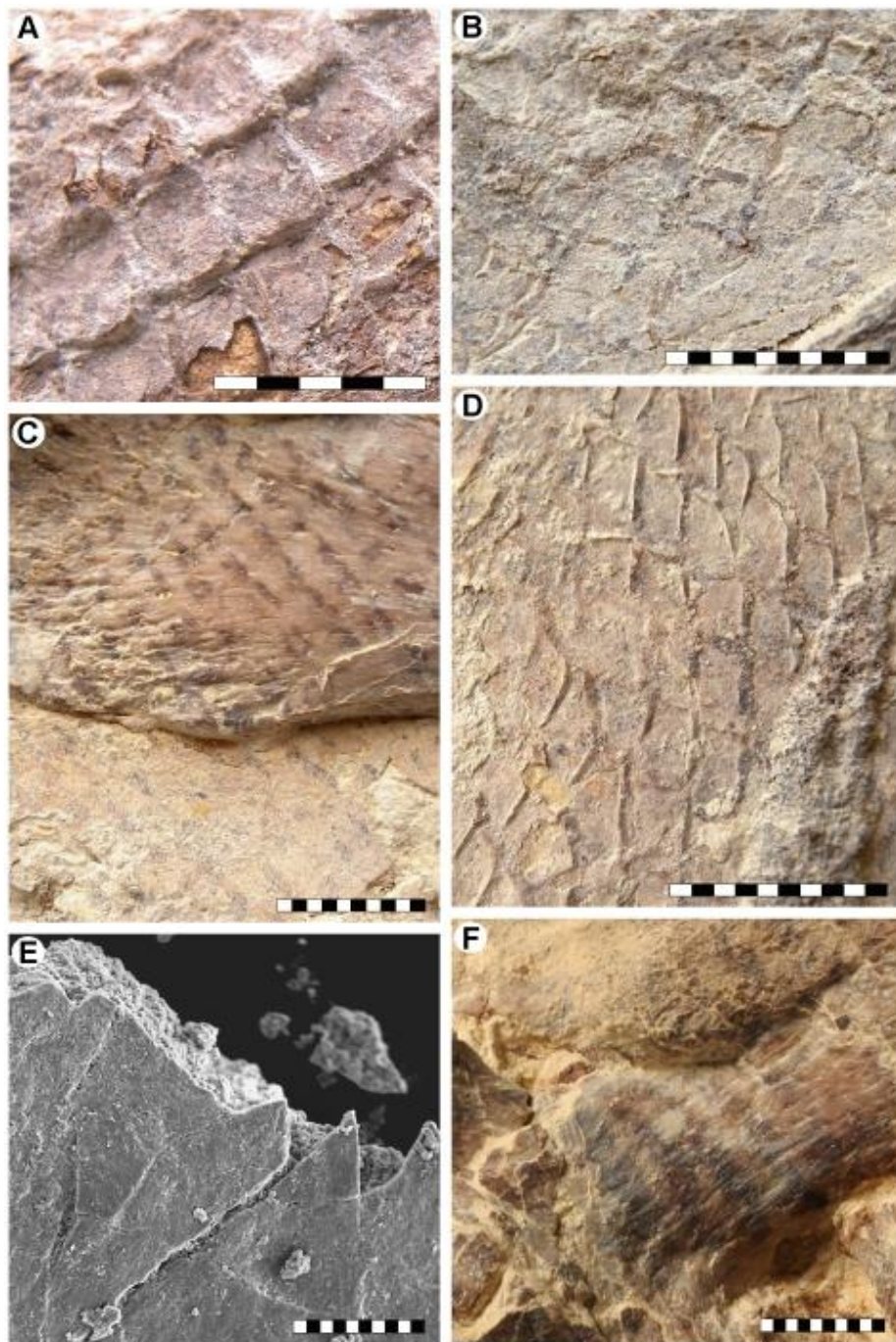




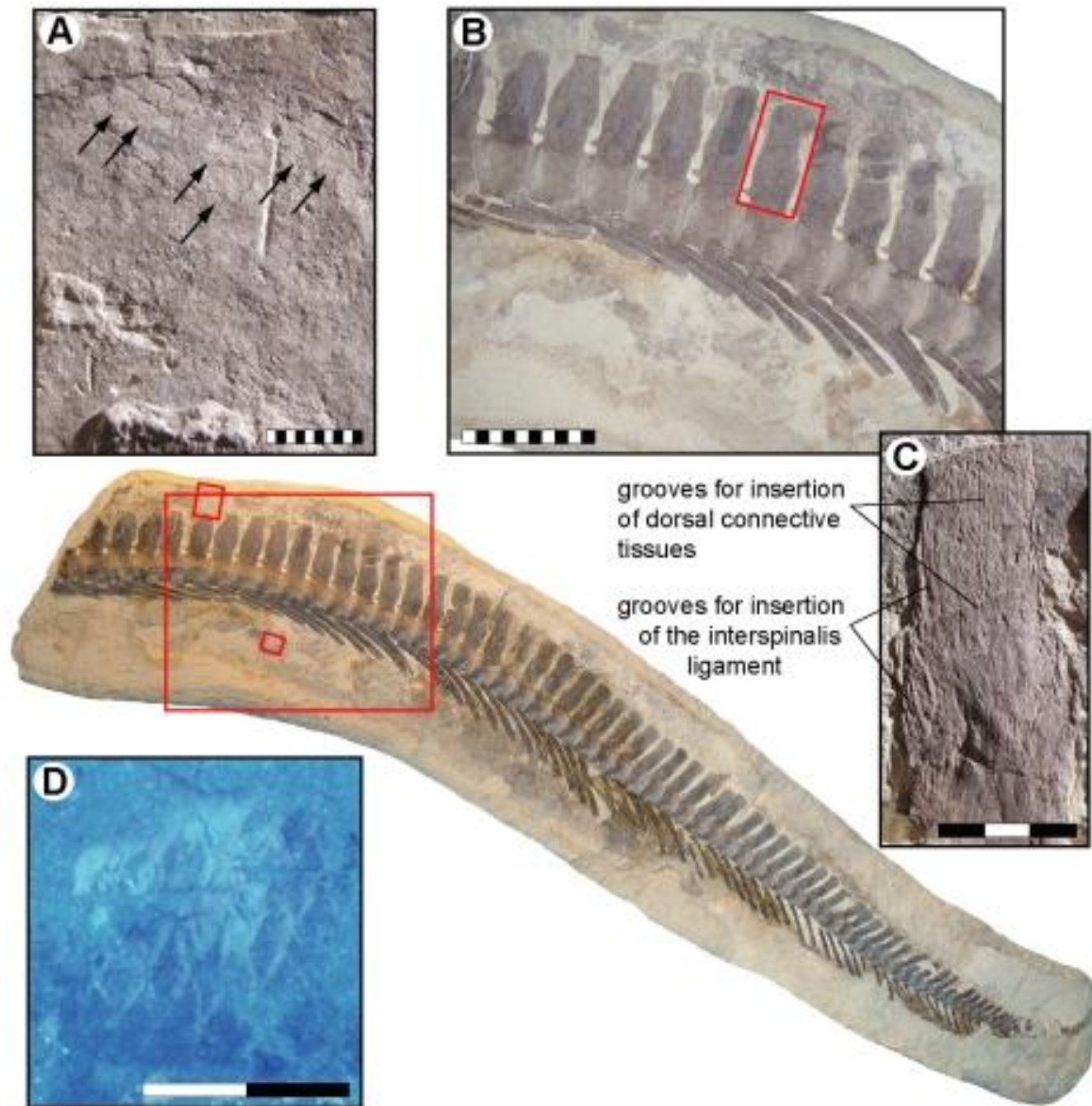
Lindgren et al., 2010

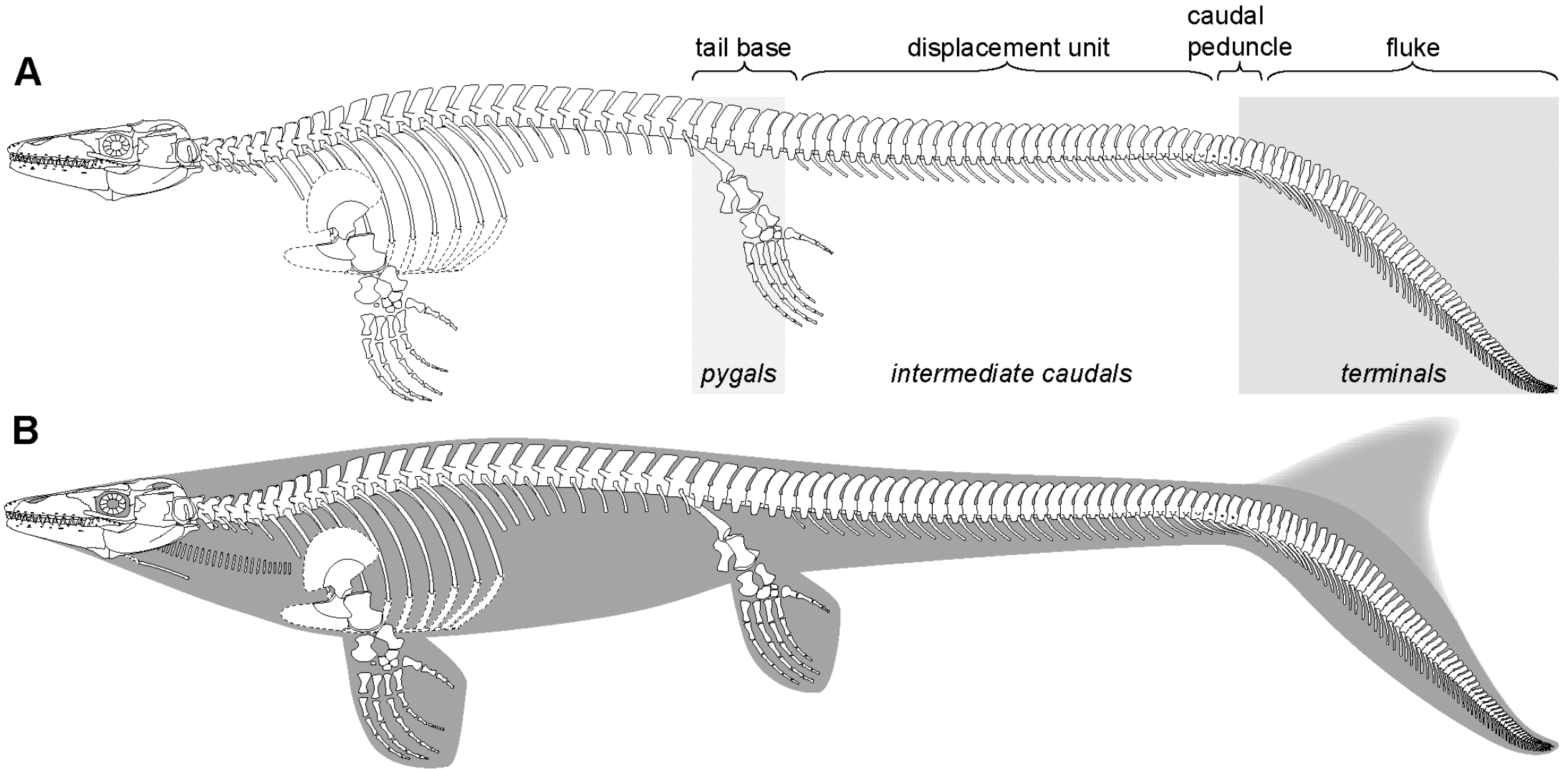




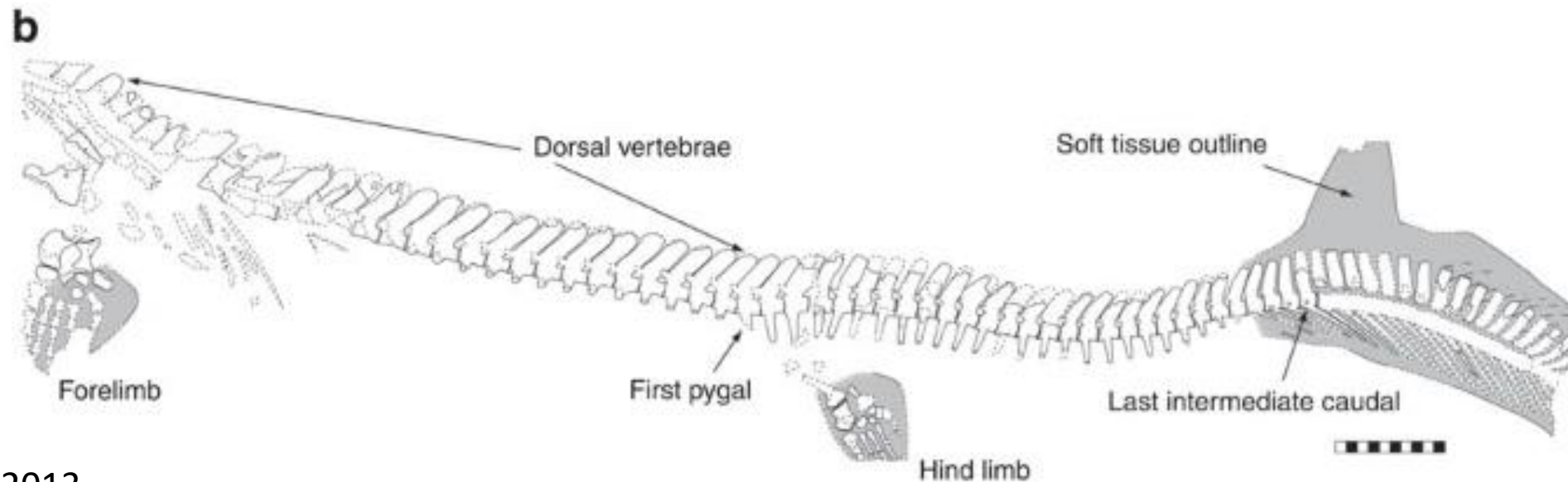
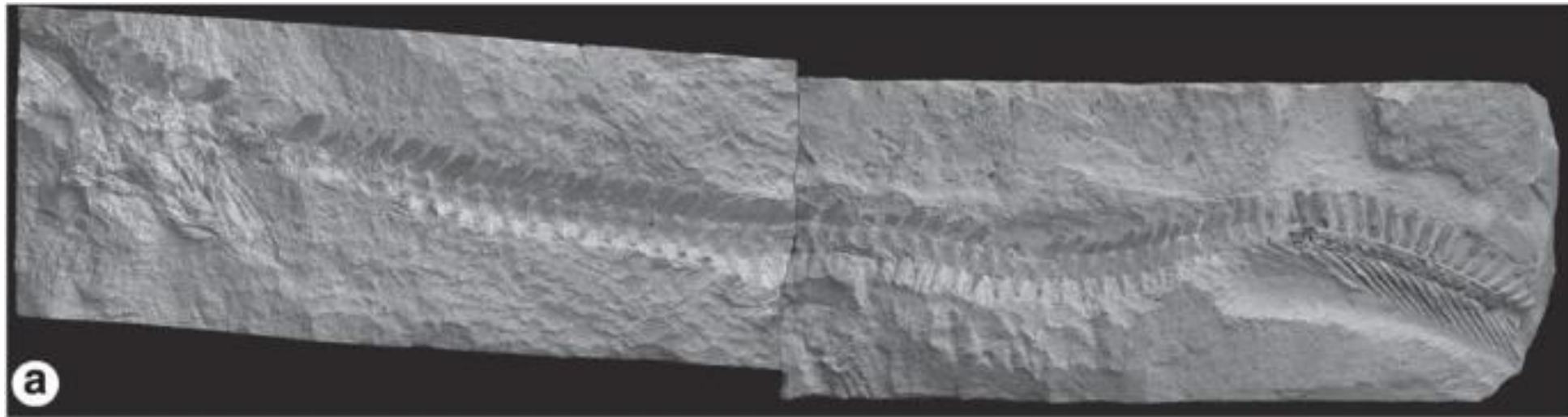


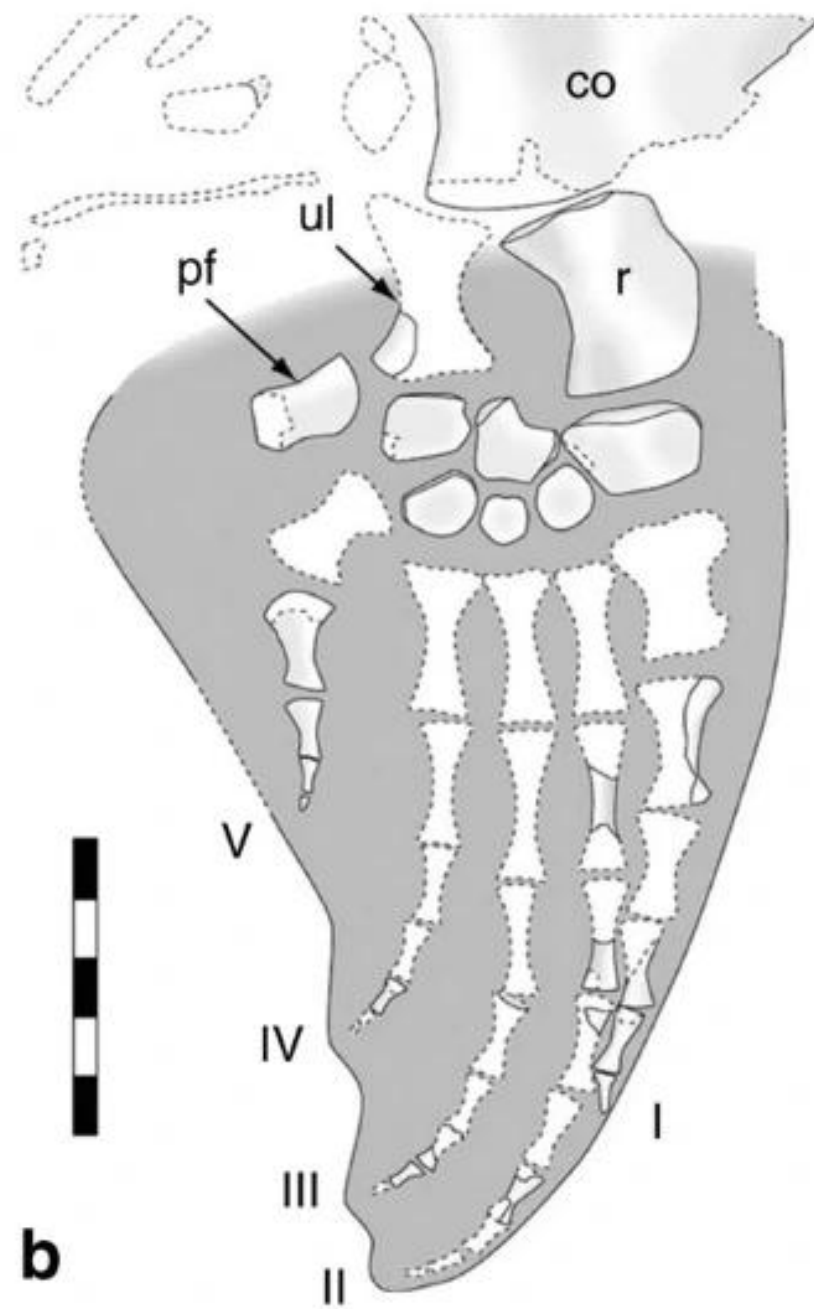
Lindgren et al., 2010

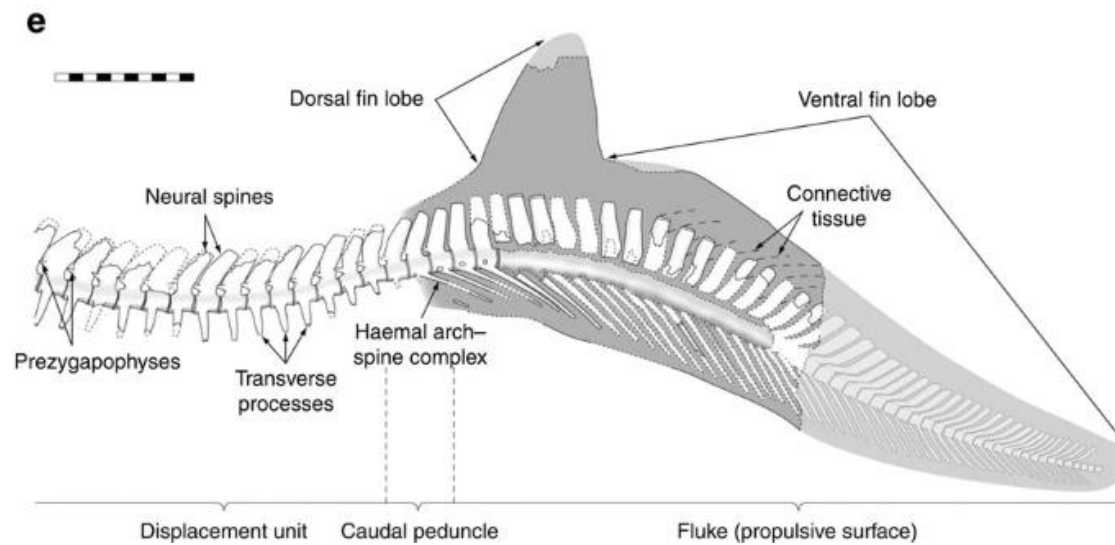
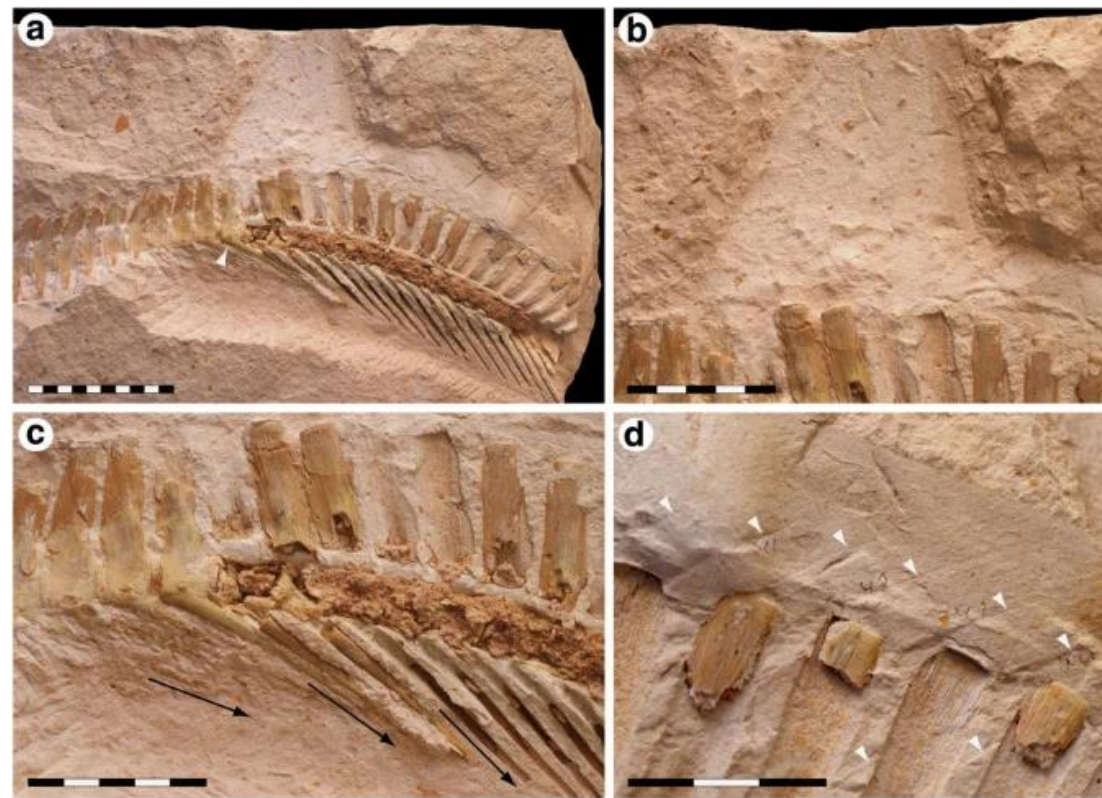




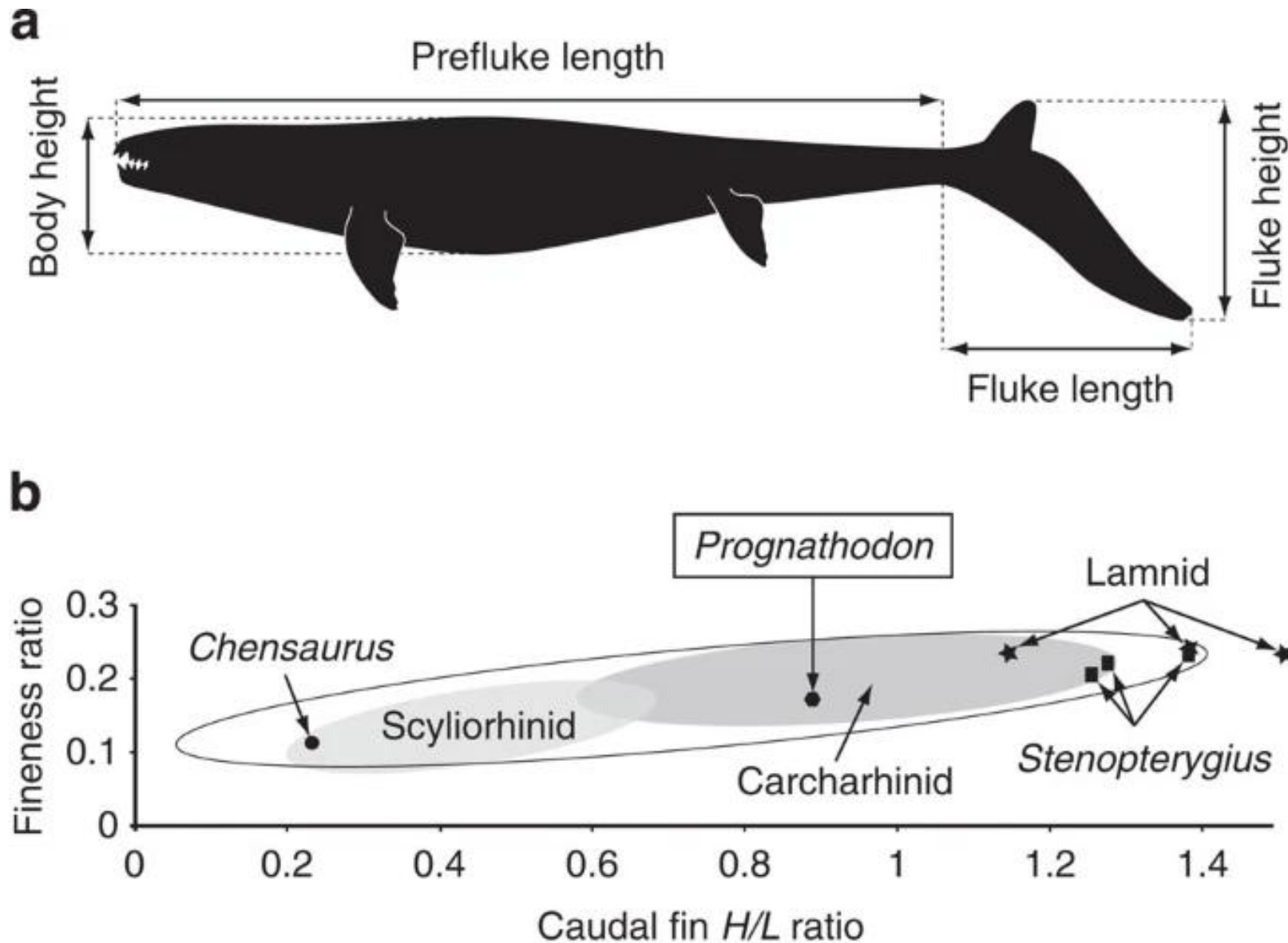
Prognathodon z mastrychtu Jordanii



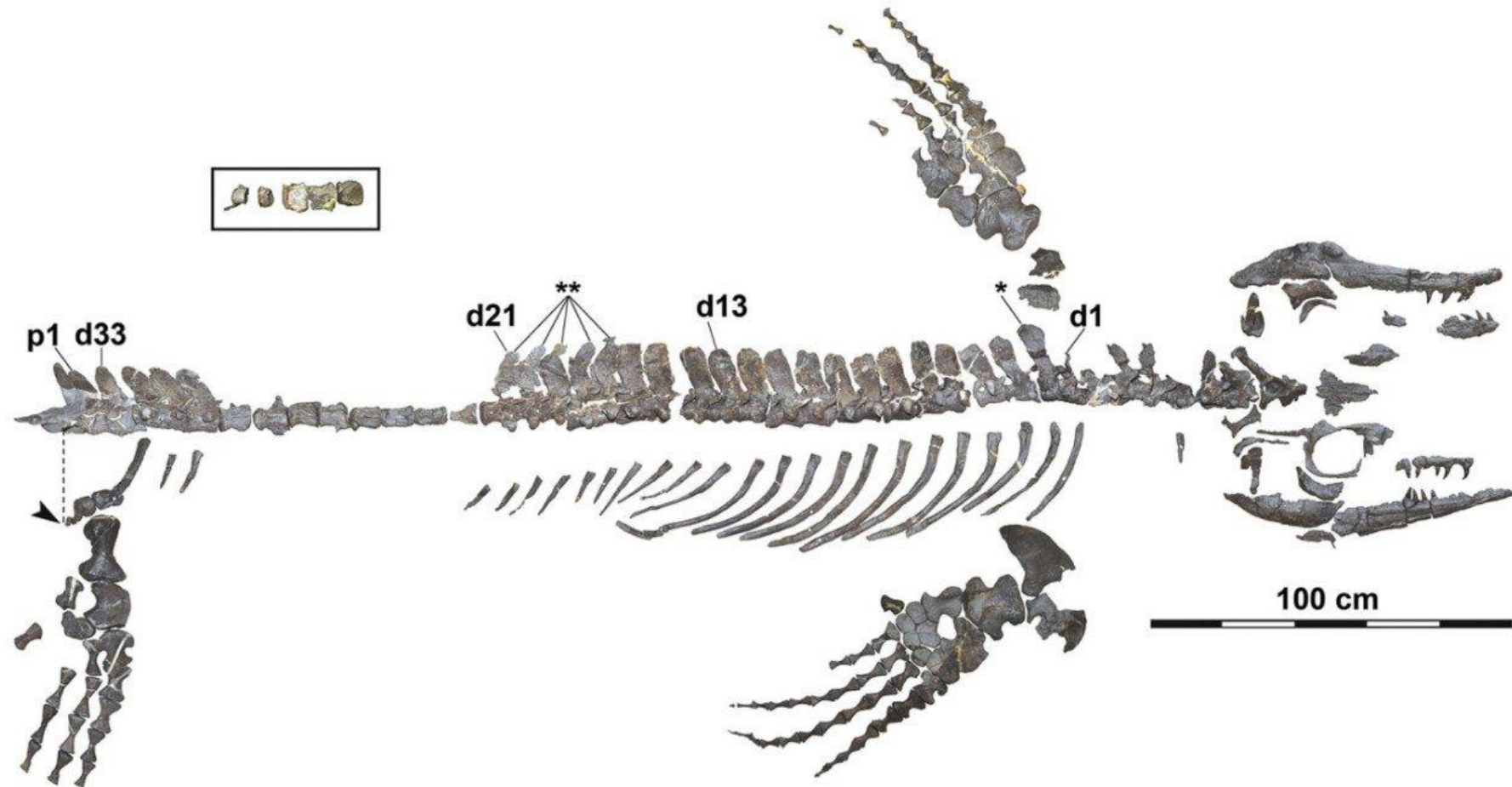




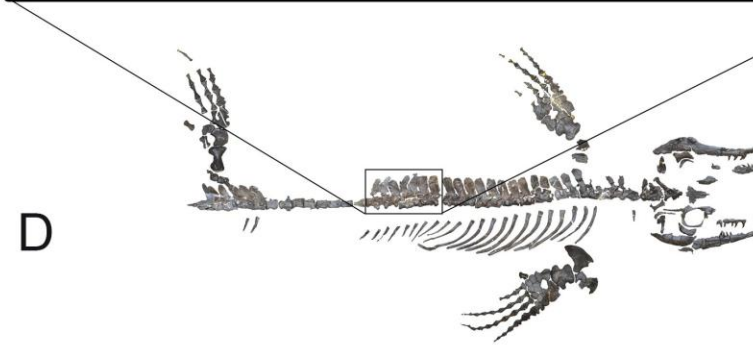
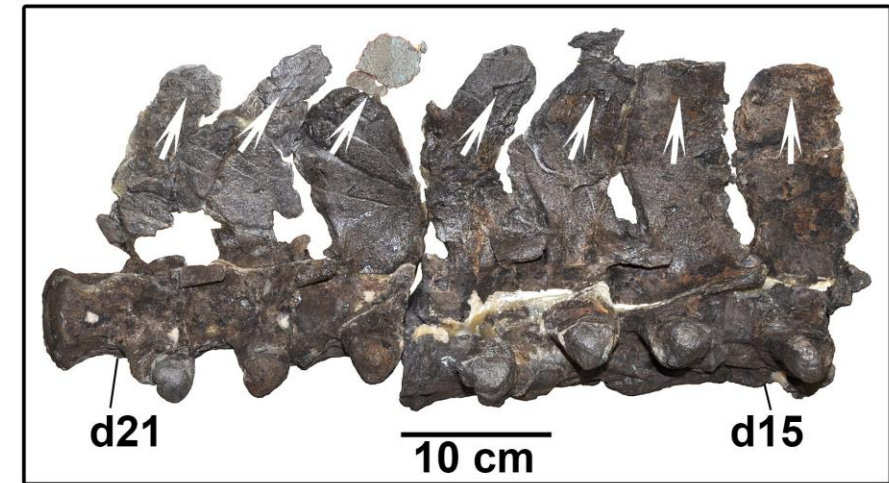
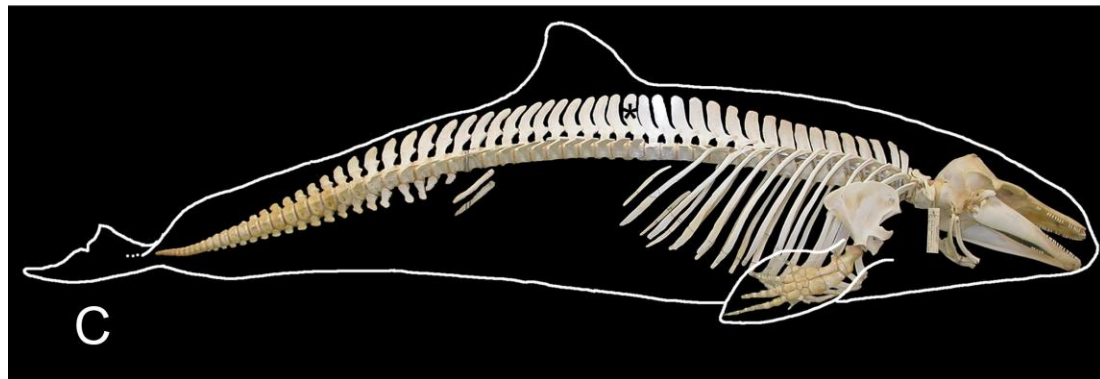
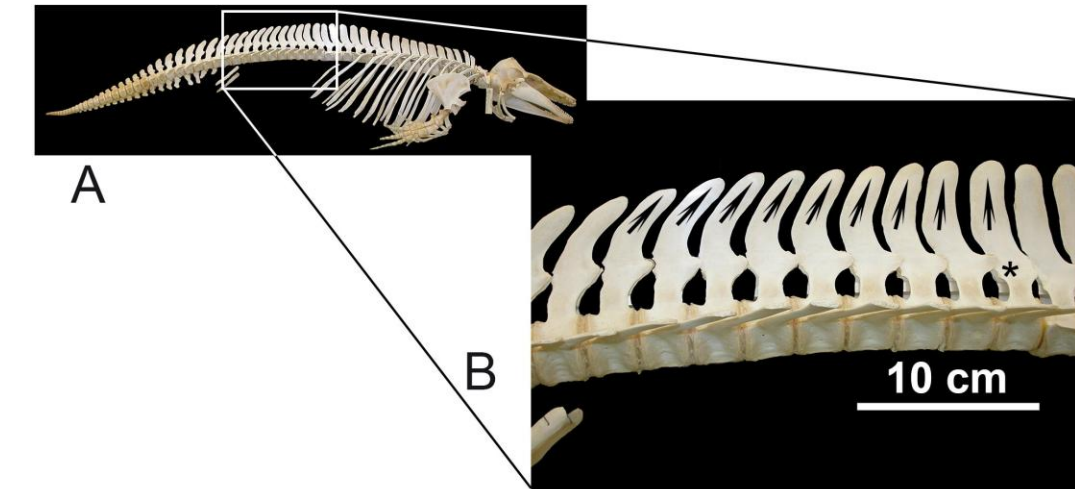
Rekinie proporcje!

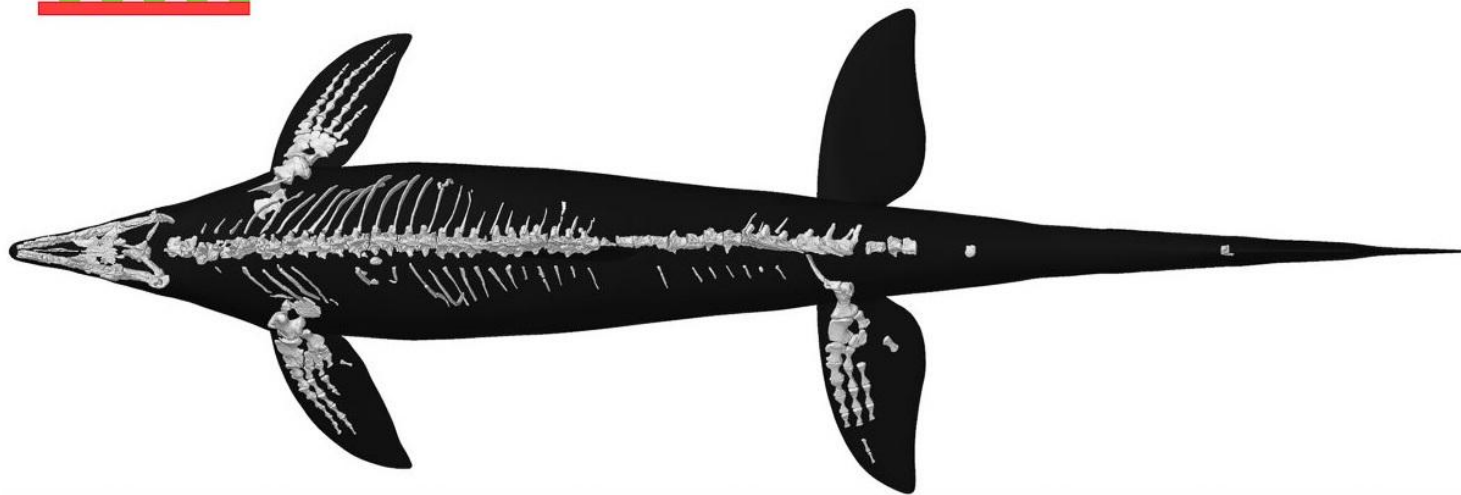
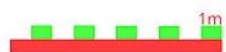
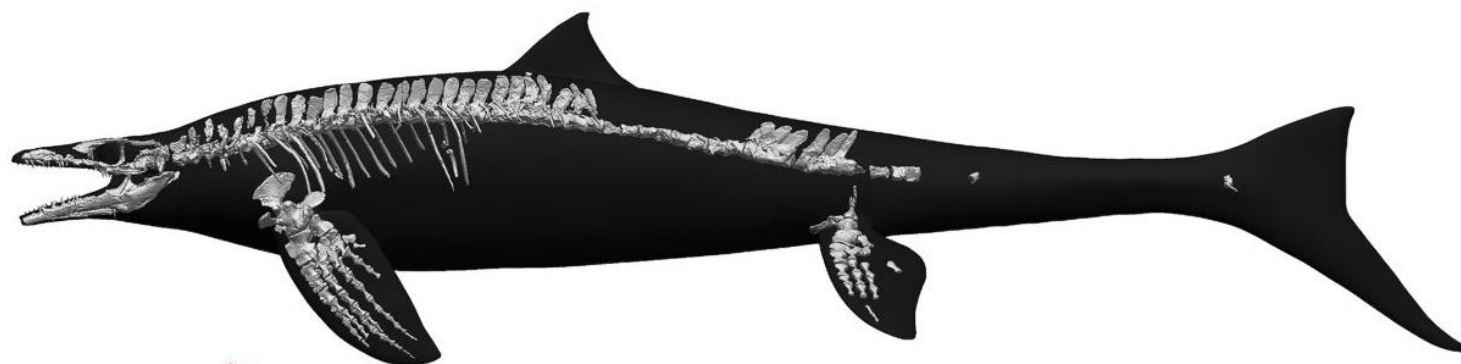


Megapterygius z pogranicza kampanu i mastrychtu Japonii



Phocoena phocoena vs *Megapterygius*

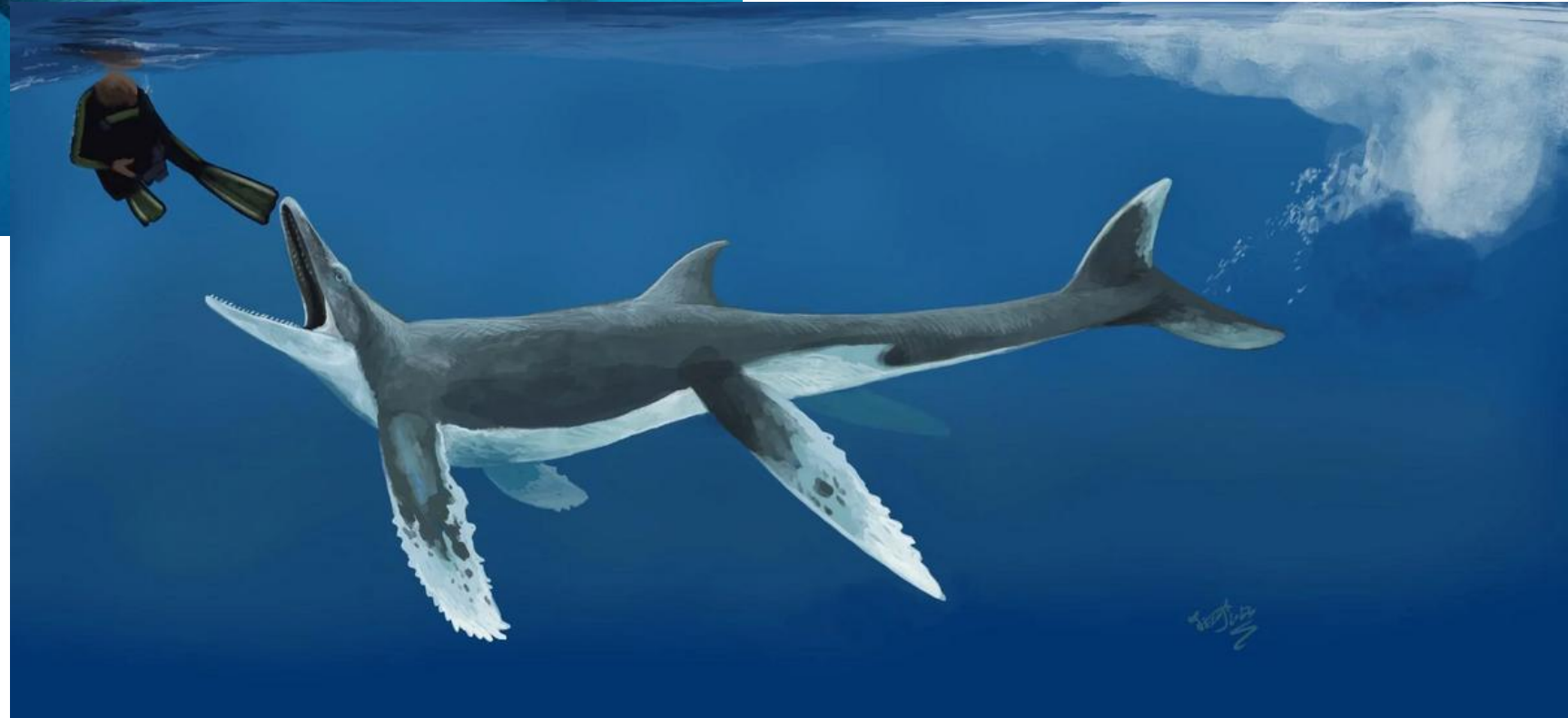




Dzięki uprzejmości Takuya Konishi



BOB NICHOLLS (THINKTANK, BIRMINGHAM SCIENCE MUSEUM)





Zahn
Carchariasaurus atrox



Ribbontail lizardwhale
Sauralopias tropica



Swordjaw lizardwhale
Xiphsaurus machaira



Starry lizardwhale
Naucratisaurus stellaris



Common molfin
Delphinosaurus delphis



Southern ikti
Piscilacerta teuthophila



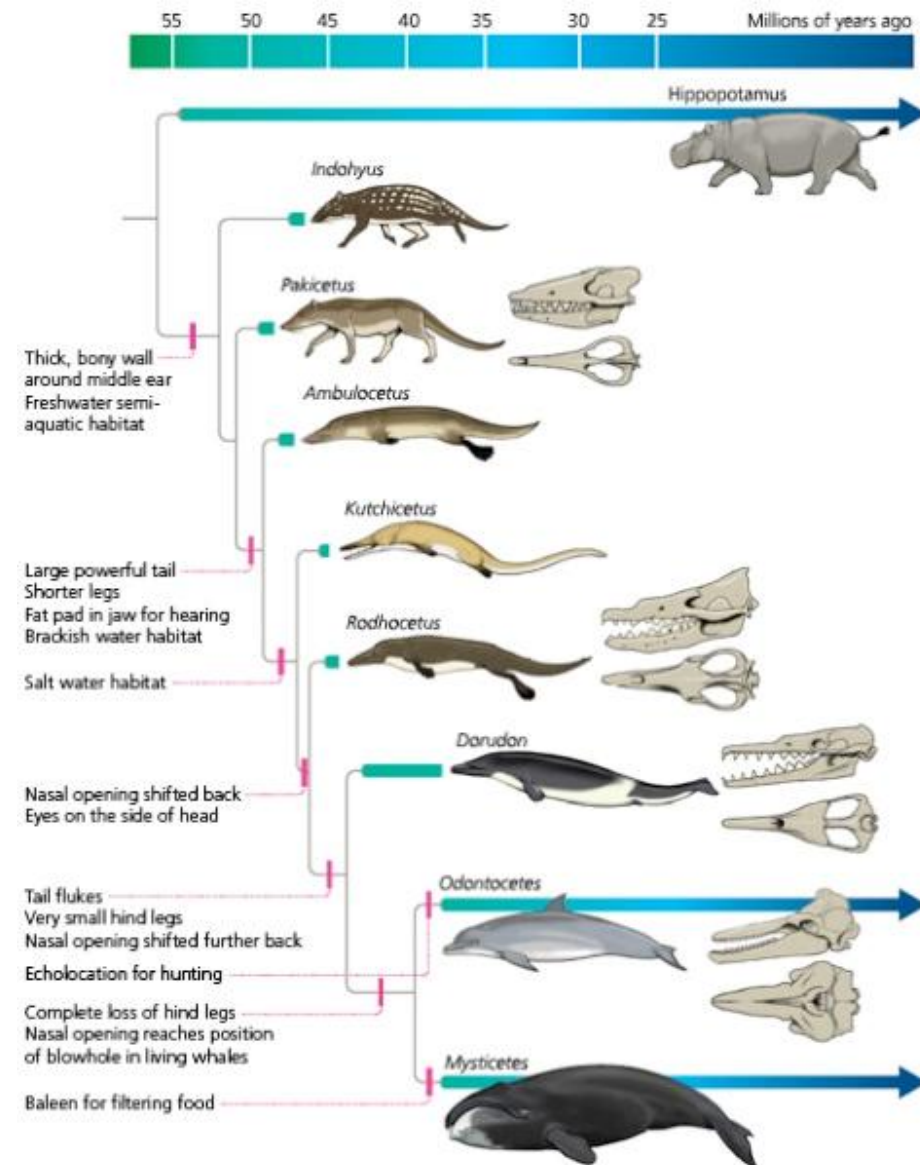
Sandy mosapoise
Phocoenolacerta harenacea



<http://ourmarinespecies.com/wp-content/uploads/2018/04/how-do-whales-breathe-1.jpg>

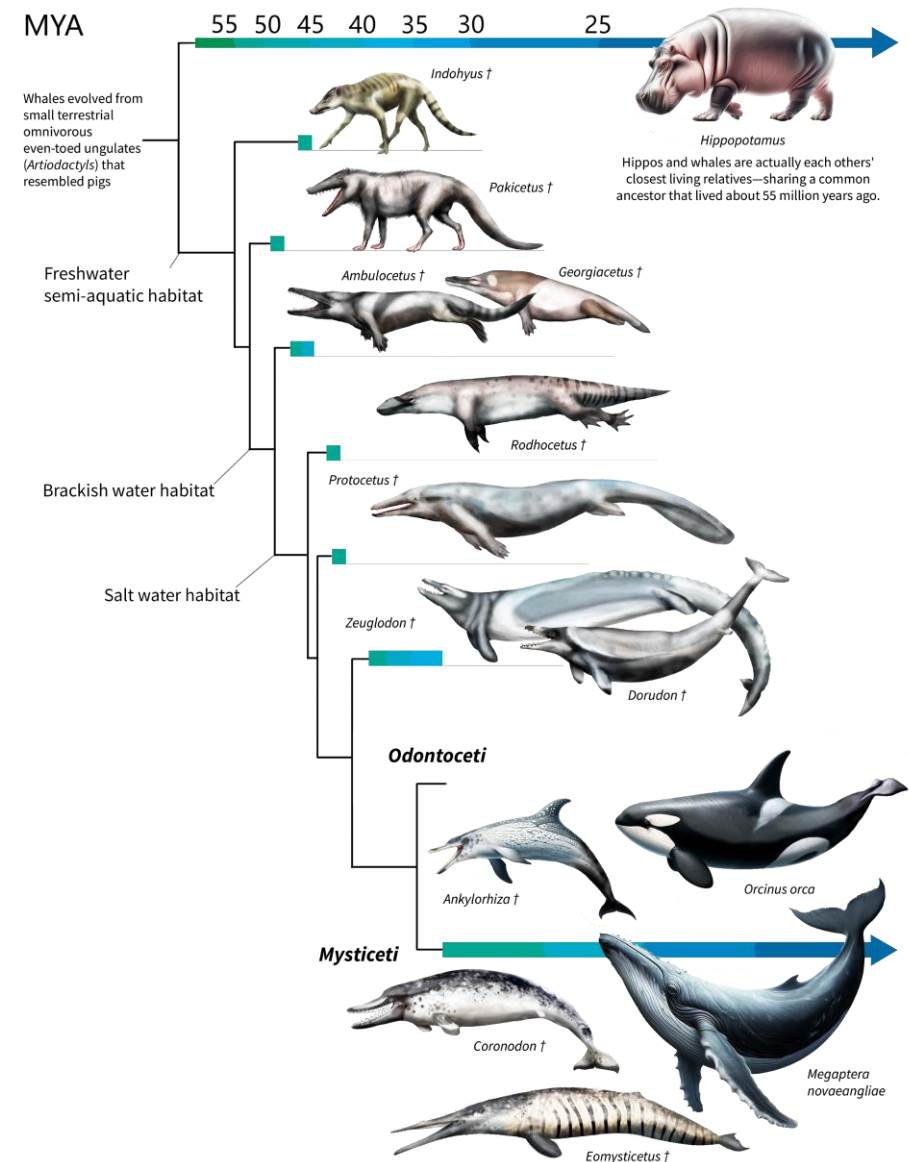
Walenie – pokrewieństwa i filogeneza

- Walenie rozwinęły się z parzystokopytnych.
- Ich najbliższymi współcześnie żyjącymi krewniakami są hipopotamowate.
- Początków walenia należy szukać na subkontynencie indyjskim w okolicach granicy paleocen/eocen.

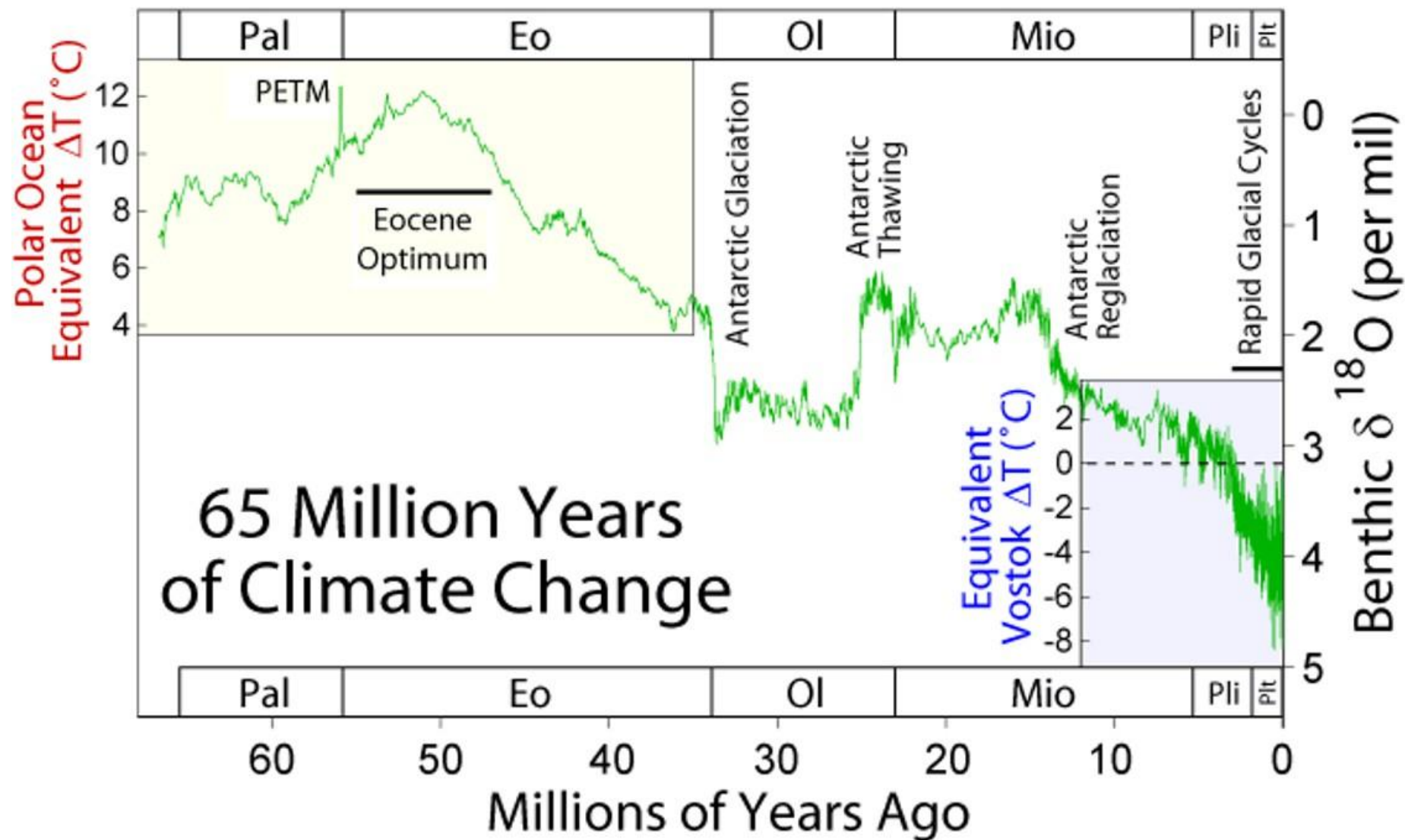


Fazy ewolucji walen

- 1. Faza transformacji form lądowych w morskie → ewolucja prawalen (**Archaeoceti**); faza ta rozciąga się na cały eocen.
- 2. Faza dywersyfikacji form morskich (**Pelagiceti**) → wykształcanie specjalizacji ekomorfologicznych i funkcjonalnych (**echolokacja**, **filtrowanie pokarmu**); faza ta rozpoczęła się w eocenie i trwa do dziś.



Zmiany klimatu a ewolucja walen

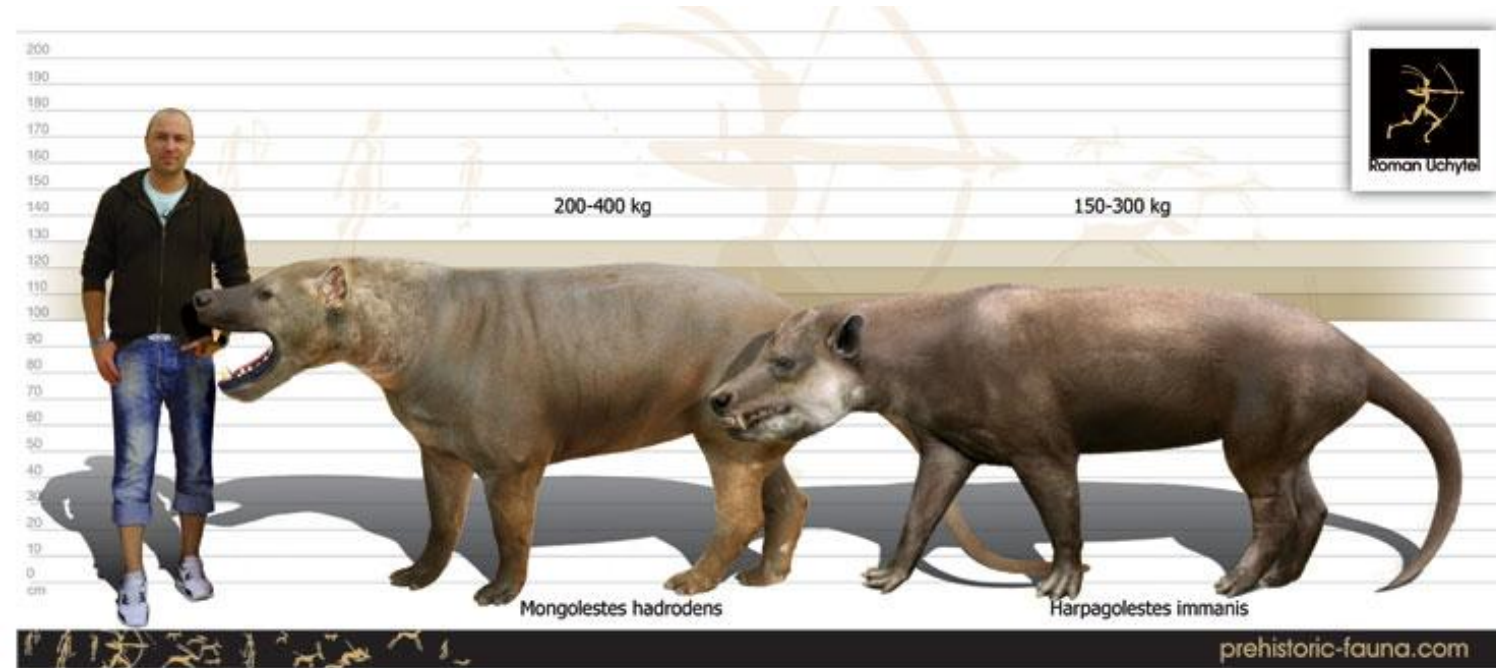


Kopalni krewniacy



Indohyus – eocen (48 Ma) Kaszmiru

<https://i.pinimg.com/originals/08/4c/5c/084c5ca1d197409b302d3fc30c0e2df8.jpg>



Mezonychizy

<https://prehistoric.ucoz.ru/img/size/Mesonychidae.jpg>

Pakicetus – pradziad wszystkich waleni



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/Pakicetus_Canada.jpg/1920px-Pakicetus_Canada.jpg

Skromne początki



Pakicetus w naturalnym środowisku



Ambulocetus – krokodylopodobny prawaleń



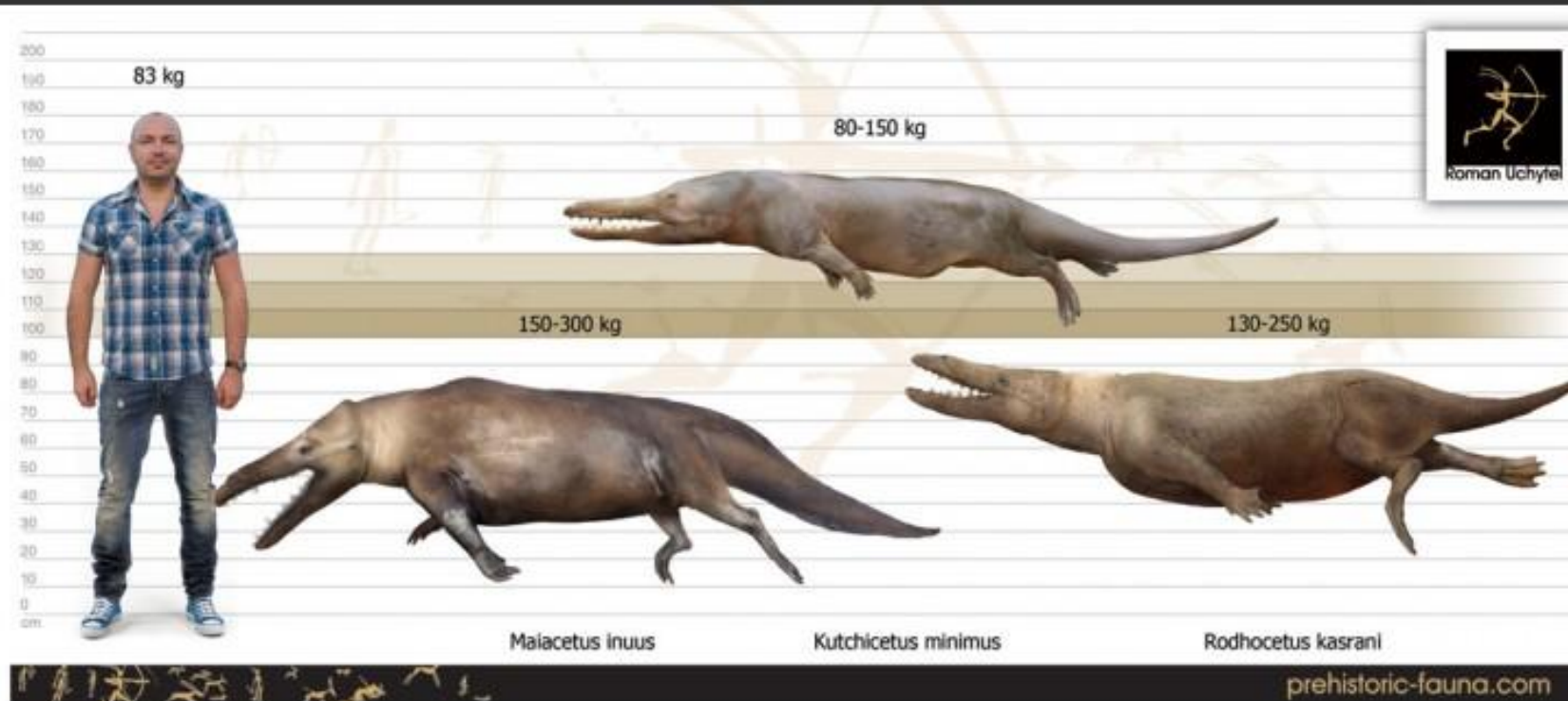
Paleoekologia i środowisko życia



https://66.media.tumblr.com/35ca23d888d56683e0f6be1841c0a24c/tumblr_pkhc6qnW5t1uvq9elo7_1280.jpg



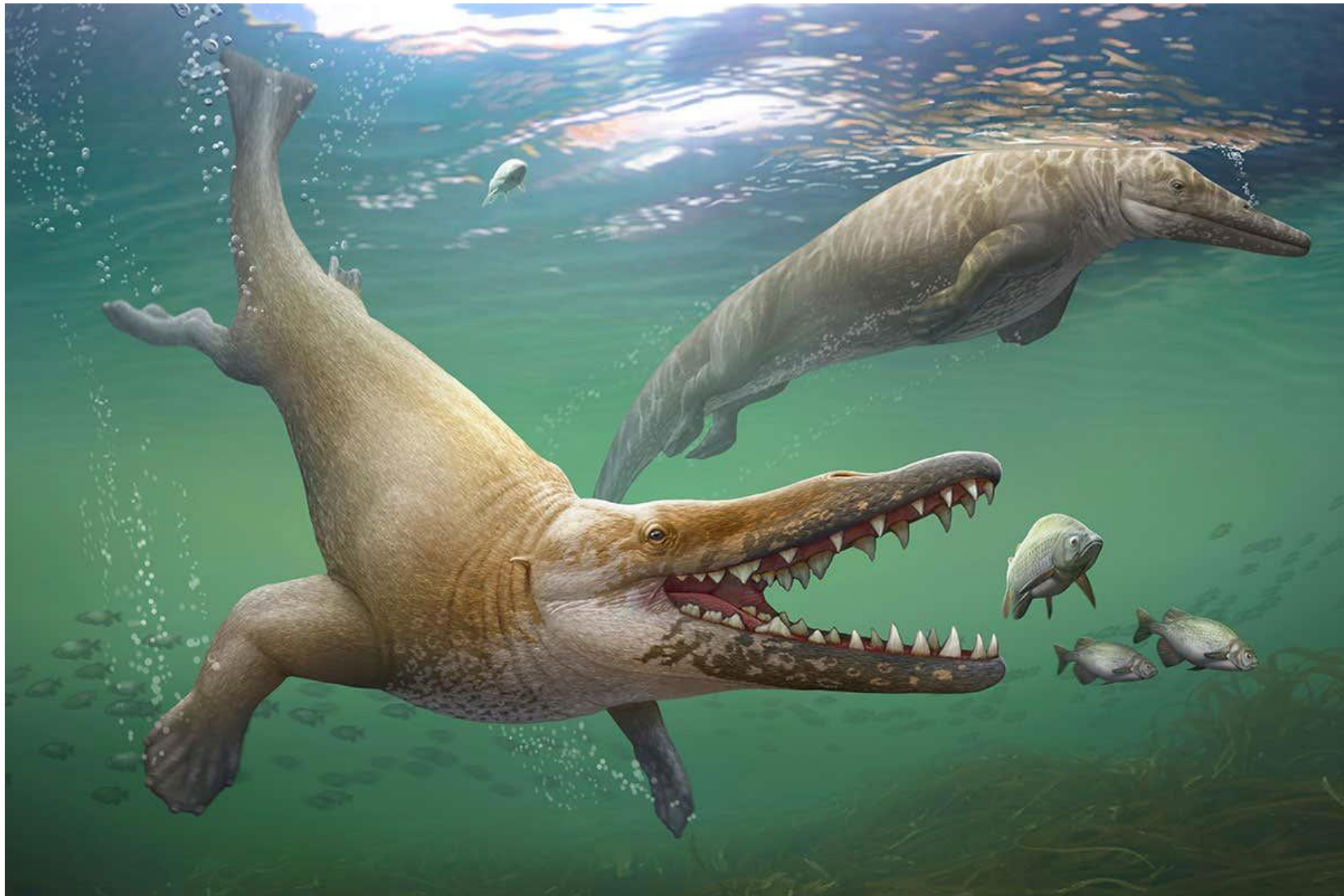
<https://naturalishistoria.files.wordpress.com/2017/10/ambulocetus-painting.jpg>



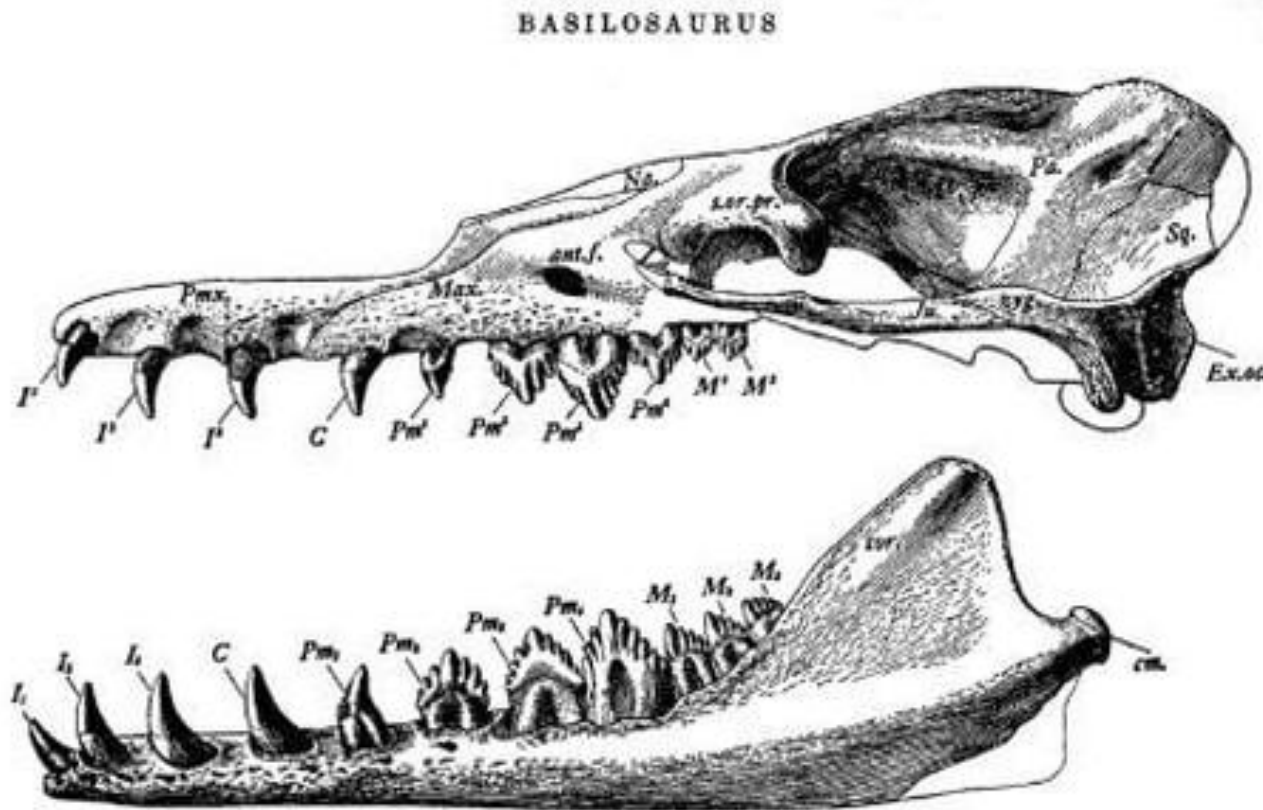
Georgiacetus – amerykański kuzyn



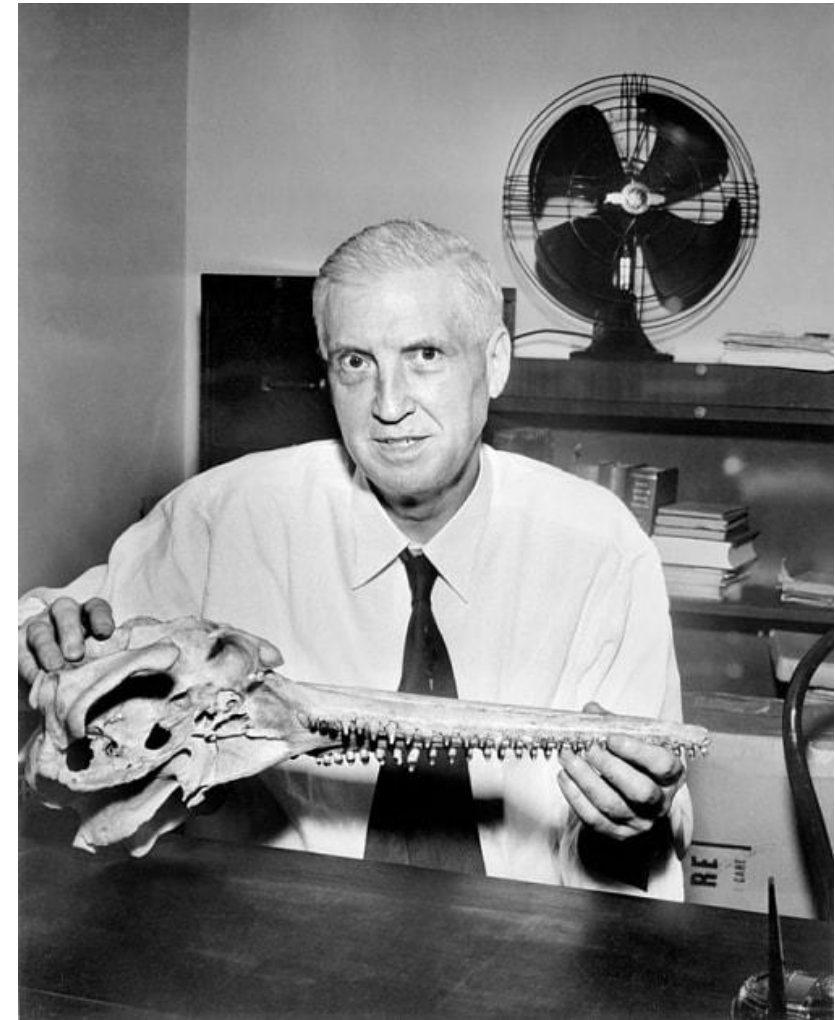
Autor: Alan Cressler



Remington Kellogg i ewolucja walen



Basilosaurus cetoides; skull and mandible from Remington Kellogg 1936 "A Review of Archeoceti"











<https://deeptimemaps.com/europe/>

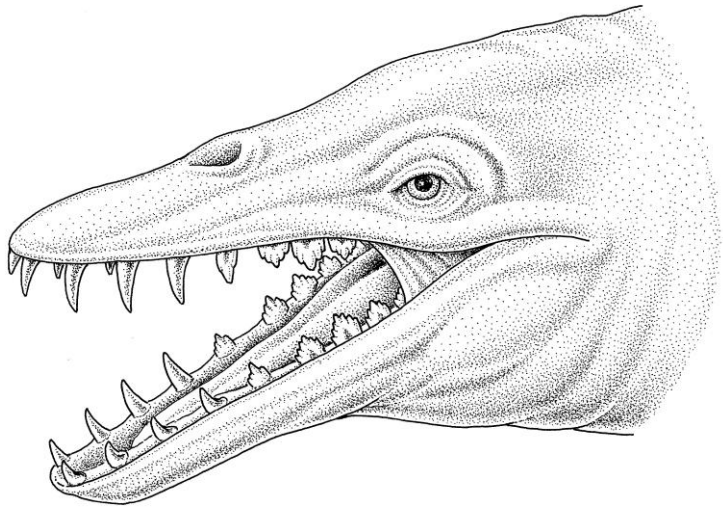
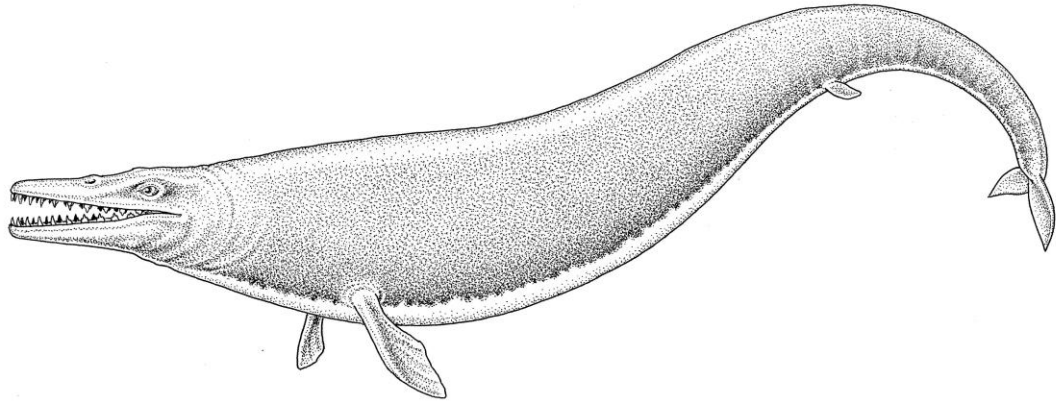
Wadi al-Hitan - „Dolina wielorybów”





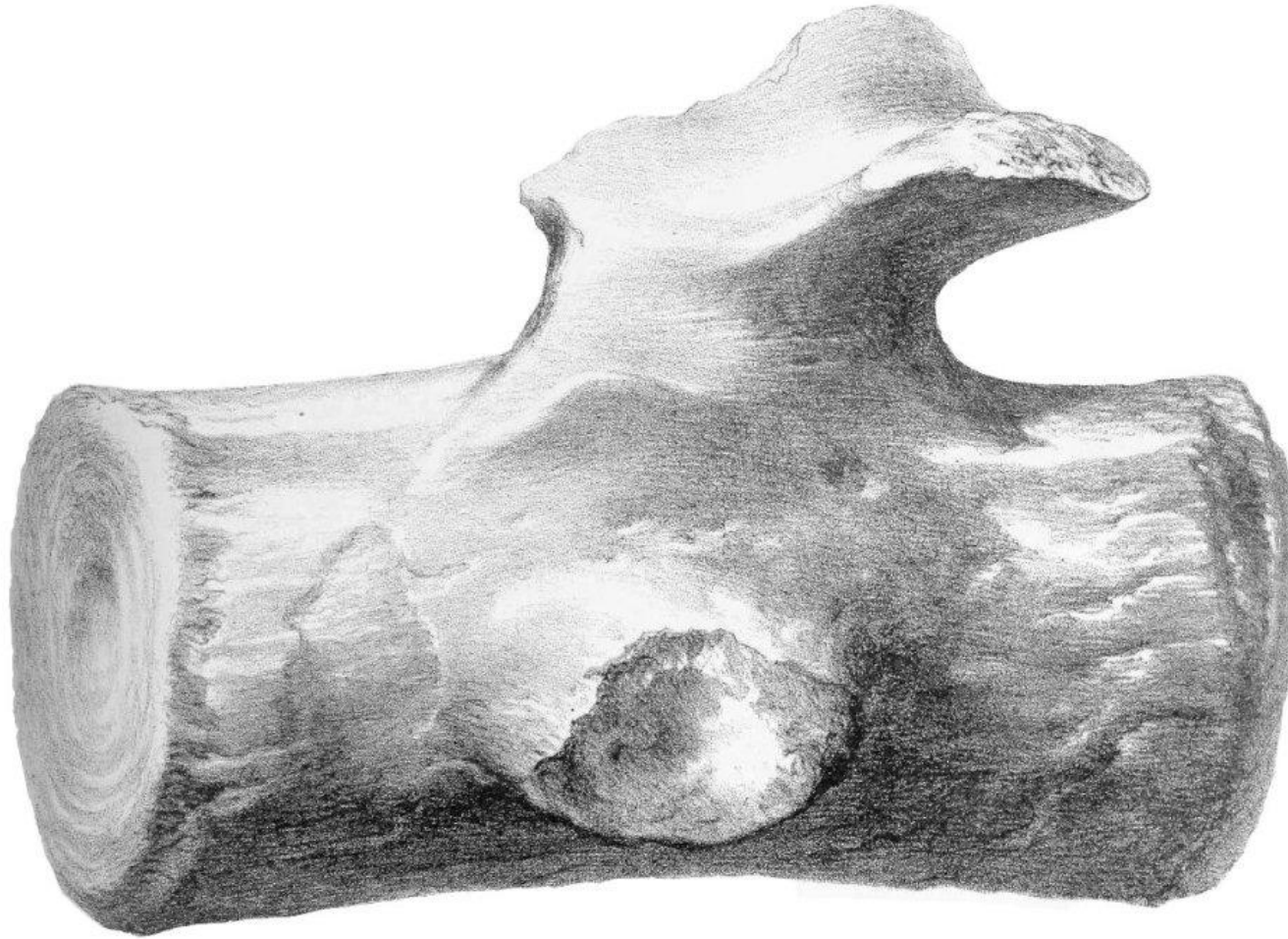


Basilosaurus – „cesarski jaszczur”



Szkielet bazylozaura w Nantes History Museum we Francji

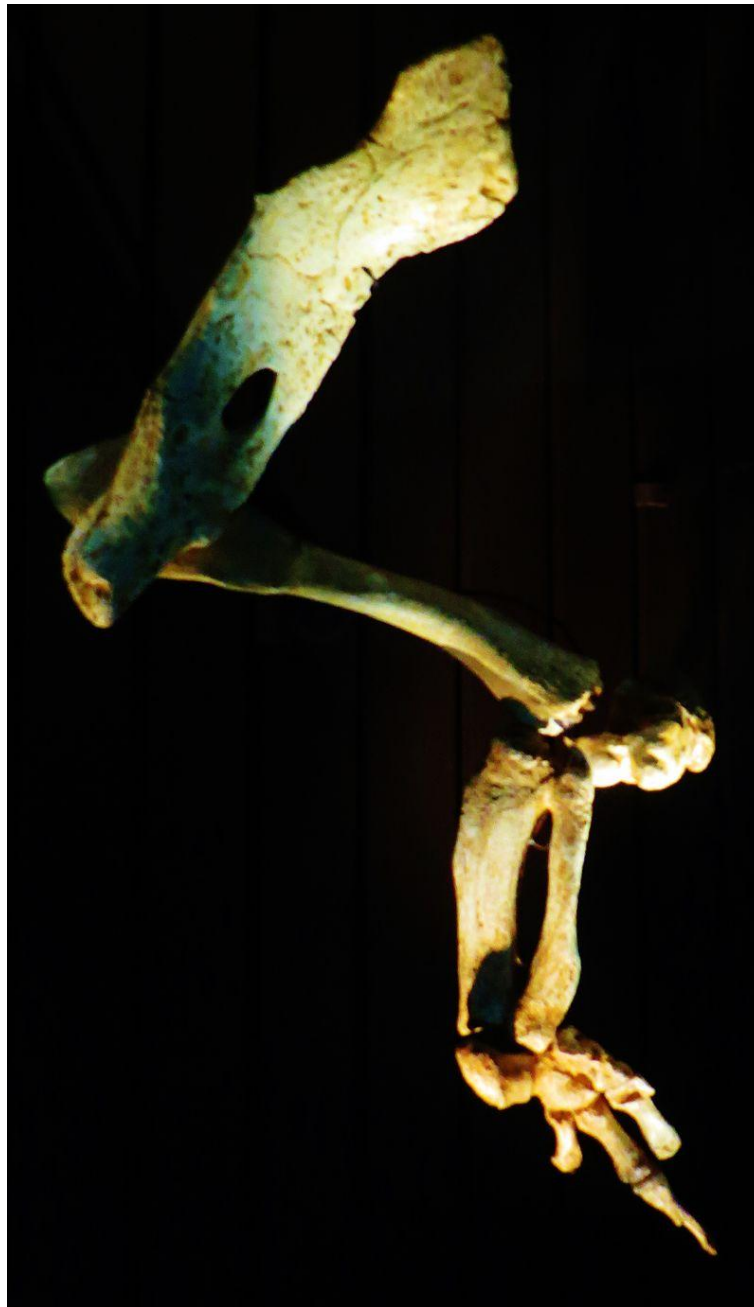
Wydłużone kręgi zapewniały „wężowaty” pokrój



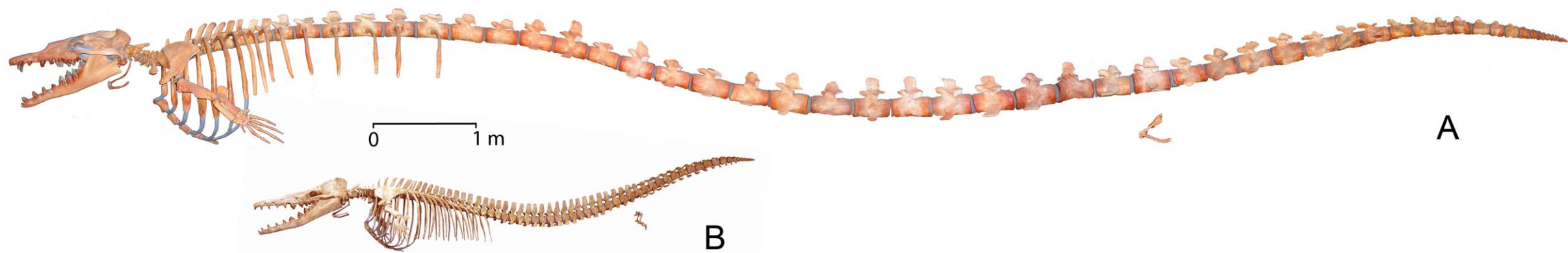
Kręg krzyżowy bazylozaura

<https://paleoaerie.files.wordpress.com/2015/03/owen-basilosaurus-vertebra.jpeg?w=960&h=725>





Tylna „płetwa” prawalenia *Basilosaurus*



Voss et al., 2019

