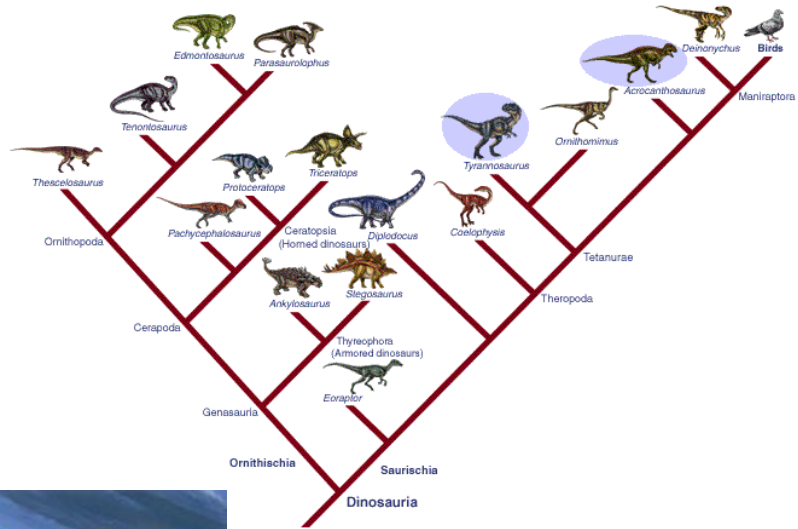
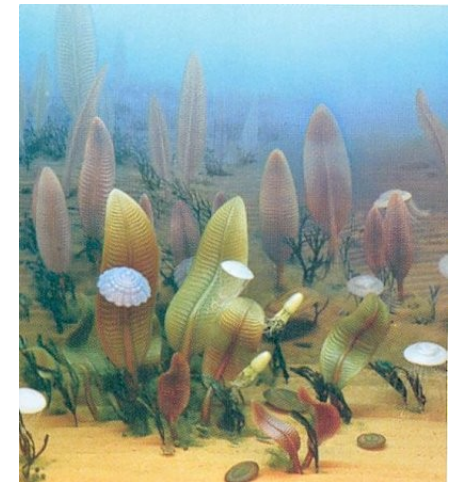


HISTORIE ŽIVOTA NA ZEMI



Asteroid Impact

David A. Hardy



Systematika a taxonomie

systematika, paleontologie → historie evolučních změn

systematika = studium vztahů mezi organismy

taxonomie = teorie a praxe klasifikace

kategorie: třída, řád, čeleď, druh, ...

taxon: Mammalia, Primates, Hominidae, *Homo sapiens*, ...

1. Předlinnéovská

včela medonosná = *Apis pubescens, thorace subgriseo, abdomine fusco, pedibus posticis glabris utrinque margine ciliatis*

[ochlupená včela, s tmavě šedou hrudí, tmavohnědým zadečkem a holýma, po obou stranách obrvenýma zadníma nohama]

Acaciae quodammodo accedens, Myrobalano chebulo Veslingii similis arbor Americana spinosa, foliis ceratoniae in pediculo geminatis, siliqua bivalvi compressa corniculata seu cochlearum vel arietinorum cornuum in modum incurvata, sive Unguis cati

[americký trnitý strom poněkud připomínající akát, podobný Veslingovu vrcholáku *Myrobalanus chebulae*, s párovými listy rohovníku *Ceratonia* na řapíku, stlačenou šešulí o dvou chlopních, zahnutou jako tykadla hlemýždě nebo rohy berana nebo jako kočičí drápy]

zubr = buffle, urus, bubalus, catoblepas,
theur, the bubalus of Belon, Scottish bison
... Aristoteles: bonasus → totéž?



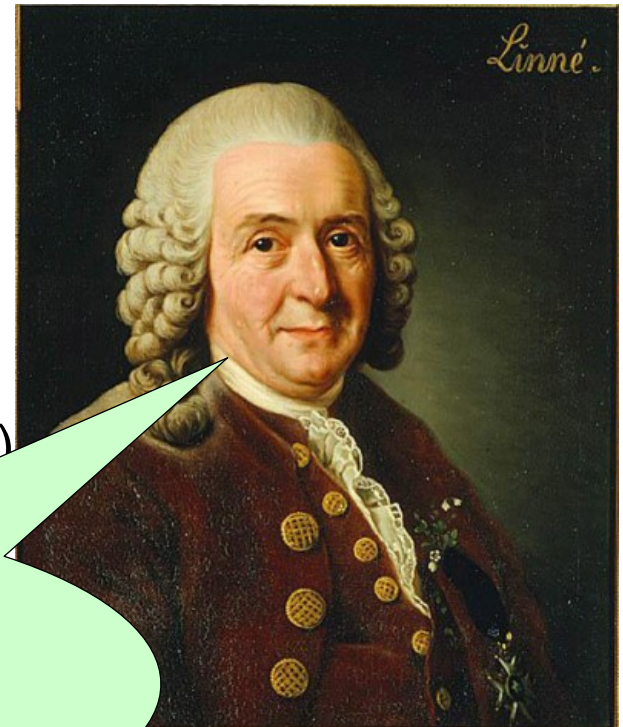
2. Karl Linné:

1735 *Systema Naturae*

binomická nomenklatura: rod + druh

hierarchická klasifikace:

říše, třída, řád, rod, druh, (varieta/poddruh)



*Species tot sunt diversae
quot diversas formas ab
initio creavit infinitum Ens*

Carolus Linnaeus

3. Darwin:

kladogeneze (větvení) a anageneze (změna znaků)

system by měl odrážet reálnou fylogenezi → otázka Jak?

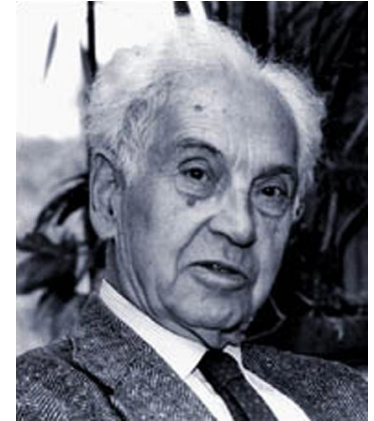
Evoluční systematika

před 1950: společný předek + adaptivní divergence

diskuse, zda vhodnější adaptivní, nebo neadaptivní znaky

subjektivní a nejasná kritéria výběru a vážení znaků ⇒ krize taxonomie
(⇒ samotné slovo taxonomie nahrazeno pojmem „systematika“)

kontroverze mezi „rozdělovači“ (*splitters*) a „slučovači“ (*lumpers*)



E. Mayr

Numerická taxonomie (fenetika)

1957: Charles Michener, Robert Sokal, P.H.A. Sneath



Hoplitis

taxonomie by neměla být založena na malém počtu „důležitých“ znaků,
ale na celkové podobnosti

⇒ co největší počet znaků, zpracování počítačem

numerické metody: morfologické a genetické distance, ordinační (PCA,
DFA, CVA, MDS, ...), shluková analýza (UPGMA)

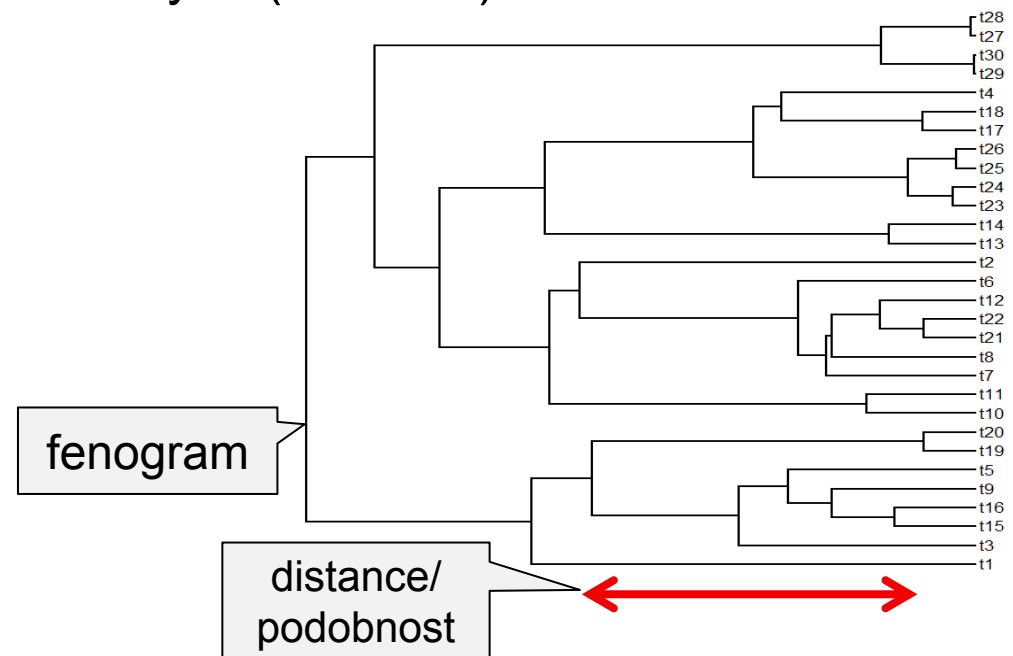
fenogramy

problémy:

homoplazie (= konvergence,
paralelismus, reverze)

sdílené primitivní znaky

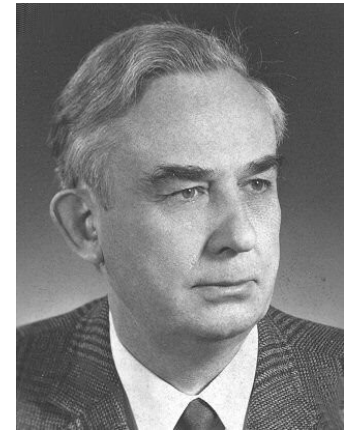
nestejná rychlost evoluce



Fylogenetická systematika (kladistika)

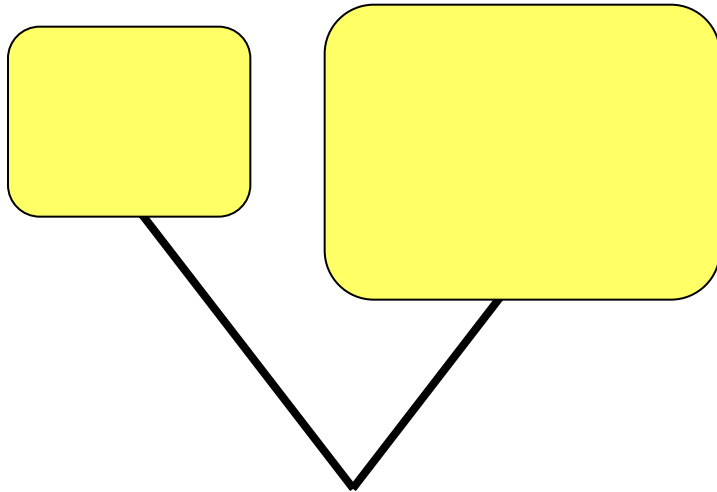
1950*), 1966: **Willi Hennig**: *Phylogenetic Systematics*
pouze reflexe genealogie, nikoli adaptivní divergence
striktní monofylie

monofyletická skupina = **klad** (*clade*)

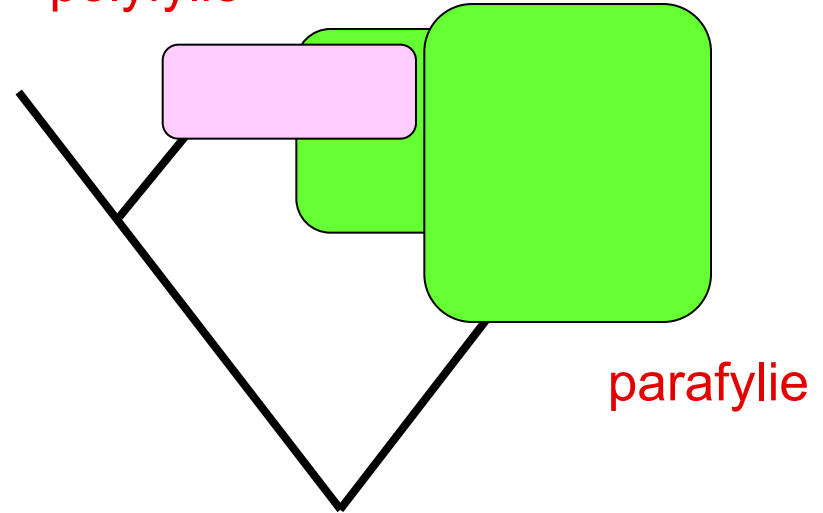


W. Hennig

monofylie



polyfylie



*) *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*
(Základní rysy teorie fylogenetické systematiky)

Synapsida

savci

Parareptilia

želvy

Plesiosaoria

Ichthyosauria

haterie

leguáni

agamy

chameleoni

hadi

Mosasauria

varani

krokodýli

Pterosauria

Ornithischia

Sauropoda

ostatní teropodi

ptáci

Sphenodontida

Squamata

Lepidosauria

Archosauria

Dinosauria

Saurischia

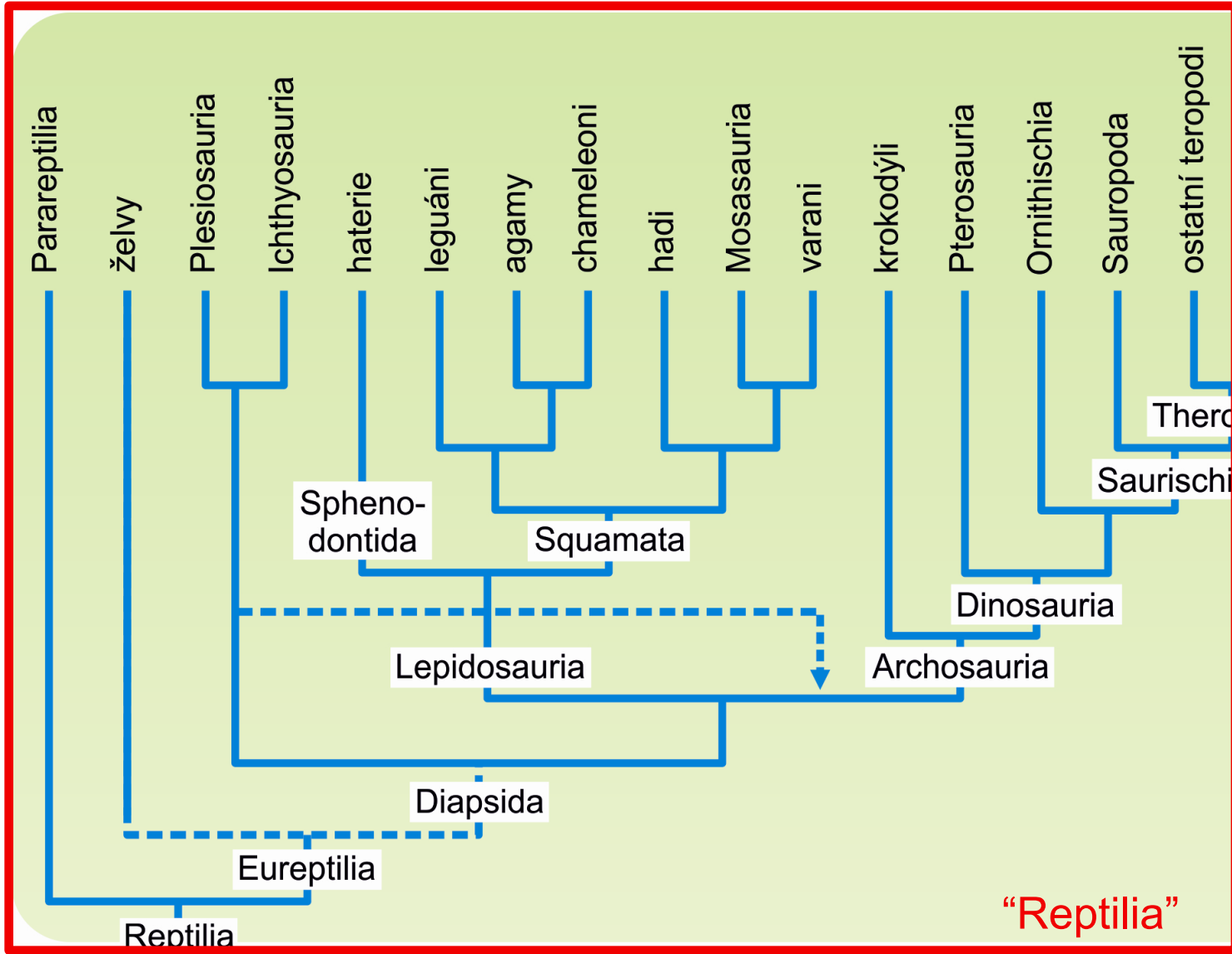
Theropoda

Diapsida

Eureptilia

Reptilia

“Reptilia”



“Pongidae”



Orangutan
48 chromosomes
(24 pairs)



Gorilla
48 chromosomes
(24 pairs)



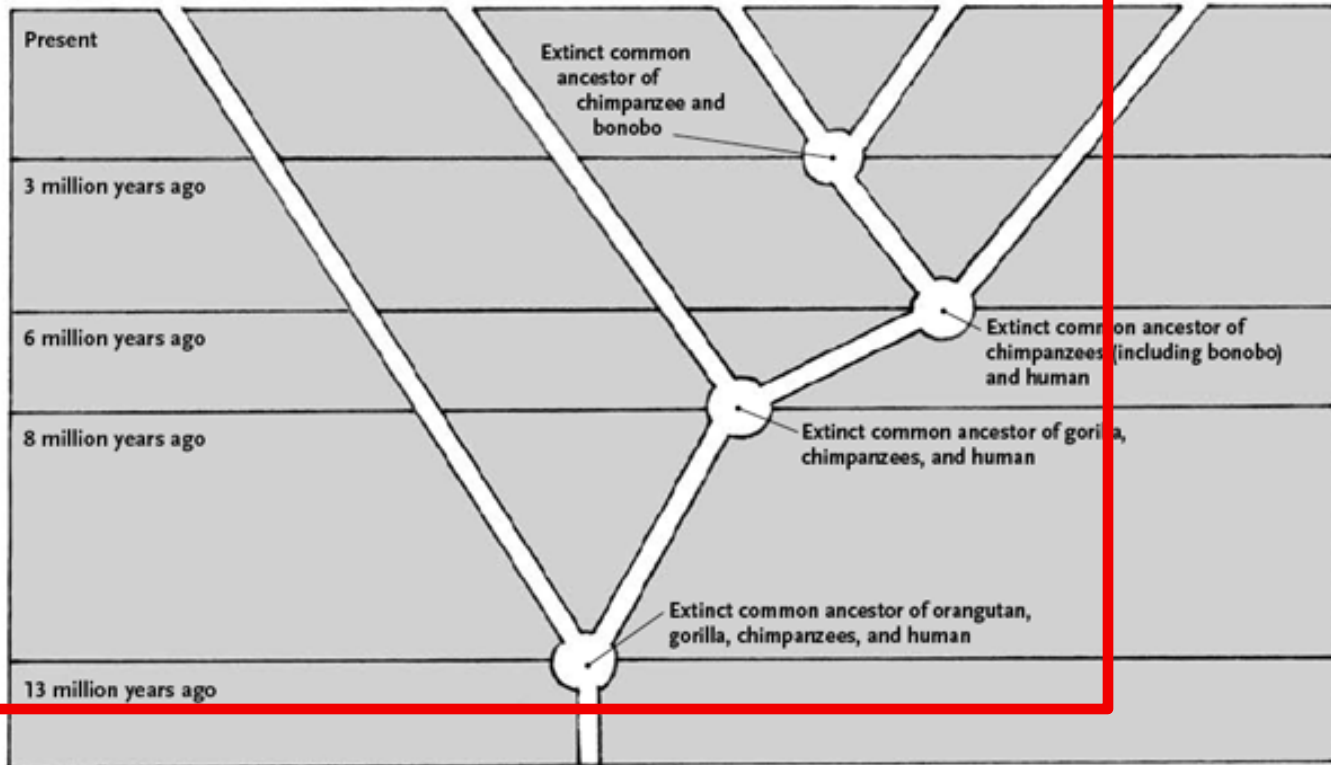
Chimpanzee
48 chromosomes
(24 pairs)



Bonobo
48 chromosomes
(24 pairs)



Human
46 chromosomes
(23 pairs)



znaky:

pleziomorfní (= původní, „primitivní“)

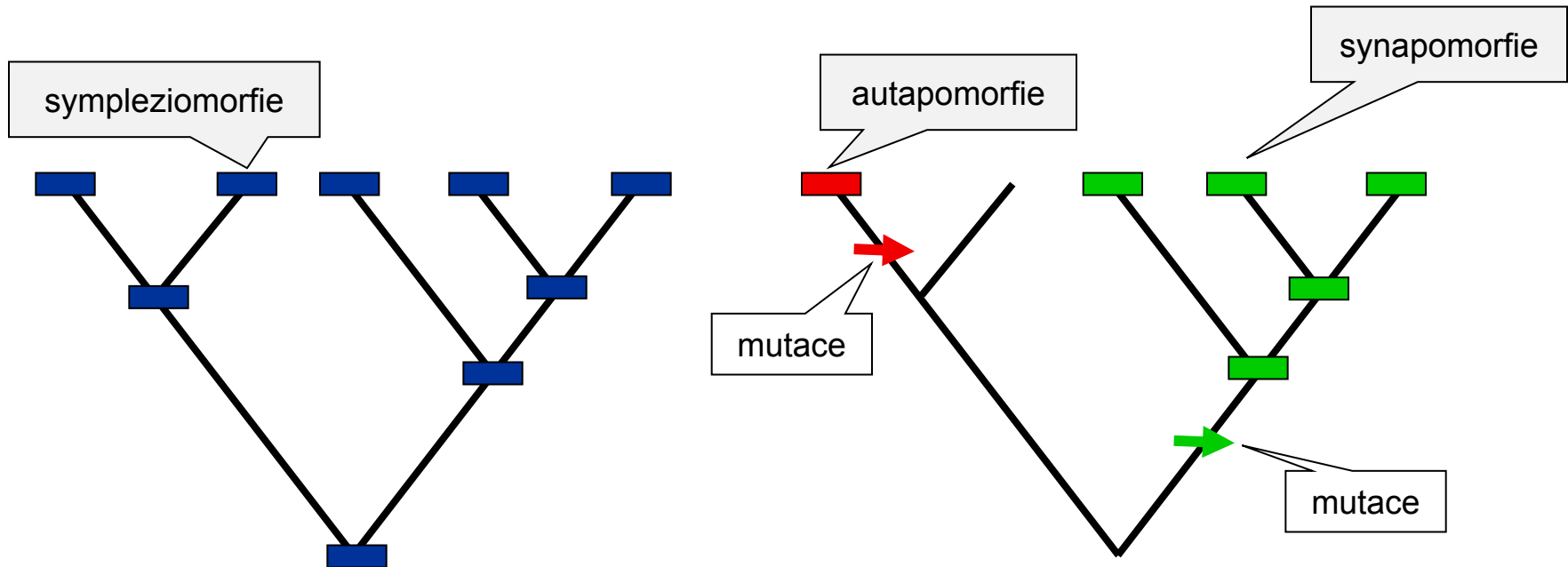
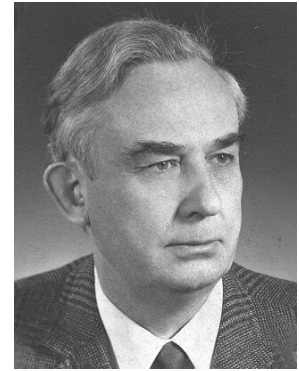
sympleziomorfní (= sdílené původní)

apomorfní (= odvozené)

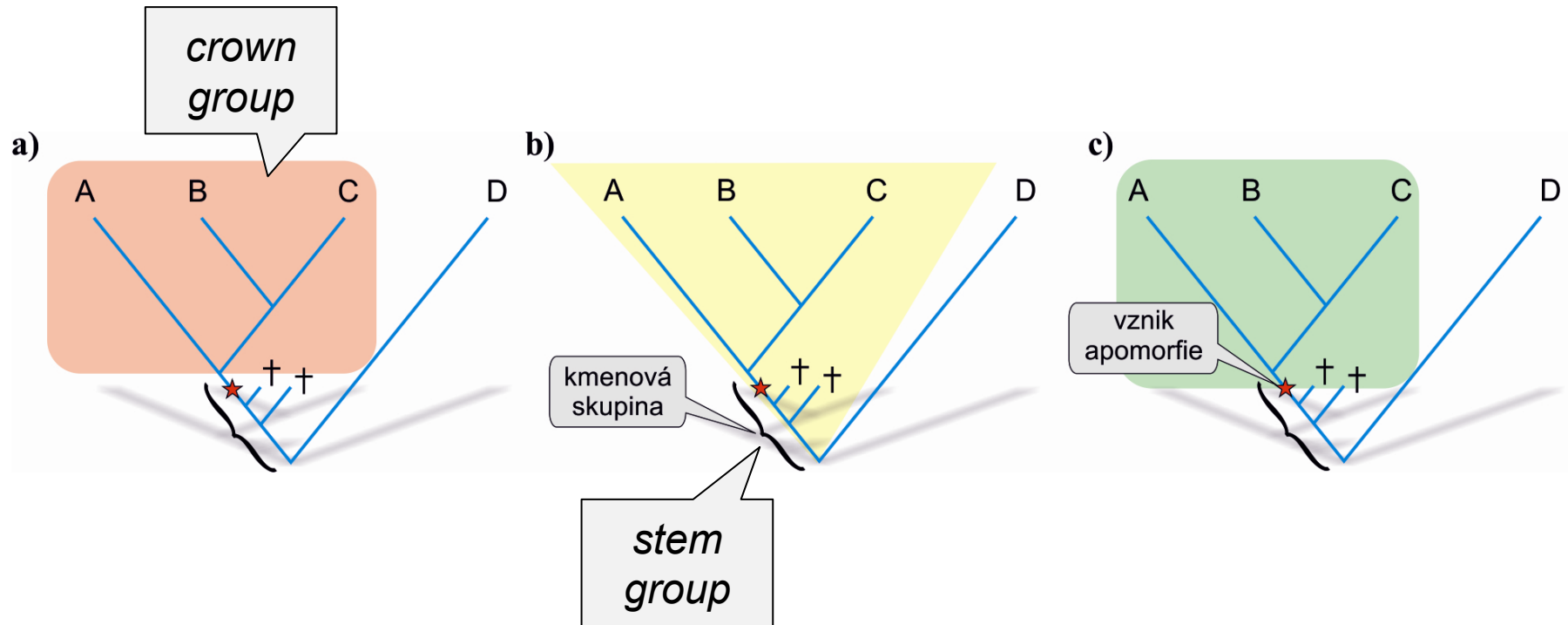
synapomorfní (= sdílené odvozené)

autapomorfní (= specifické odvozené)

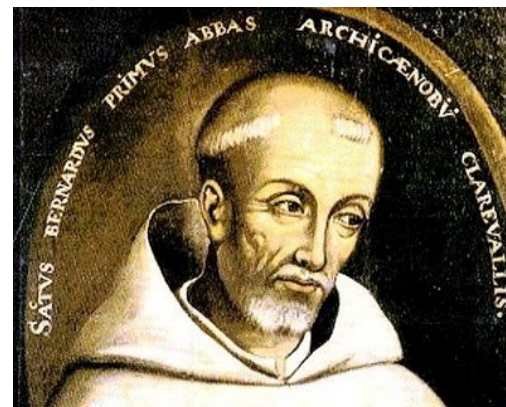
klady definovány pouze na základě synapomorfii



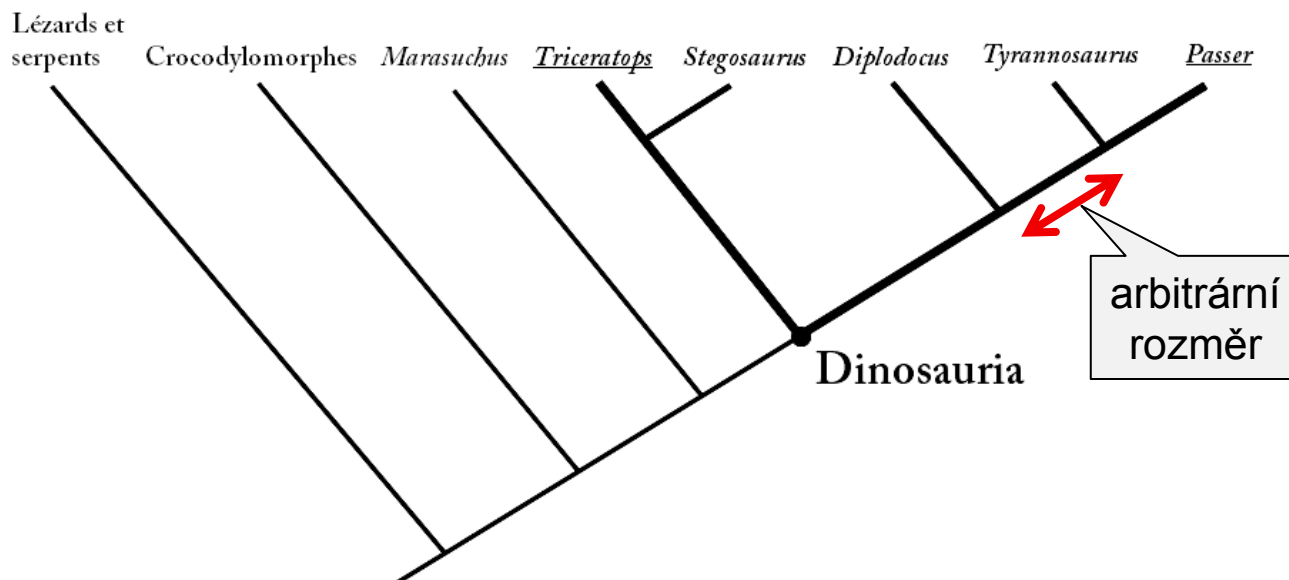
Definice kladů a klasifikace vymřelých taxonů:



princip parsimonie: Occamova břitva
(William of Ockham, 14. stol.)



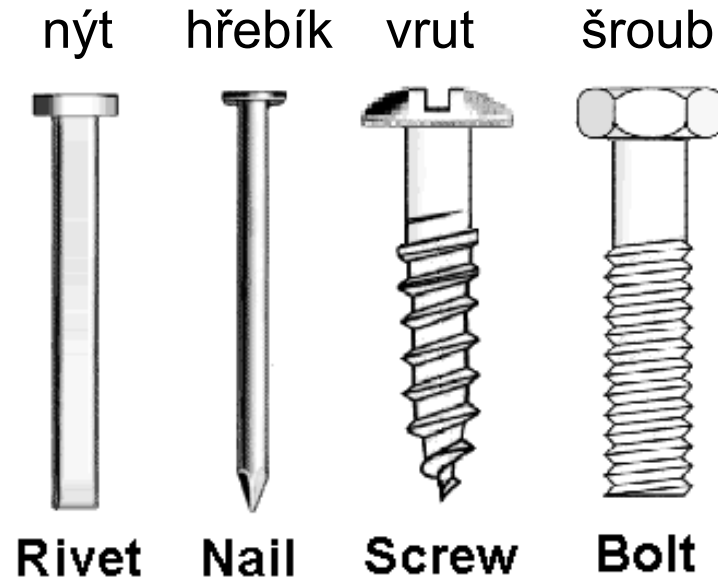
kladogramy



PhyloCode (*International Code of Phylogenetic Nomenclature*)
dosud poněkud kontroverzní a málo praktický

problémy: homoplazie, rychlá evoluce

Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů



Nýt má nejjednodušší strukturu a proto předpokládáme, že je nejbliž tvaru společného předka současných spojovacích materiálů

Mezi ostatními typy můžeme definovat 7 odvozených stavů (tj. neexistujících u nýtu):

- 1) hlavička se zářezem,
- 2) zakulacená hlavička,
- 3) šestihranná hlavička,
- 4) dřík se závitem,
- 5) zužující se dřík,
- 6) ostrý hrot,
- 7) silný průměr

Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Stavy znaků všech 4 typů jsou srovnány v tabulce, kde

„0“ = plesiomorfní („nýtovitý“) stav

„1“ = apomorfní (odvozený) stav

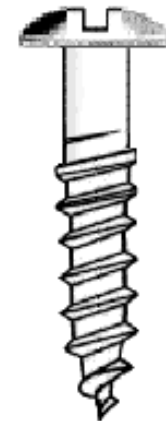
Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch	0	0	1	0
Rounded head	0	0	1	0
Hex head	0	0	0	1
Threaded shaft	0	0	1	1
Tapered shaft	0	0	1	0
Pointed tip	0	1	1	0
Thick diameter	0	0	1	1



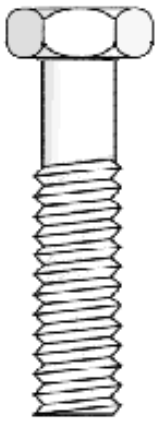
Rivet



Nail



Screw



Bolt

Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch			1	0
Rounded head			1	0
Hex head			0	1
Threaded shaft			1	1
Tapered shaft			1	0
Pointed tip			1	0
Thick diameter			1	1

Phenetic Comparison (Total of all shared states)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	6	1	4
Nail		-	2	3
Screw			-	2
Bolt				-

Jestliže ke klasifikaci typů spojovacích materiálů použijeme **fenetický** přístup, srovnáváme je navzájem počítáním celkového počtu sdílených stavů (jak původních, tak odvozených).

Např. nýt vs. hřebík: 6 podobností, 1 rozdíl

Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Character	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Head notch	0	0	1	0
Rounded head	0	0	1	0
Hex head	0	0	0	1
Threaded shaft	0	0	0	0
Tapered shaft	0	0	1	0
Pointed tip	0	0	0	0
Thick diameter	0	0	0	0

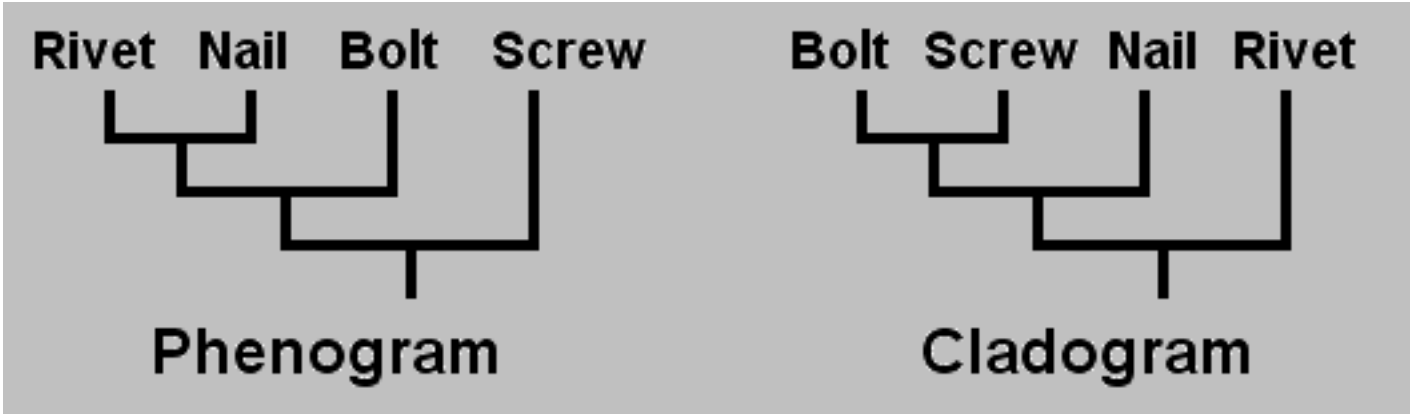
Cladistic Comparison (Total of derived states only)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	0	0	0
Nail		-	1	0
Screw			-	2
Bolt				-

Jestliže ke klasifikaci typů spojovacích materiálů použijeme **kladistický** přístup, srovnání je založeno pouze na počtu odvozených stavů.

Např. šroub vs. vrut: 2 **synapomorfie**

Kladistika a fenetika na příkladu „evoluce“ spojovacích materiálů

Phenetic Comparison (Total of all shared states)					Cladistic Comparison (Total of derived states only)				
	Rivet	Nail	Screw	Bolt		Rivet	Nail	Screw	Bolt
Rivet	-	6	1	4	Rivet	-	0	0	0
Nail		-	2	3	Nail		-	1	0
Screw			-	2	Screw			-	2
Bolt				-	Bolt				-



Evoluční systematika - reakce

fylogenetické vztahy + rozsah divergence \Rightarrow kombinace fenetického a kladistického přístupu

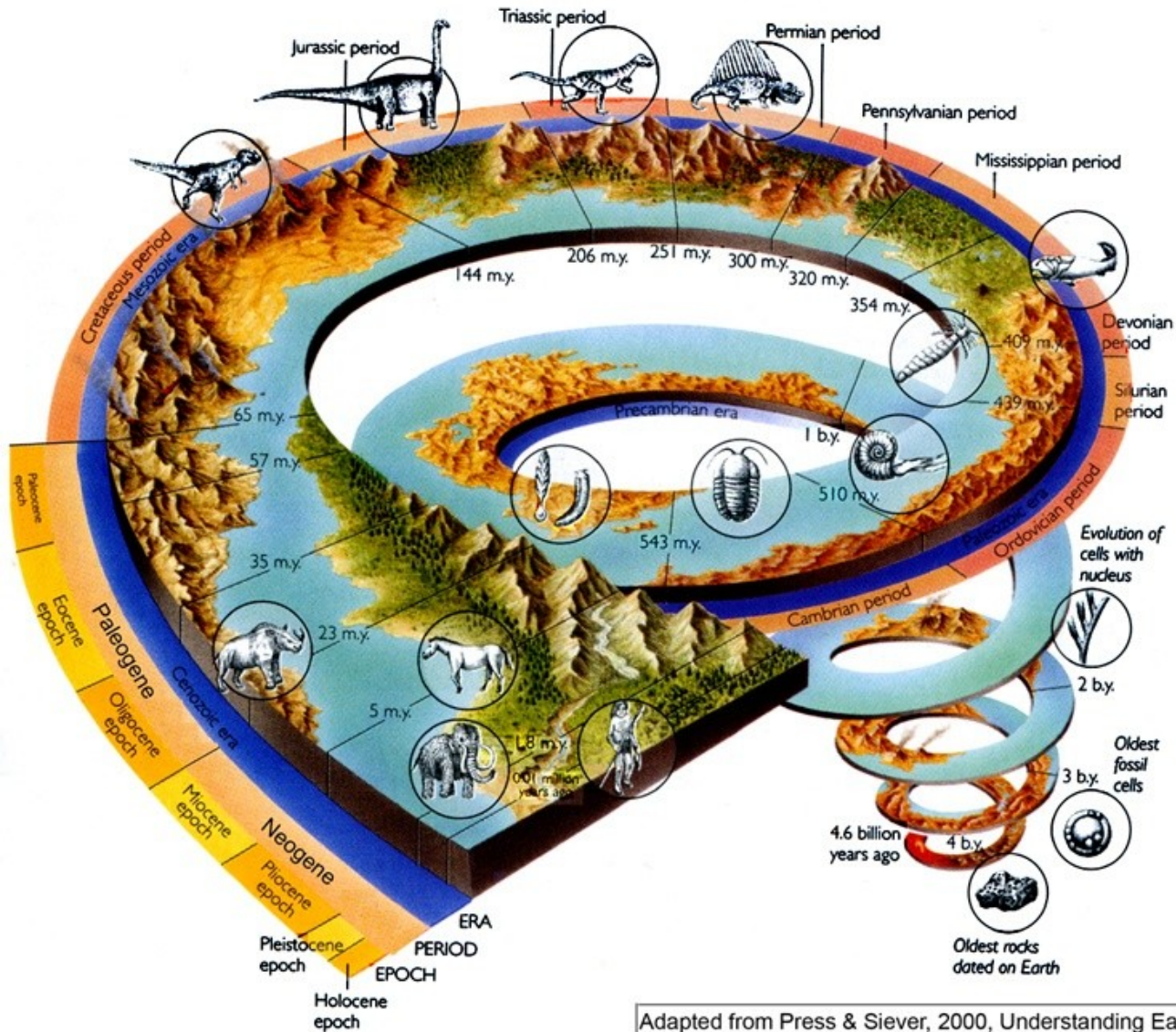
reflexe kladů i gradů

grad = skupina druhů, ze které vznikla jiná skupina, jejíž rozrůznění od ancestrální dosáhlo vysokého stupně (plazi, ještěři, ryby v tradičním pojetí)

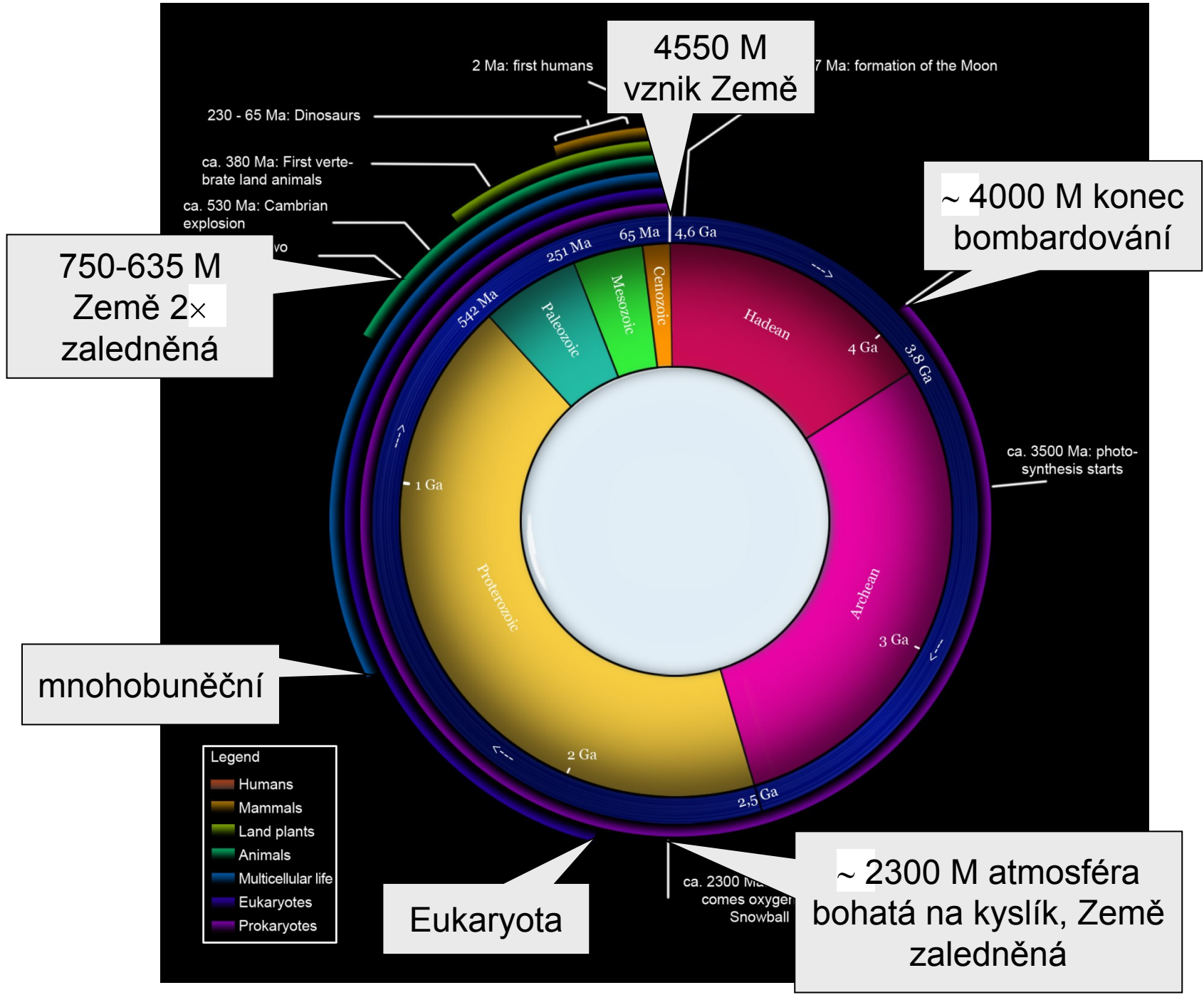


E. Mayr

HISTORIE ŽIVOTA NA ZEMI



Adapted from Press & Siever, 2000, Understanding Earth



4550 M
vznik Země

7 Ma: formation of the Moon

2 Ma: first humans

230 - 65 Ma: Dinosaurs

ca. 380 Ma: First vertebrate land animals

ca. 530 Ma: Cambrian explosion

~ 4000 M konec bombardování

750-635 M
Země 2x zaledněná

ca. 3500 Ma: photosynthesis starts

mnohobuněční

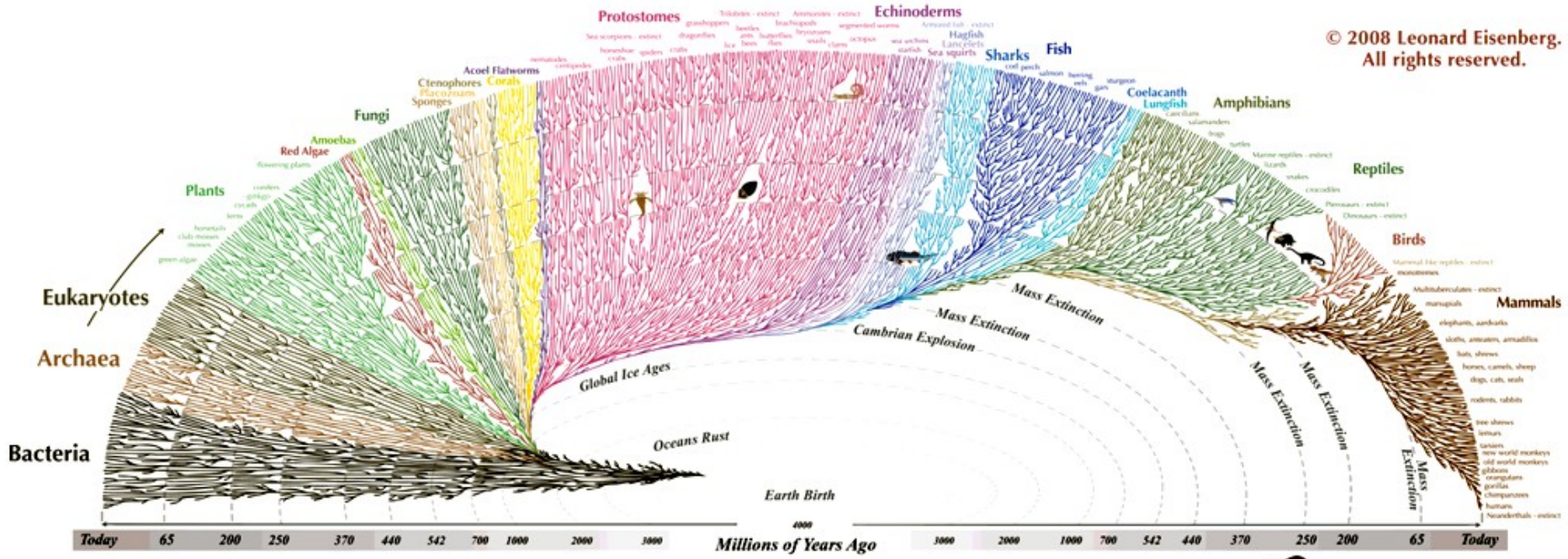
- Legend
- Humans
 - Mammals
 - Land plants
 - Animals
 - Multicellular life
 - Eukaryotes
 - Prokaryotes


Eukaryota

ca. 2300 M atmosféra bohatá na kyslík, Země zaledněná (Snowball Earth)

~ 2300 M atmosféra bohatá na kyslík, Země zaledněná

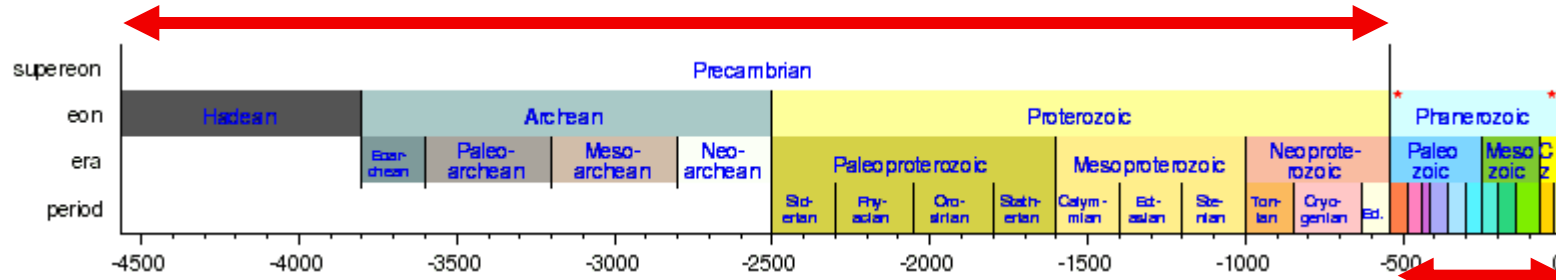
© 2008 Leonard Eisenberg.
All rights reserved.



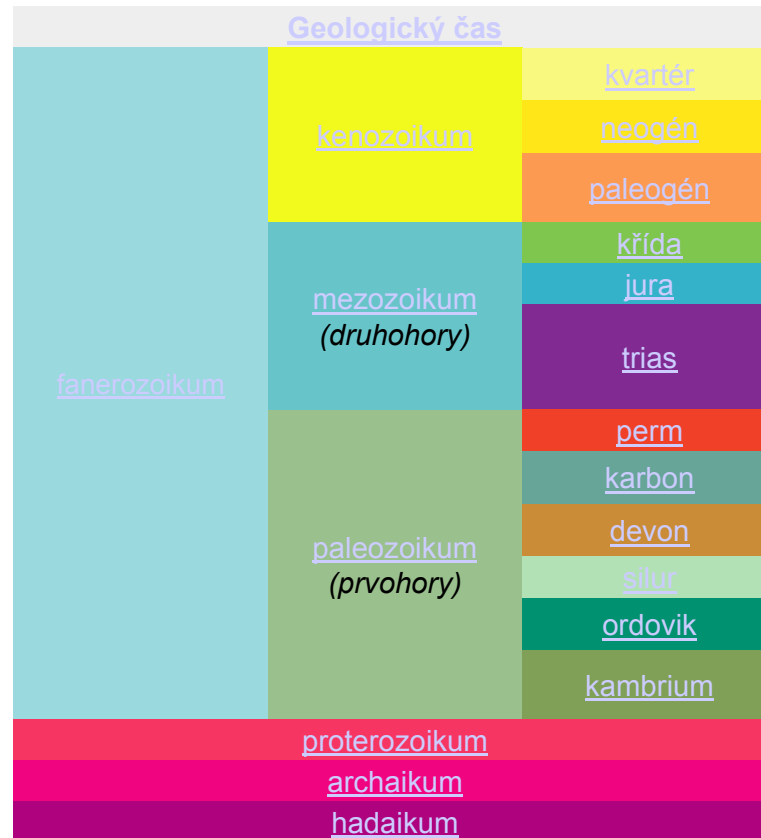
All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs - extinct 

© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved.
evgenia.com

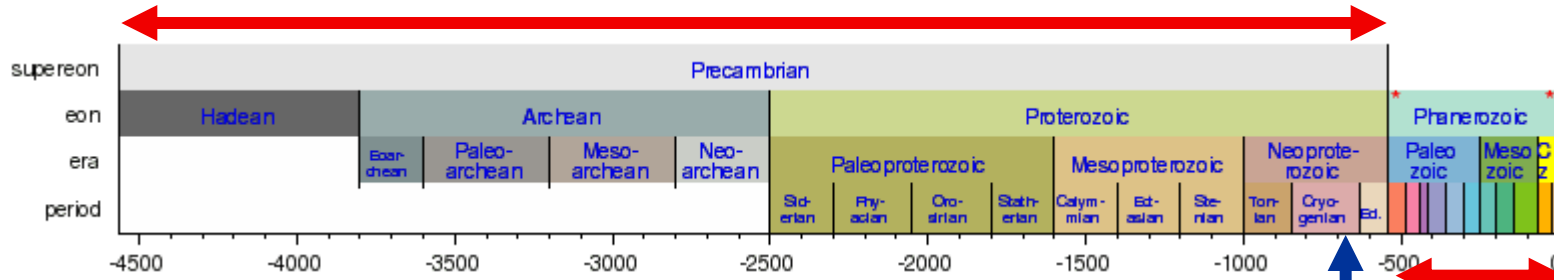
Prekambrium



eon Hadaikum (Hadean) Archaikum (Archean) Proterozoikum (Proterozoic) Fanerozoikum



Prekambrium



eon Hadaikum (Hadean) Archaikum (Archean) Proterozoikum (Proterozoic) Fanerozoikum

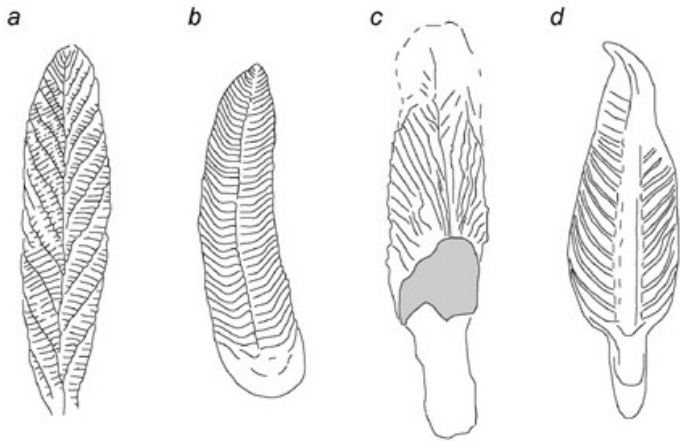
Ediakarská fauna (Vendian) ~635-542 M



Charnwood, Leicestershire ~ 560 M

Mistaken Point, Newfoundland ~ 565 M





Charnia

Charnia

Spriggina

Stromatoveris

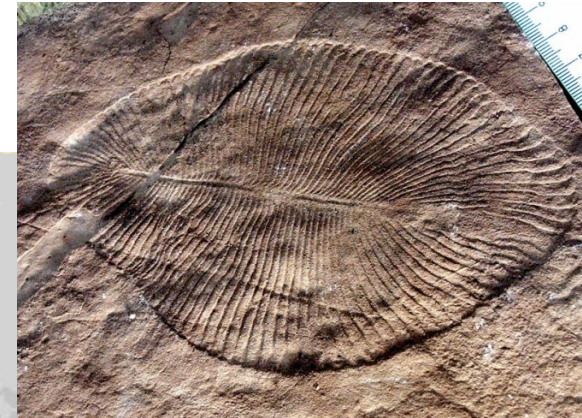
Thaumaptilon



Ediacara Hills,
Australie



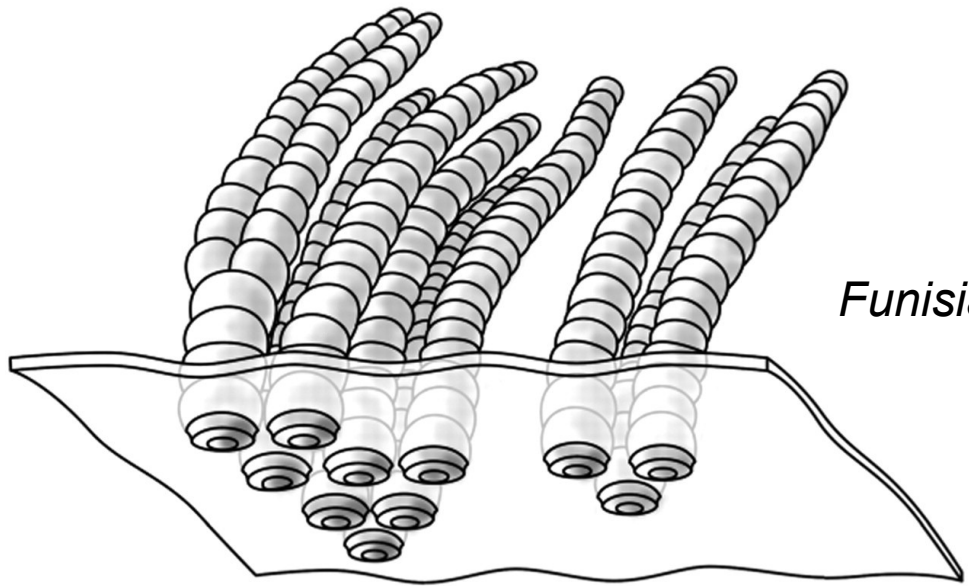
Spriggina



Dickinsonia
~ 580 M

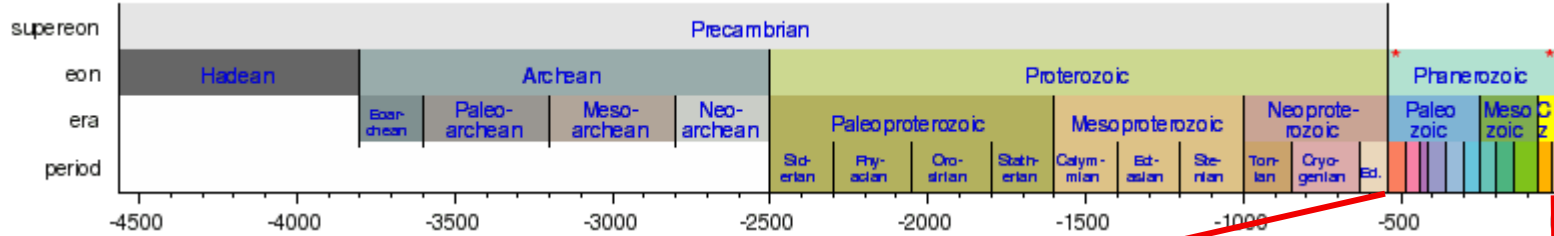


Spriggina



Funisia: sex?

Fanerozoikum

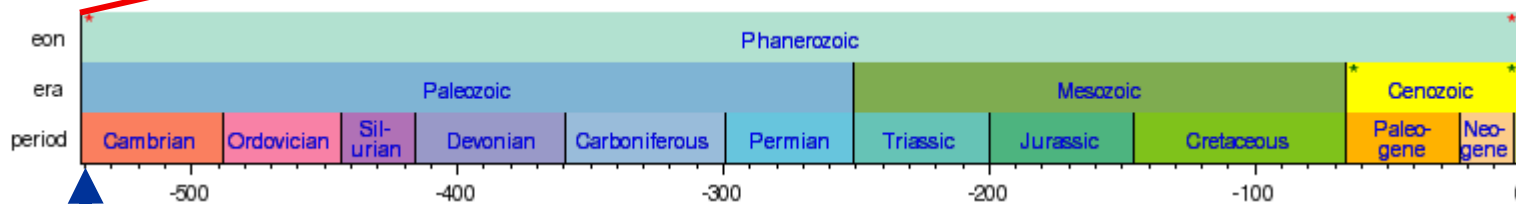


éra

Paleozoikum

Mezozoikum

Kenozoikum



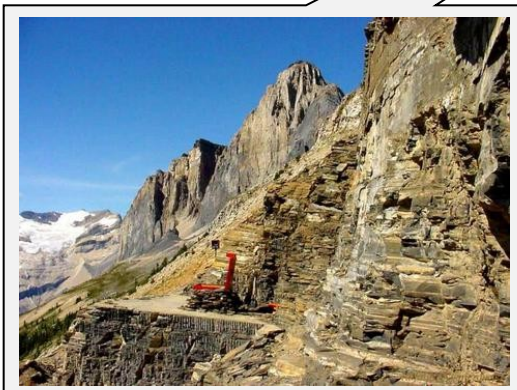
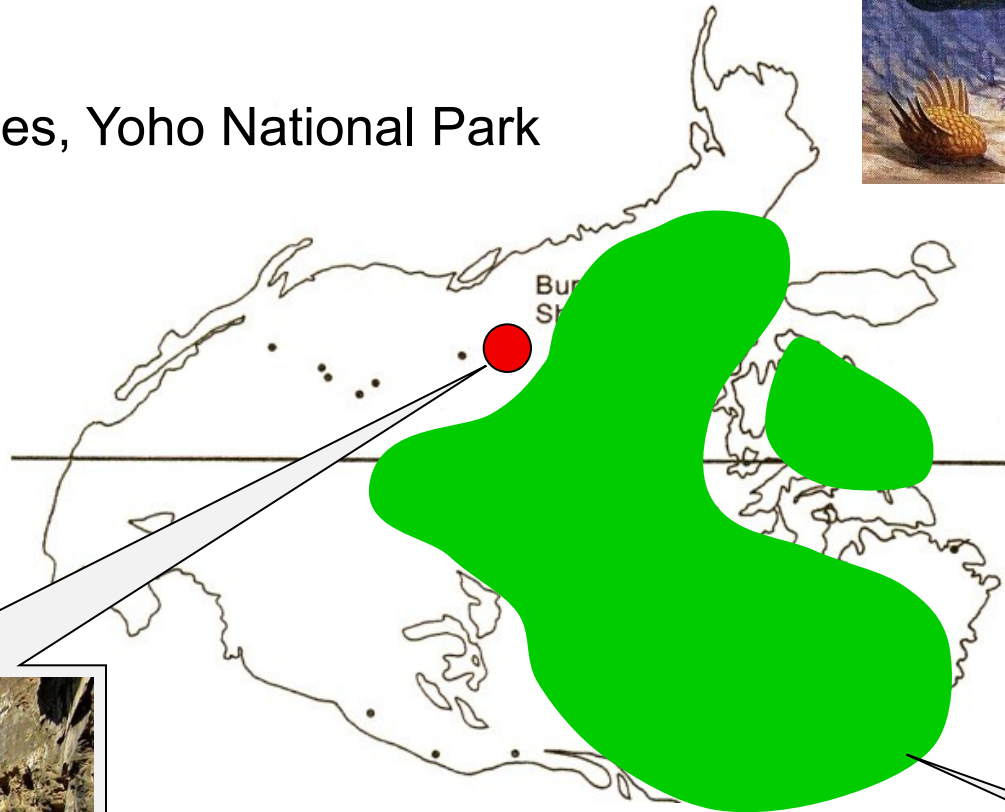
kambrická exploze
~ 542-520 M

Kambrická exploze

Burgessova břidlice (*Burgess Shale*)

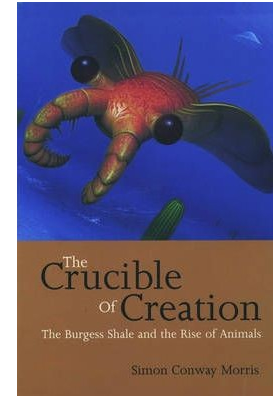
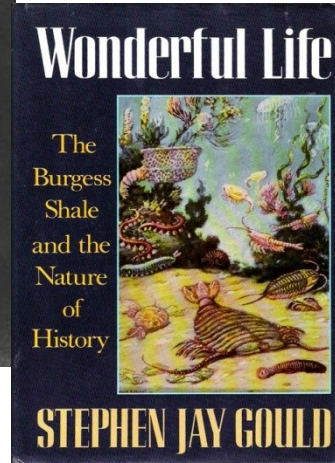
~ 542-520 M

Canadian Rockies, Yoho National Park

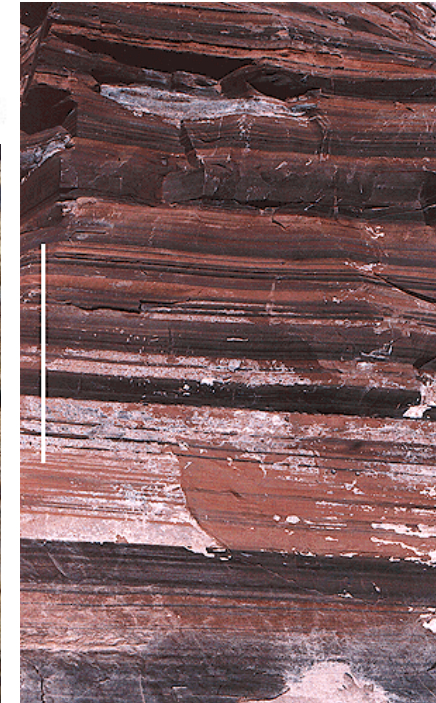


kontinent

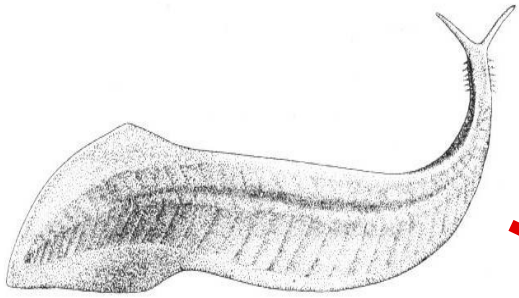
Charles Doolittle Walcott (1909)



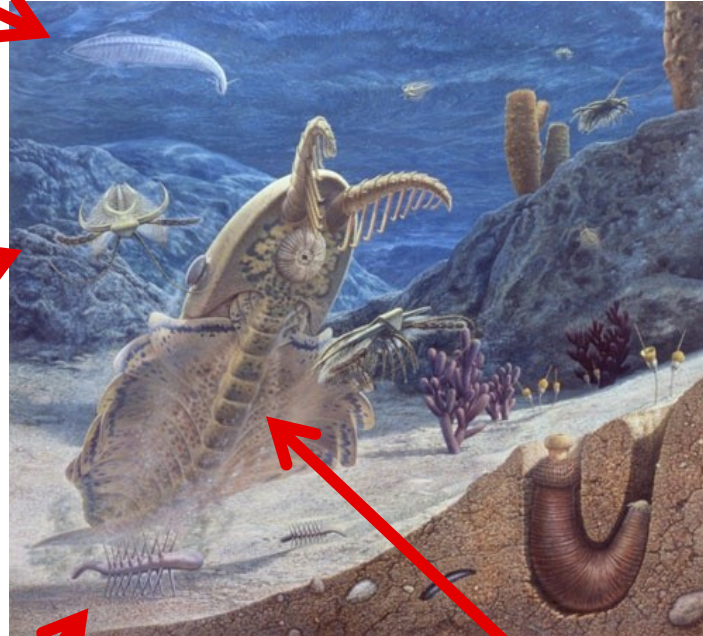
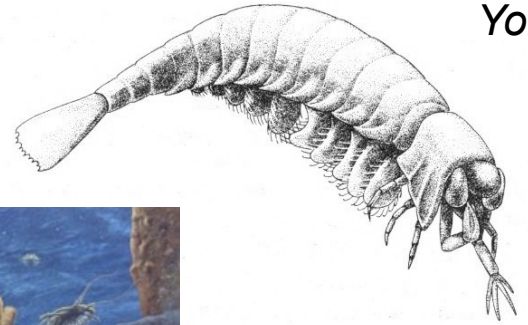
Simon Conway Morris



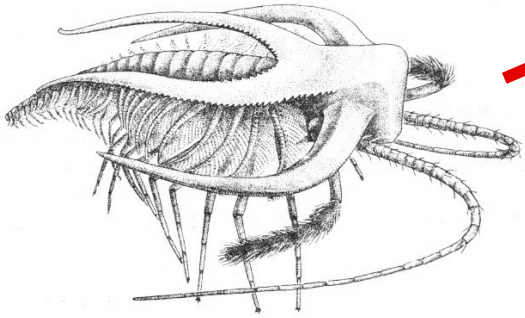
Pikaia gracilens



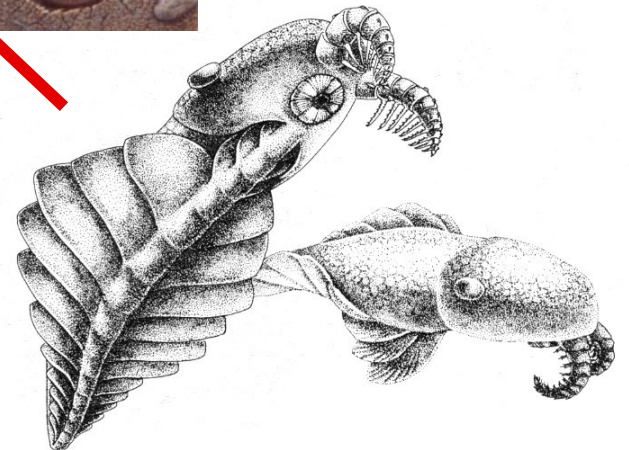
Yohoia



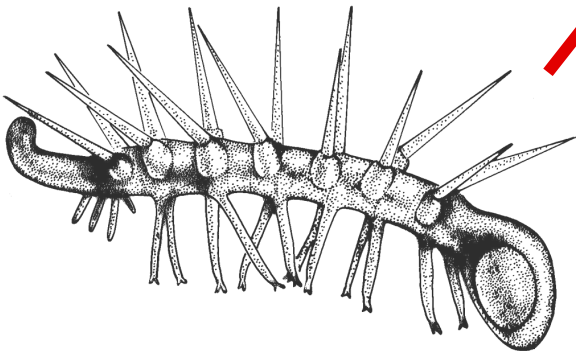
Marella



Anomalocaris nathorsti

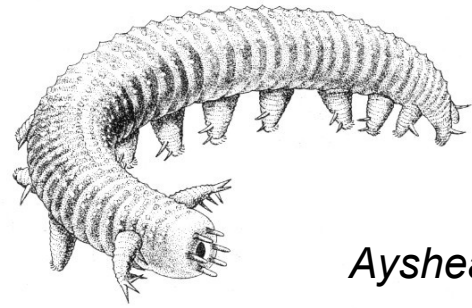
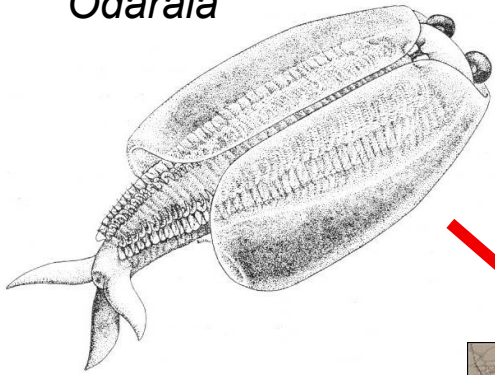


Hallucigenia



A. canadensis

Odaraia



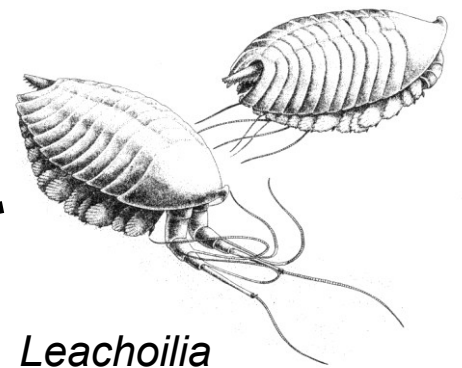
Aysheaia



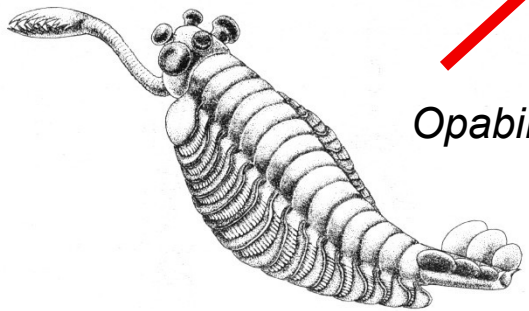
Wiwaxia



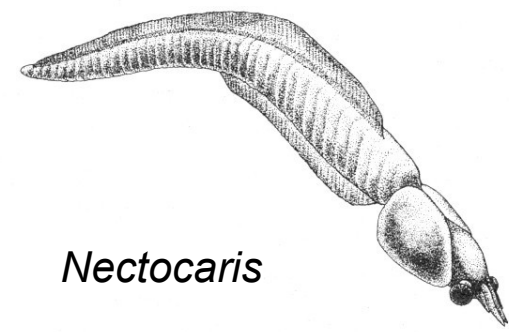
Leachoilia

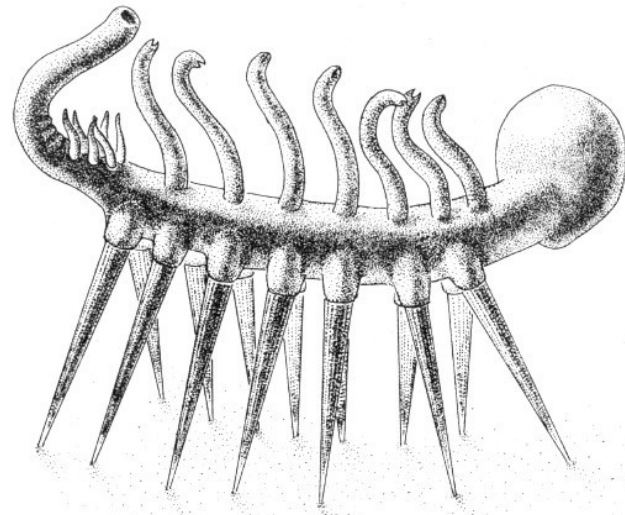
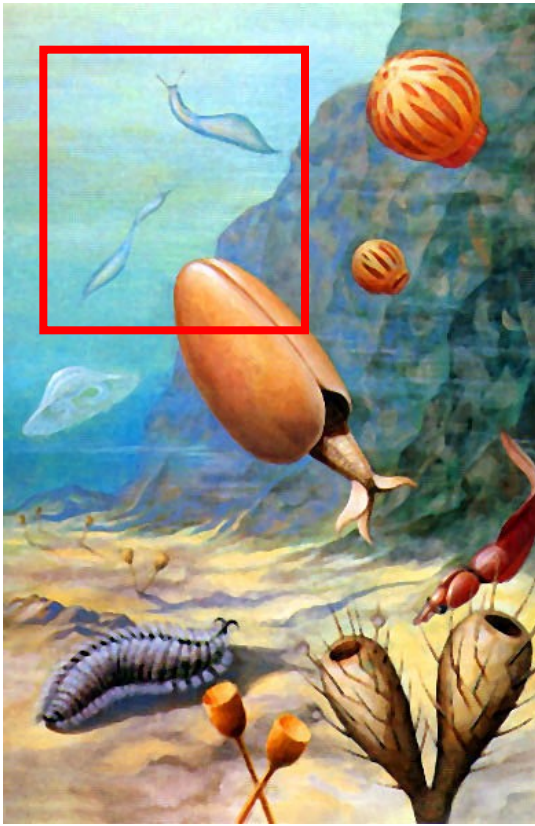


Opabinia

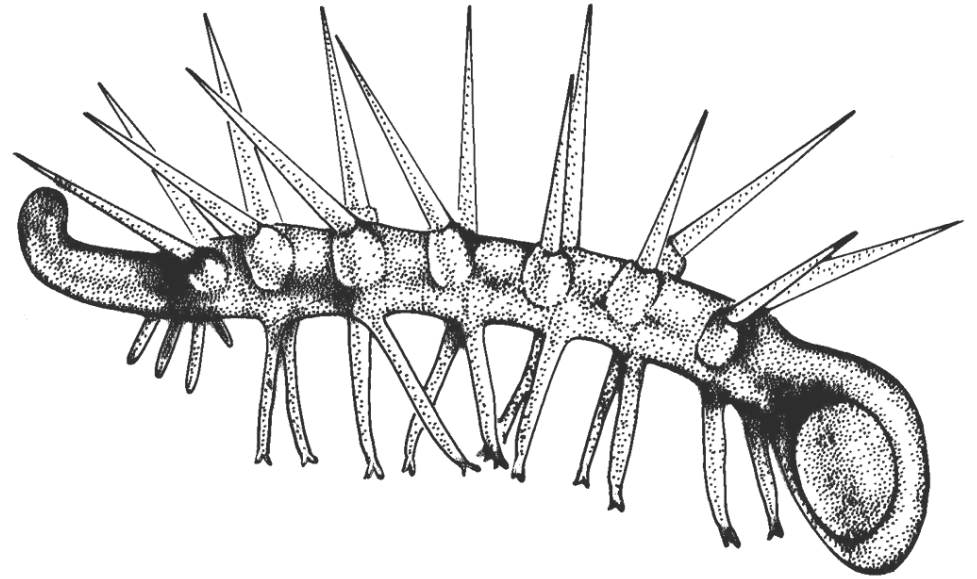


Nectocaris

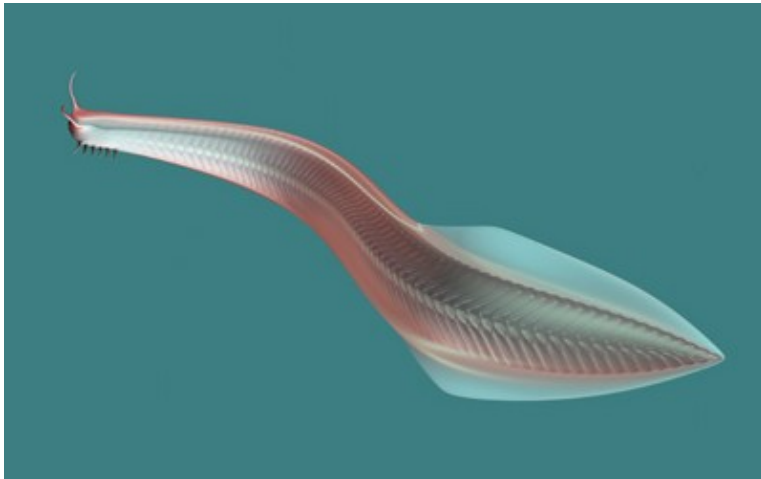


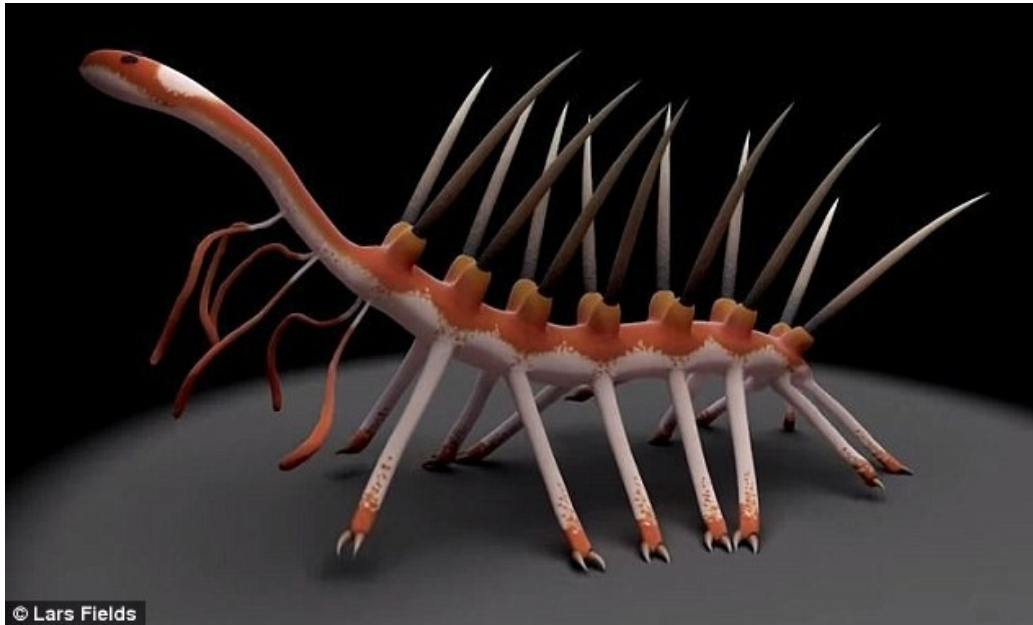
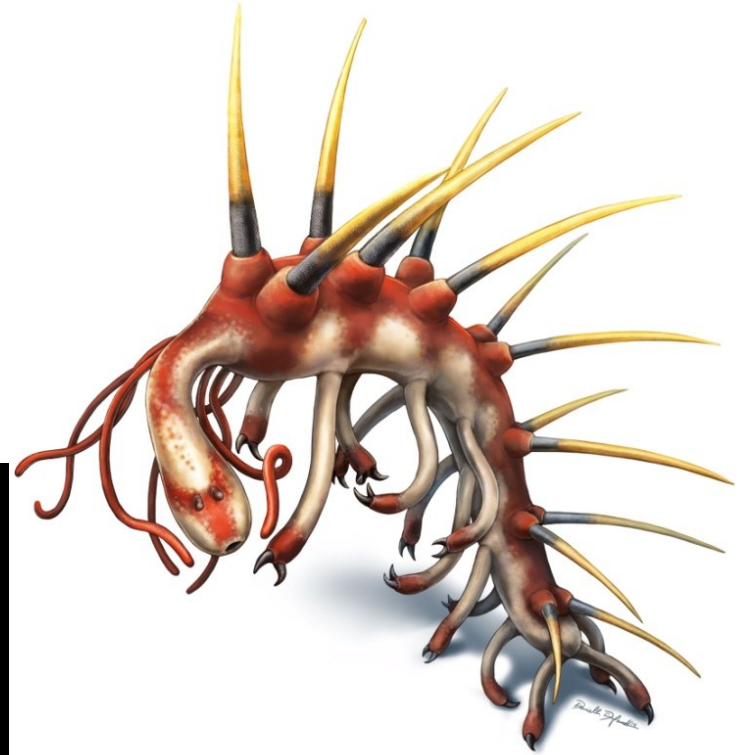


Hallucigenia



Pikaia gracilens (Chordata)



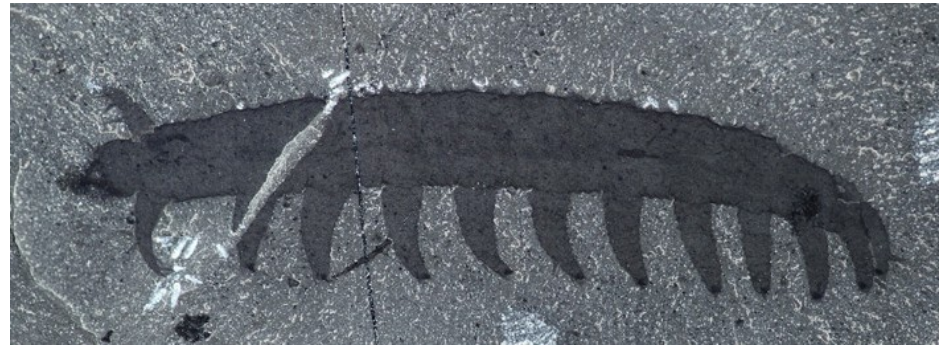


© Lars Fields



Aysheaia

Prechod z moře na souš?



drápkovci
(Onychophora)

diverzita a disparita:

interpretace burgesských nálezů

Stephen Jay Gould vs. Simon Conway Morris

diverzita = počet druhů

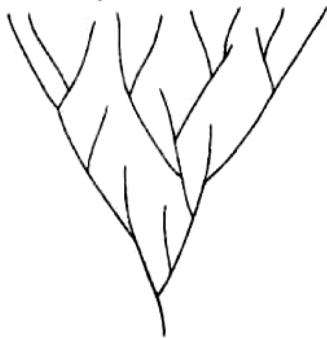
disparita = počet stavebních plánů (morfologická rozmanitost)

Gould

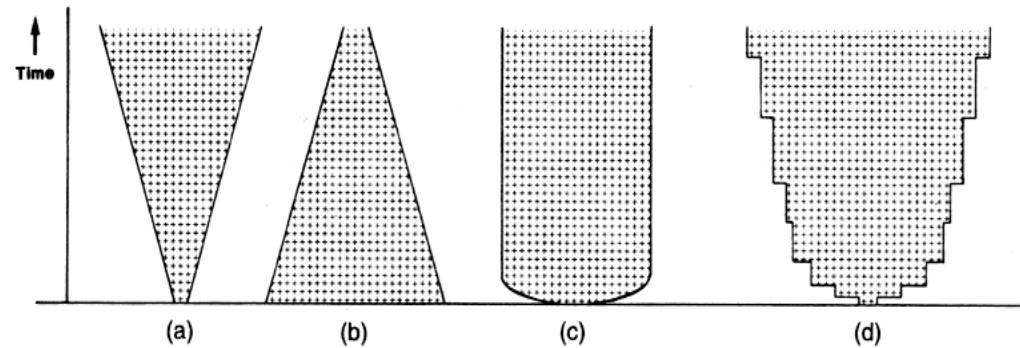
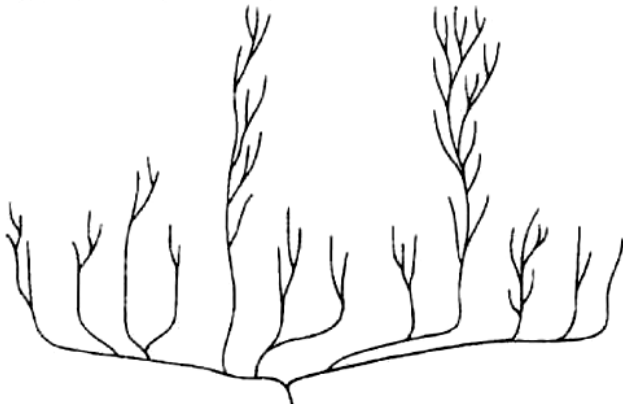


Conway Morris

The Cone of Increasing Diversity



Decimation and Diversification



tradiční

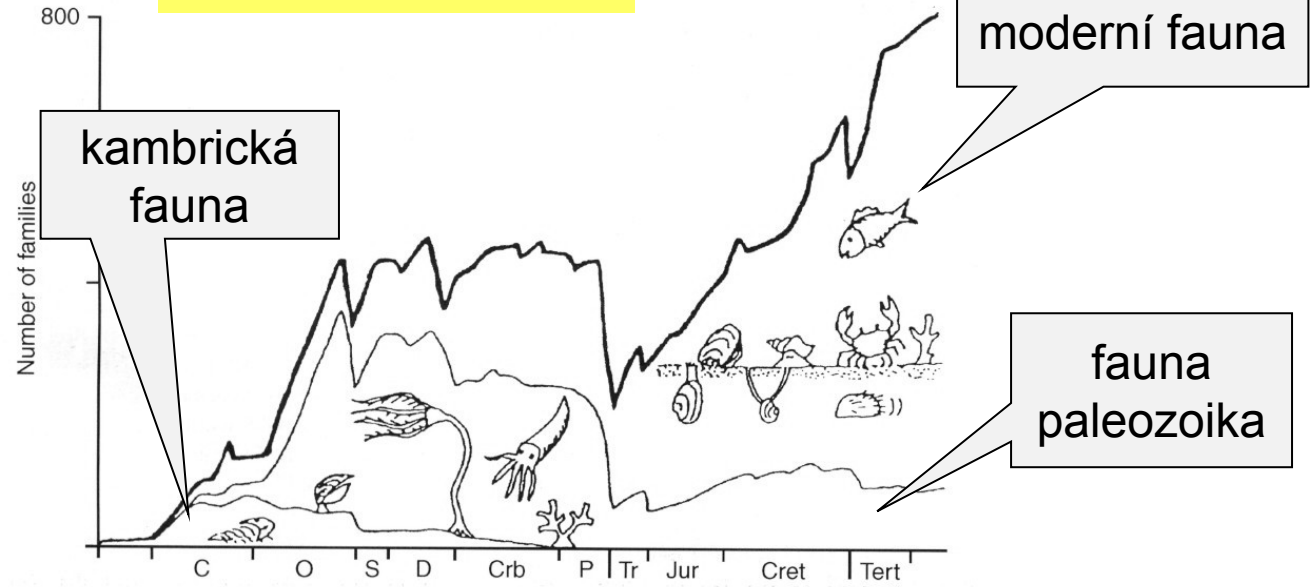
Gould

Conway Morris

růst diverzity



Fanerozoikum

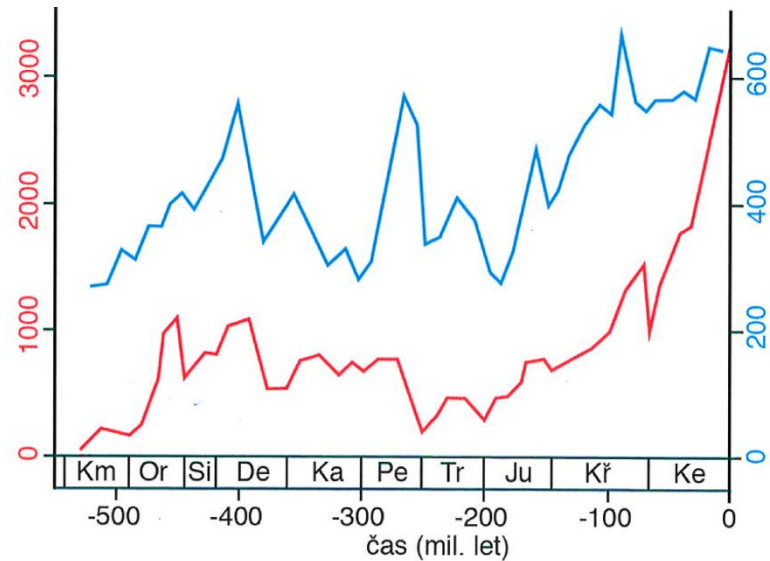
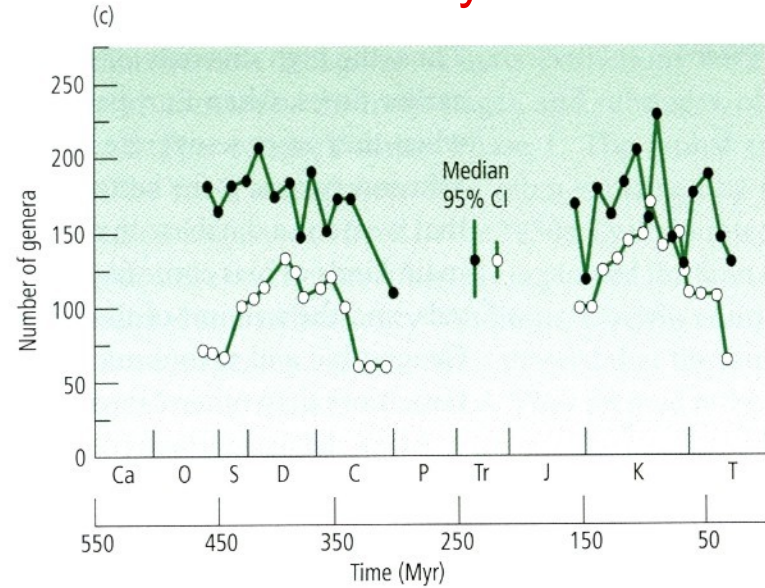
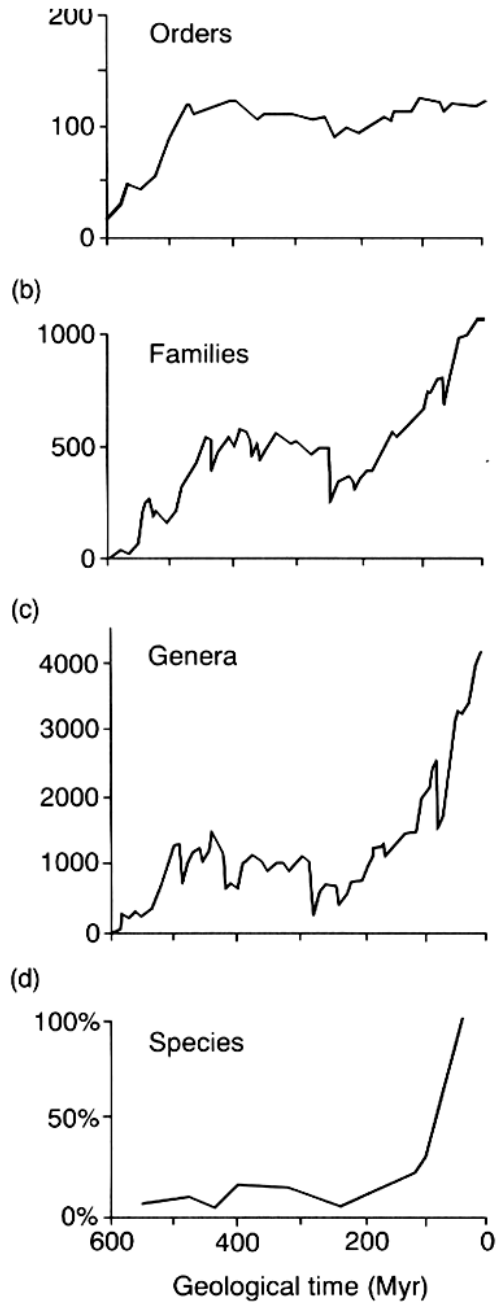


Jack J. Sepkoski (1981): logistický model

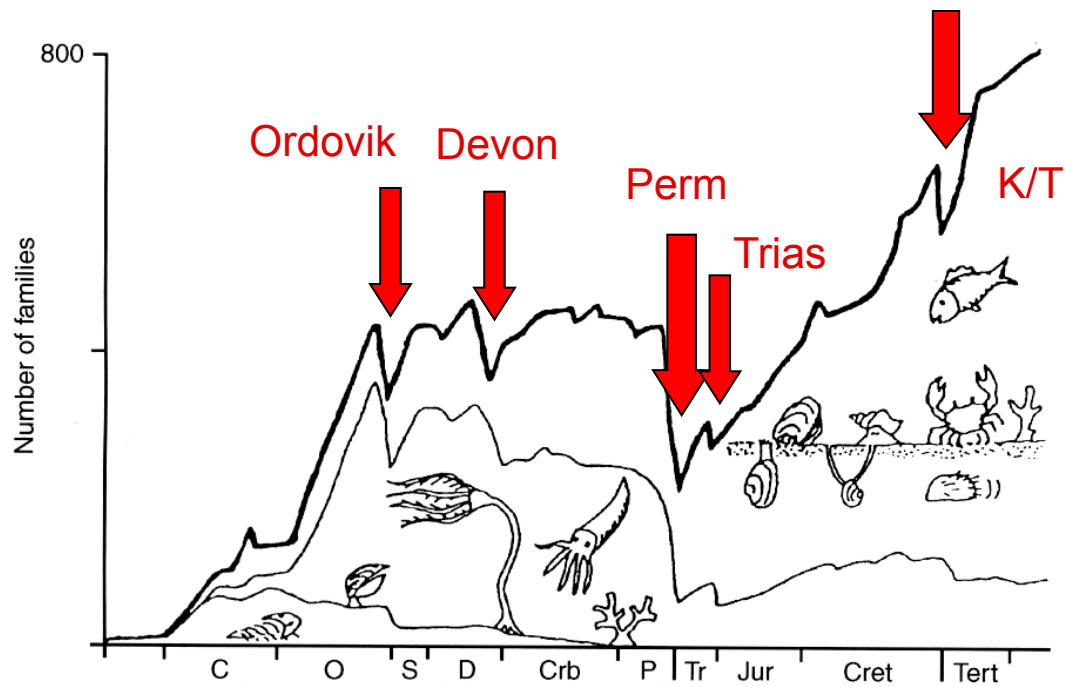
Michael J. Benton (1997):

křivka pro suchozemské organismy odlišná
exponenciální model

bereme-li v úvahu nekompletnost
fossilního záznamu → žádný trend?



Obr. 7.27: Růst globální diverzity: červená křivka popisuje růst počtu „rodů“ na základě prvního a posledního výskytu ve fossilním záznamu, modrá křivka počet „rodů“ po odstranění „tahu přítomnosti“ (viz text).

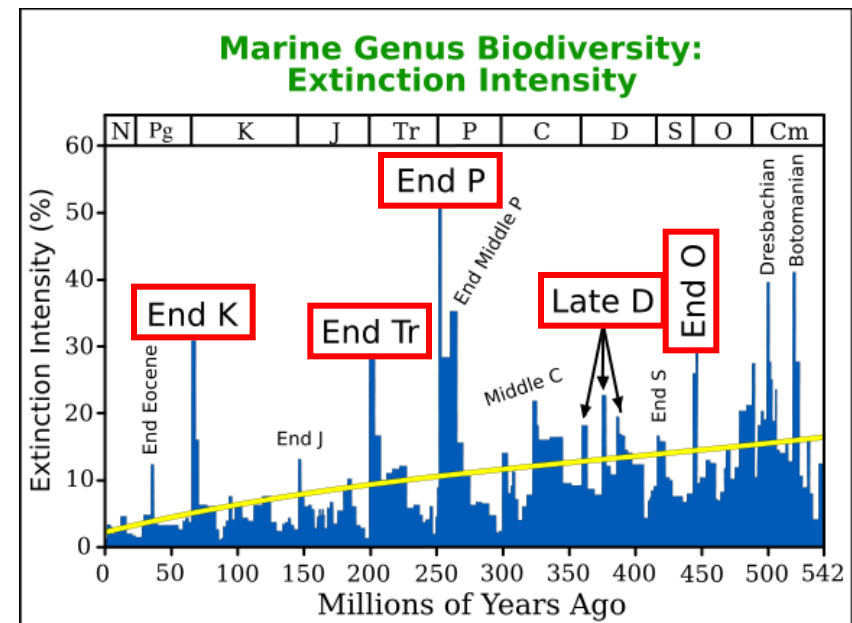


Extinkce:

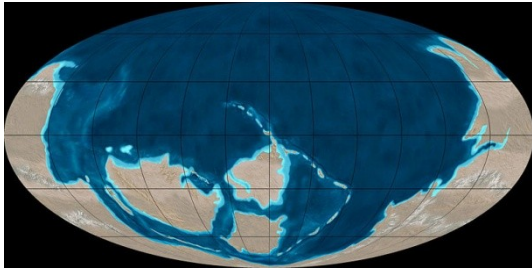
background extinctions („šum“)

masové extinkce → „Velká pětka“

největší: konec Permu

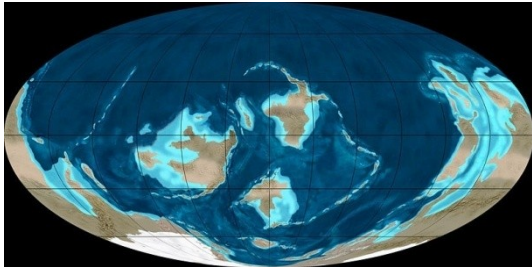


Paleozoikum



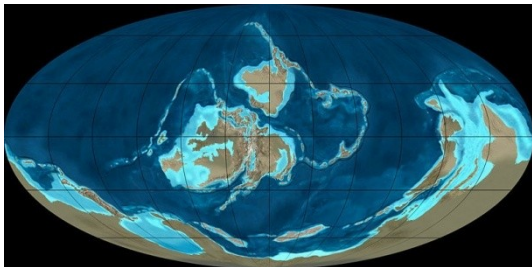
Kambrium:

jediný superkontinent Rodinia (Proterozoikum) → Gondwana, Laurentia, Baltica, Angara (Siberia), Avalonia ...



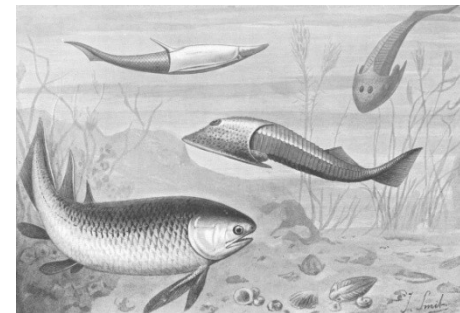
Ordovik:

růst diverzity (mořské o.)
na konci 1. masová extinkce

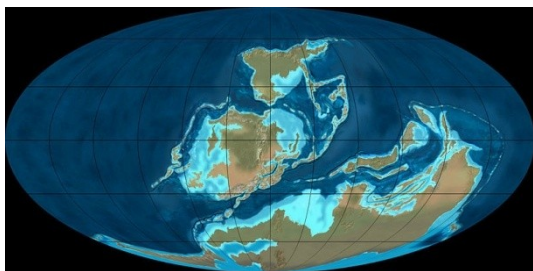


Silur:

čelistnatci
první suchozemské o.
(rostliny, štíři)



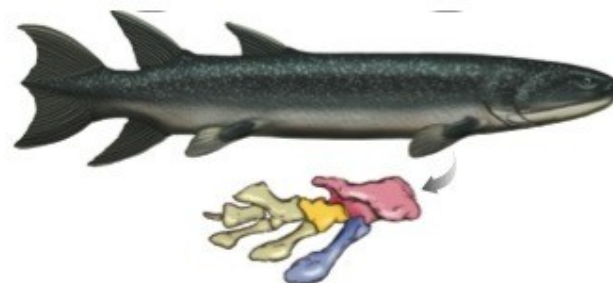
Laurentia+Baltica = Laurasia



Devon:

radiace ryb, první žraloci, lalokoploutví, obojživelníci
na konci 2. masová extinkce

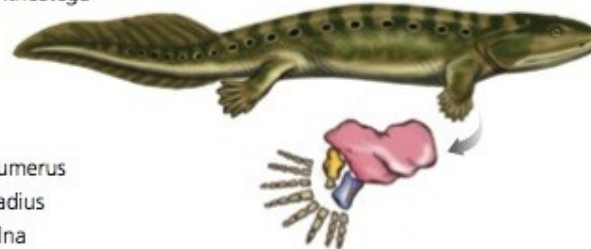
Eusthenopteron



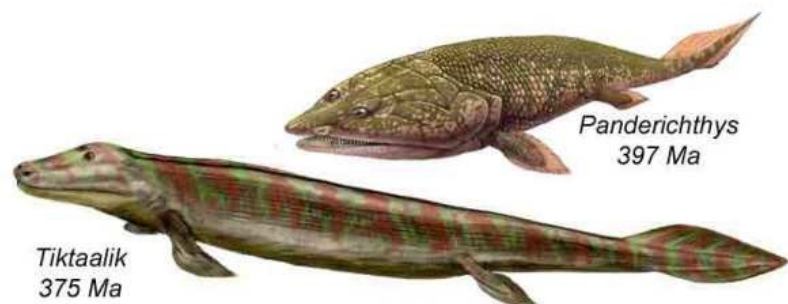
Tiktaalik



Acanthostega



■ Humerus
■ Radius
■ Ulna



Panderichthys
397 Ma

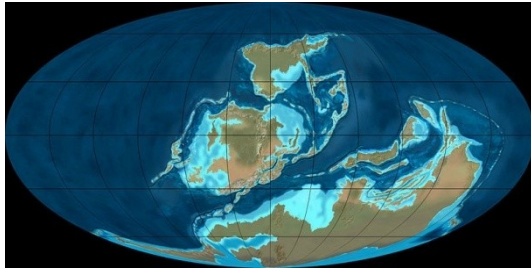
Tiktaalik
375 Ma



Acanthostega
360 Ma

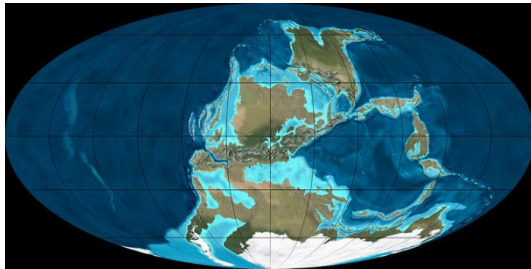


Ichthyostega
365 Ma



Devon:

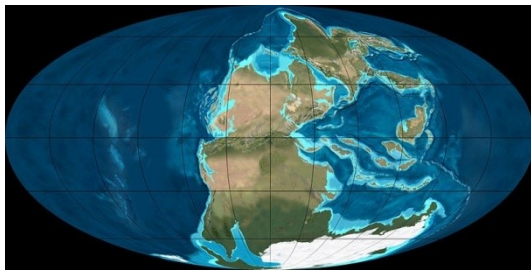
radiace ryb, první žraloci, lalokoploutví, obojživelníci
na konci 2. masová extinkce



Karbon:

přesličky, hmyz, první plazi

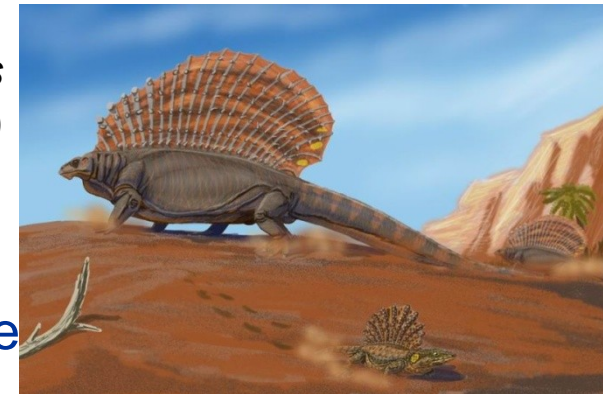
Archaeothyris
(Synapsida)



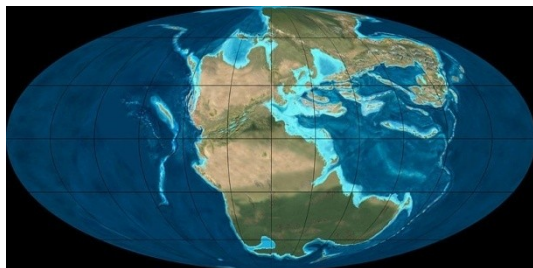
Perm:

Pangea
Therapsida (→ savci)
na konci 3. masová extinkce

Edaphosaurus
(Pelycosauria)



Mezozoikum



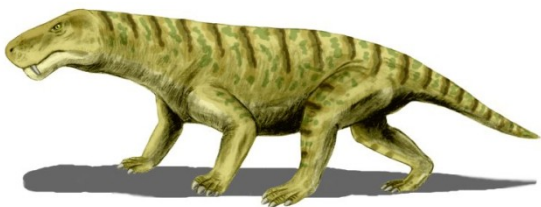
Trias:

motýli, dvojkřídli

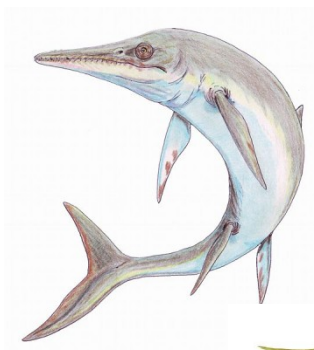
radiace plazů (želvy, ichthyosauři, plesiosauři, pterosauři)

konec triasu: dinosauři, savci, 4. extinkce

synapsidní plaz
Pelycosauria
(*Palaeohatteria*)



Therapsida



ichthyosauři



plesiosauři



cynodont
(*Cynognathus*)



pterosauři



primitivní savec (*Castorocauda*)

Evolution savců

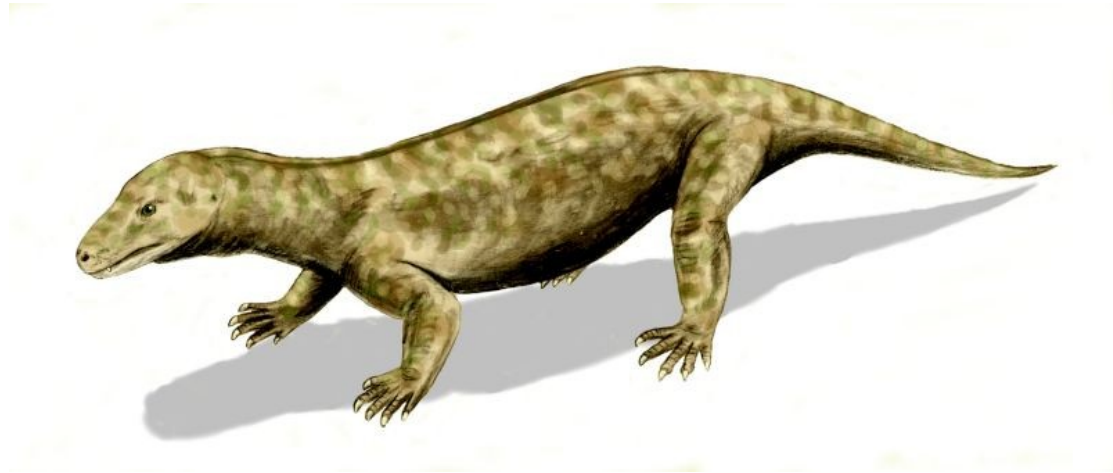
Sphenacodon: spodní perm (270 M) – spodní čelist z více kostí, zakloubení čelisti plazí, žádný bubínek

Biarmosuchia: svrchní perm – jeden z nejranějších terapsidů, zakloubení čelisti více savčí, horní čelist srostlá, zadní nohy vzpřímenější

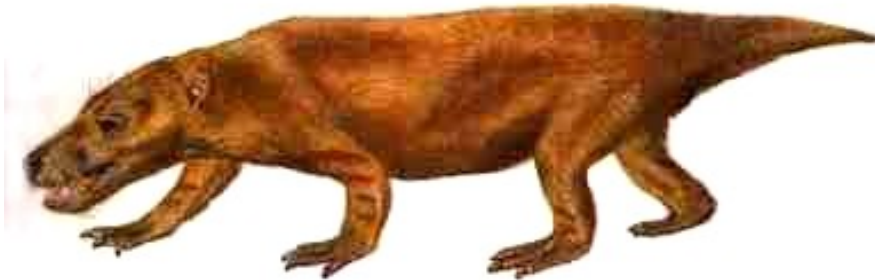


Biarmosuchus

Procynosuchus: konec permu – primitivní cynodont



Thrinaxodon: spodní trias – odvozenější cynodont, bubínek ve spodní čelisti



Probainognathus: střední trias (~ 235 M) – 2 klouby, savčí a plazí

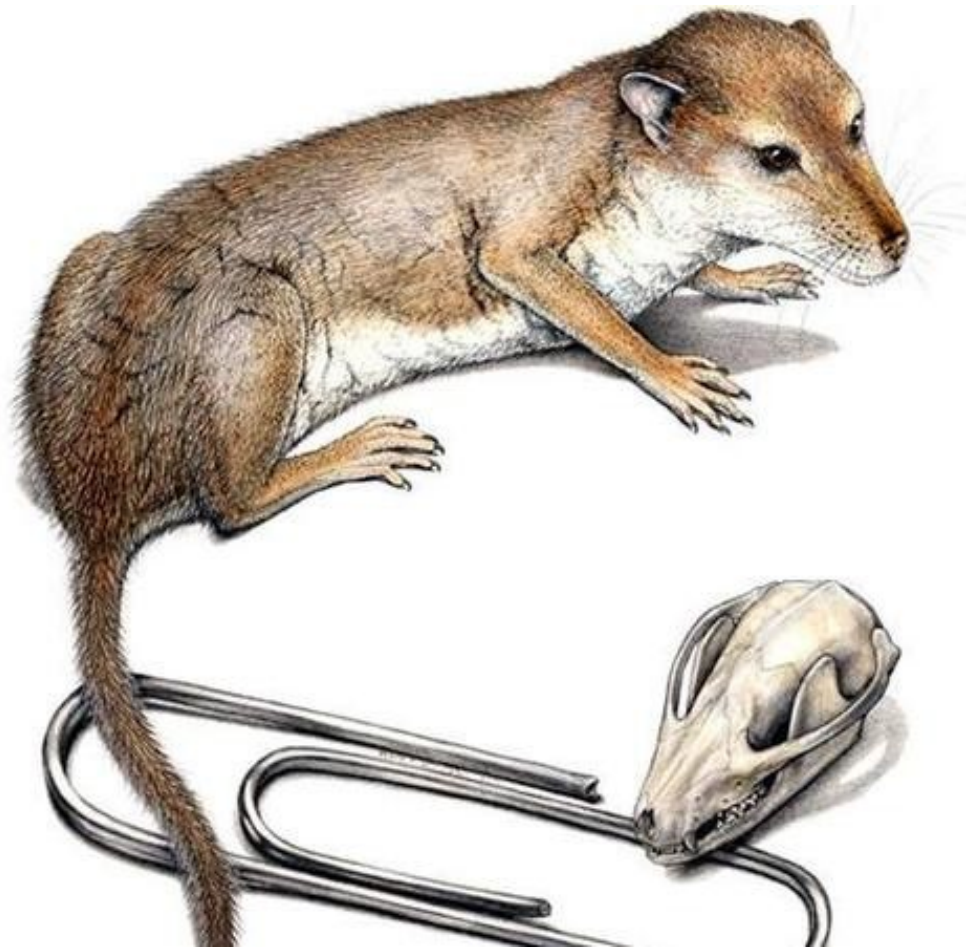


Diarbrognathus: spodní jura (~ 209 M) – pokročilý cynodont, sice pořád 2 klouby, ale plazi používán téměř zcela ke slyšení

Morganucodon: spodní jura (~ 220 M)
– stále zbytek plazího kloubu



Hadrocodium: spodní jura – kůstky středního ucha se přesunuly z čelisti do krania

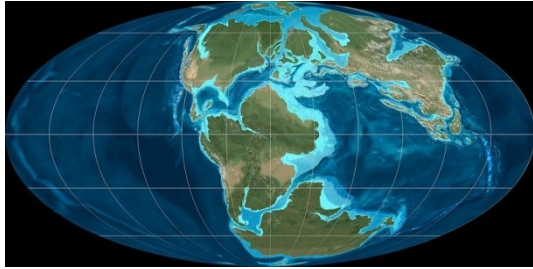


Juramaia sinensis (jurská matka z Číny): první známý placentální savec

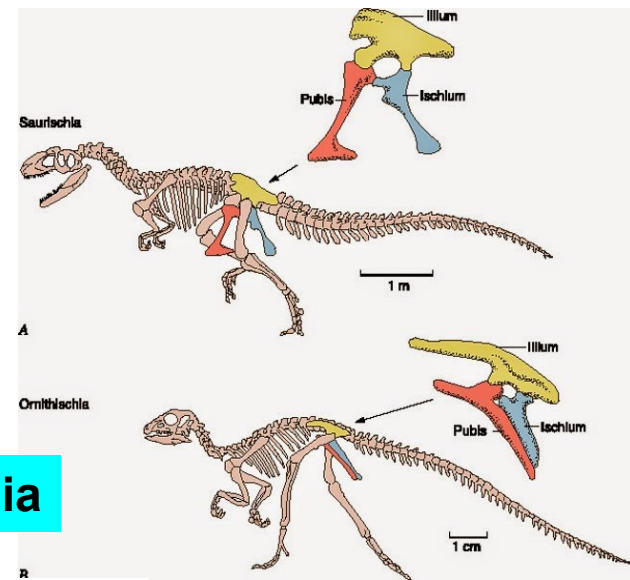
160 M



Mezozoikum



Jura:
kostnaté ryby
evoluce ptáků

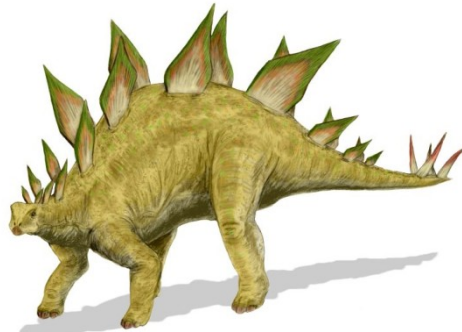


Ornithischia

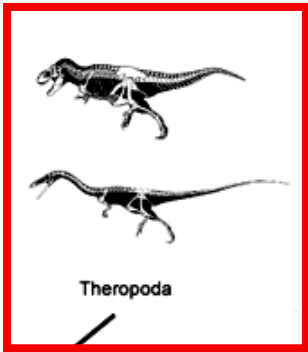
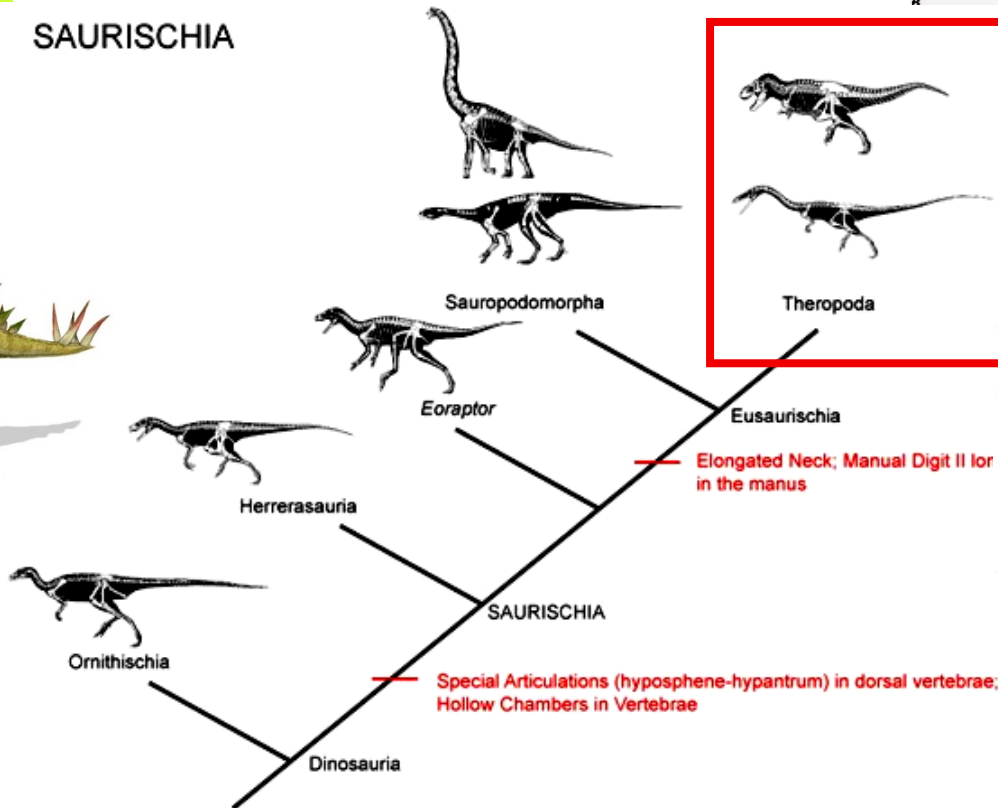
← **dinosauri** →

Saurischia

SAURISCHIA

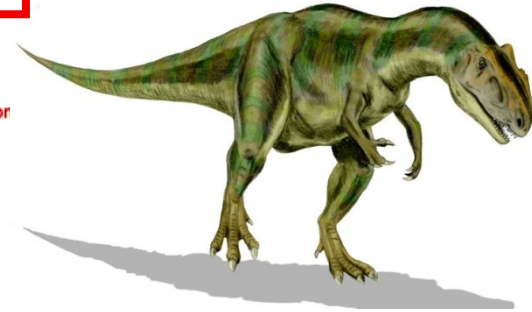


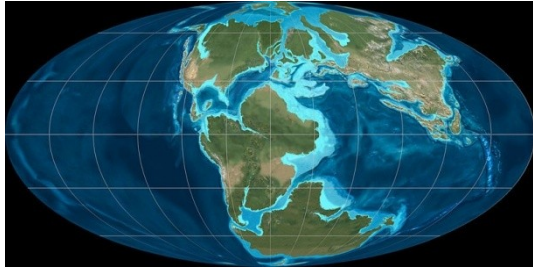
Stegosaurus



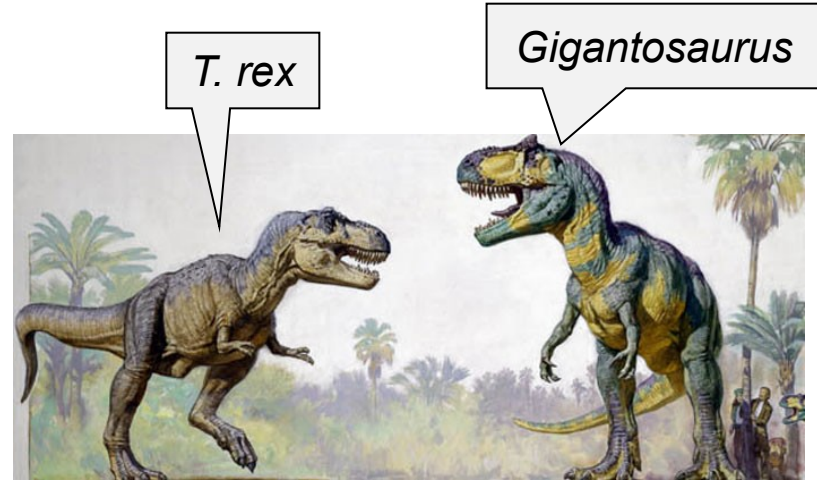
Theropoda

Allosaurus





Jura:
kostnaté ryby
evoluce ptáků



theropodní dinosauři

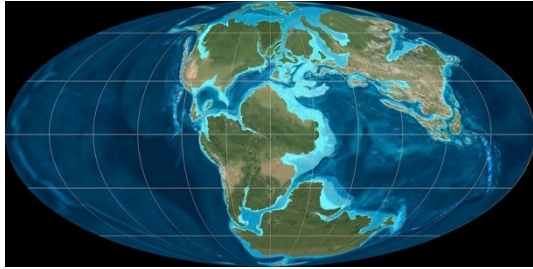


Maniraptora

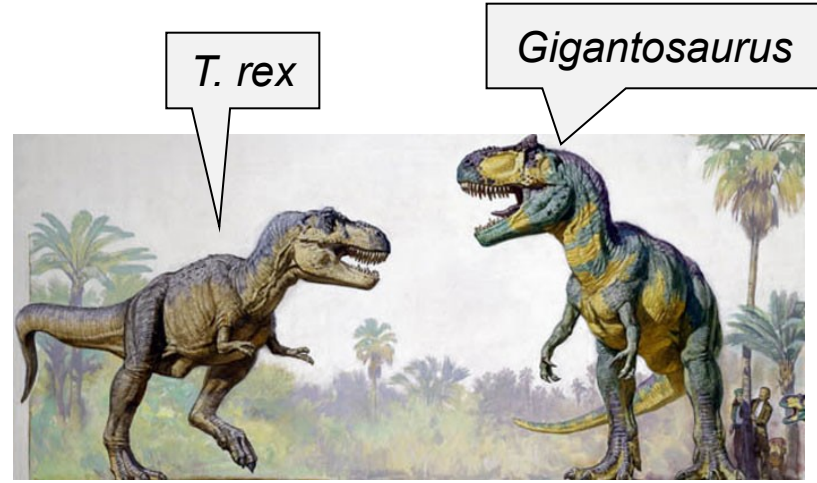


tyranosauři
(křída)





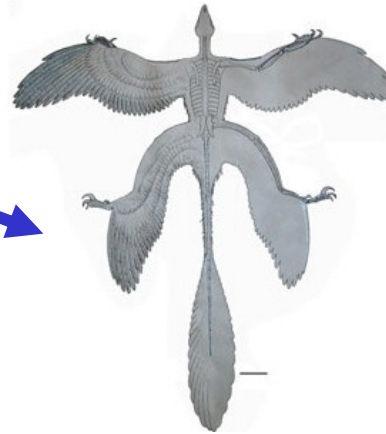
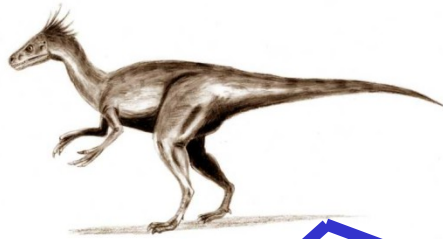
Jura:
kostnaté ryby
evoluce ptáků



theropodní dinosauři

↓
Maniraptora

tyranosauři
(křída)



ptáci



Archaeopteryx lithographica

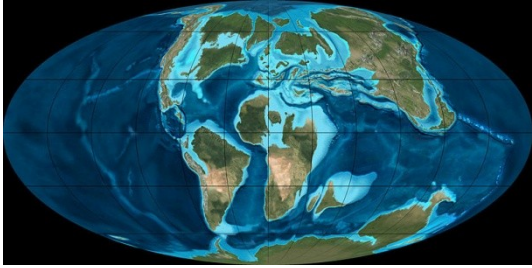
Microraptor gui



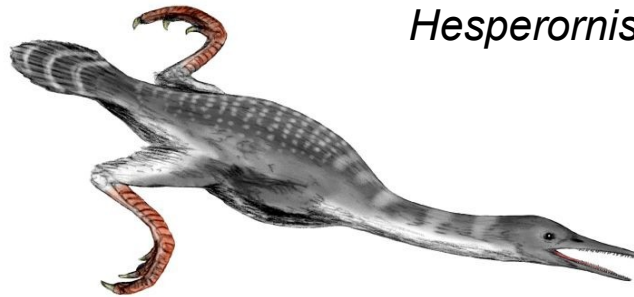
Mezozoikum

Křída:

krytosemenné rostliny
moderní žraloci a rejnoci, mosasauři, první hadi, ptáci
savci: divergence vačnatců a placentálů



mosasauři

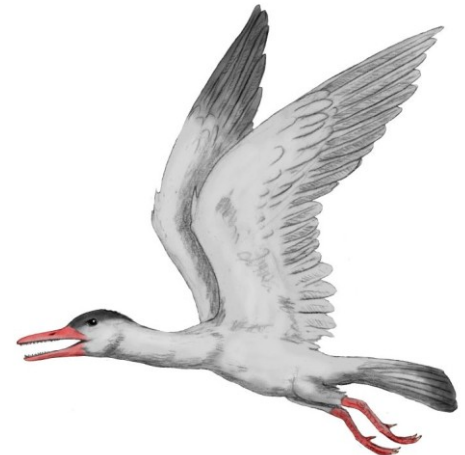


Hesperornis

na konci křídly: 5. extinkce, 66 M

→ otázka příčiny

Ichthyornis



Extinkce na K/T* (K/Pg**) hranici: 66 mil. let

*) křída/třetihory

***) křída/paleogén

1980 Louis Alvarez a kol.:

katastrofická hypotéza – asteroid 10 km v průměru
 $10^9 \times$ víc než Hirošima



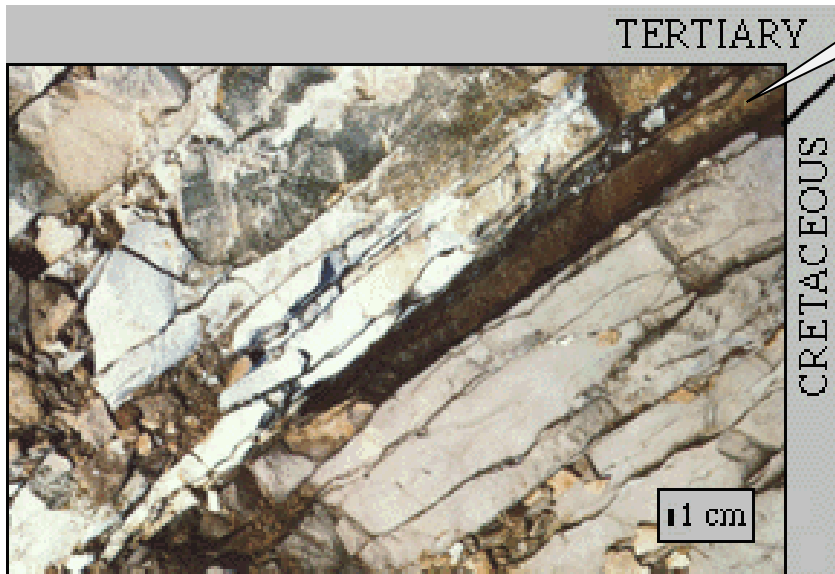
L. Alvarez



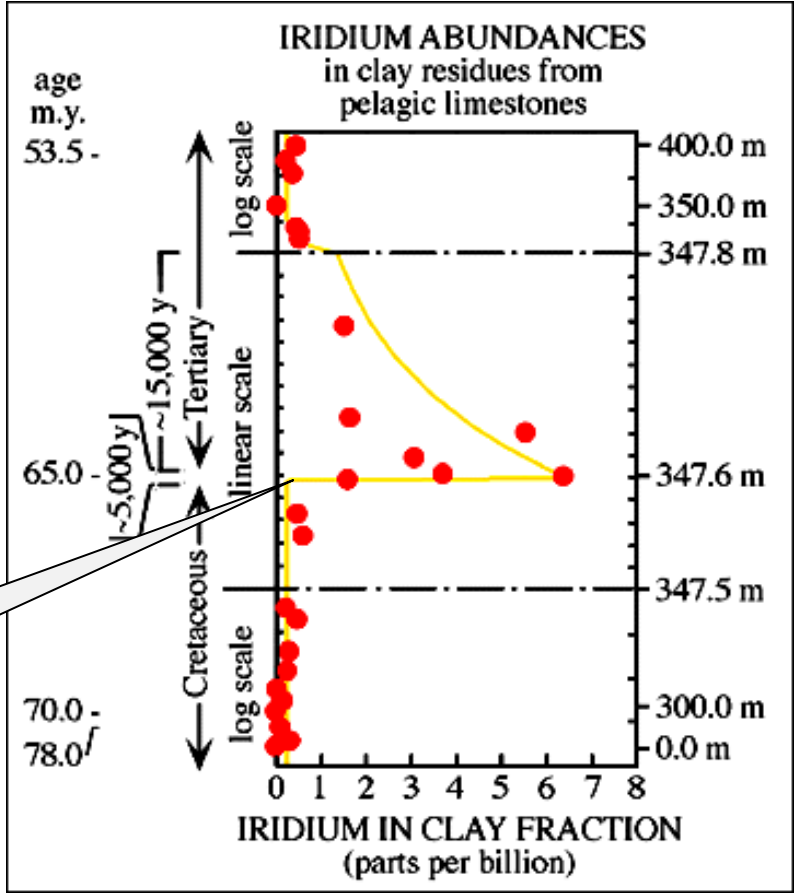
Extinkce na K/T (K/Pg) hranici:

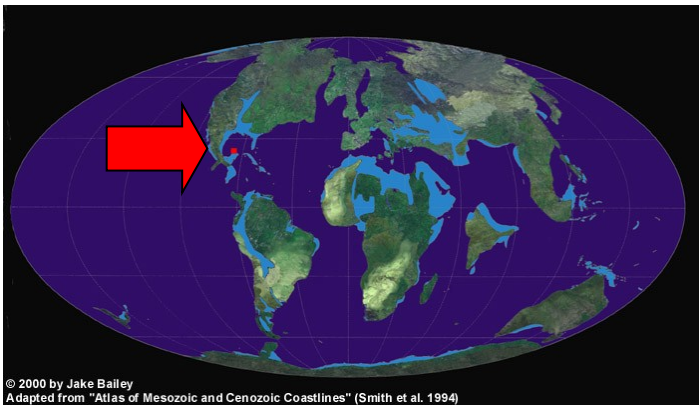
iridium na K/T rozhraní

K/T
hranice



cca. 100-násobné
zvýšení množství
iridia

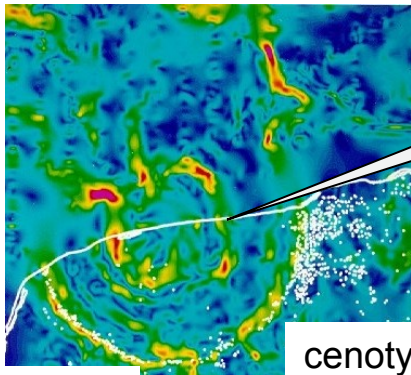




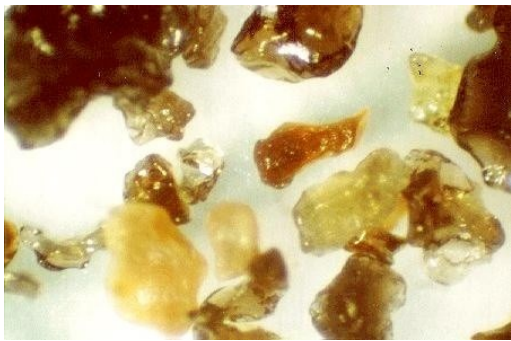
kráter Chicxulub
(Yucatán, Mexiko)



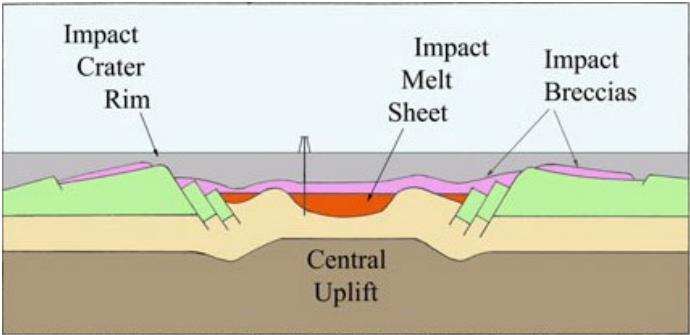
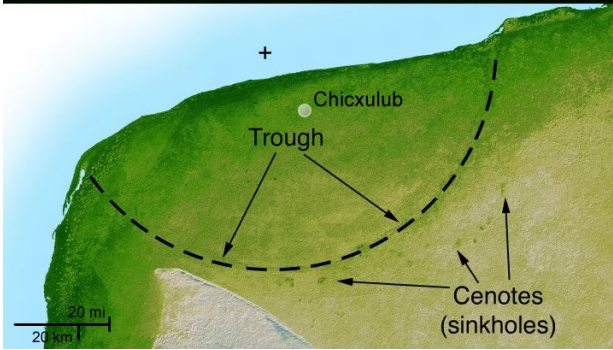
mapa gravitačního pole



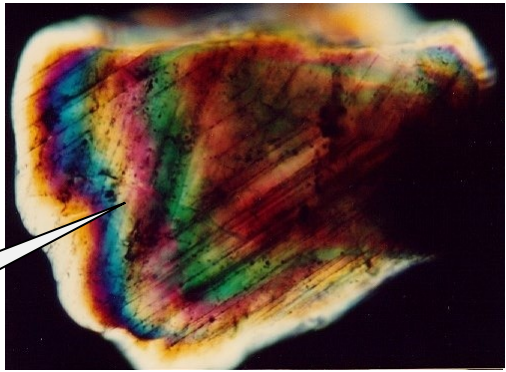
synklinála
(příkop)



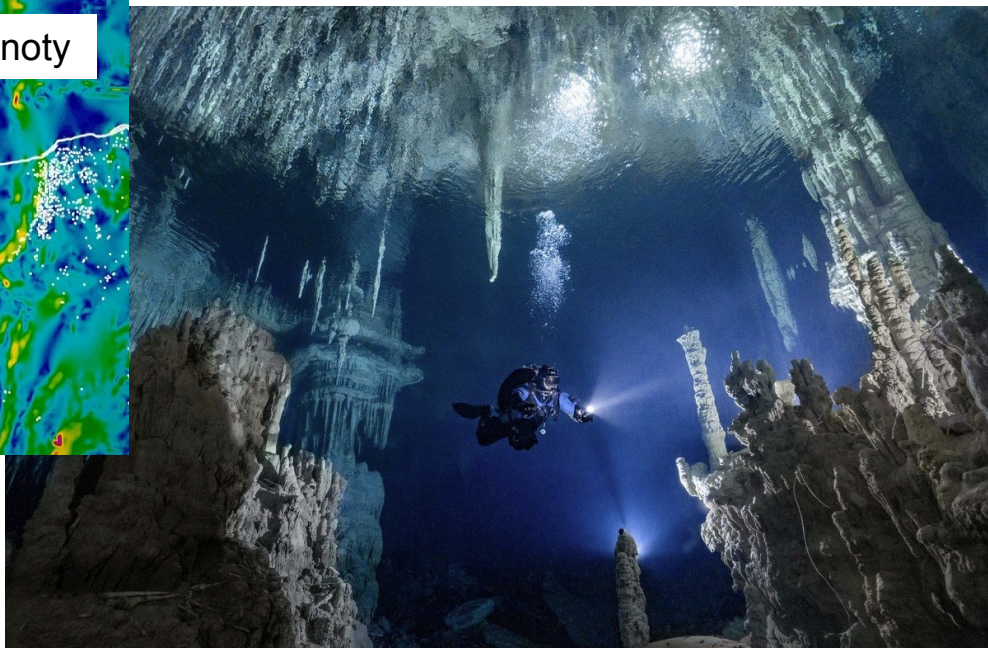
tektity z K/T rozhraní



šokový krystal



cenoty



Asteroid Chicxulub:

~ 8 bilionů tun, ~ 2 600 km³

rychlost ~ 20 km/s; exploze ~ 300 mil. megatun trinitrotoluenu

kráter o průměru 180–240 km

cca. po 2 min, 400 km od epicentra extrémně silné zemětřesení

po 20–25 min by dorazily 2 drtivé vlny atmosférického tlaku:

1. mohutný aerodynamický třesk
2. o několik sekund později extrémně silné víry podobné tornádům o rychlosti kolem 350 m/s (1 260 km/h)

Experiment (Naafs et al. *Nature Geoscience* 2018)

laserová ablace (odpaření) terčové horniny
(= karbonát získaný přímo z jednoho z vrtů
do kráteru Chicxulub)

v simulovaných podmínkách pozdně křídové
atmosféry (0,16 % CO₂, 30 % O₂, 69,84 % N₂,
tlak 1 baru, teplota 25 °C

→ rychlost rázové vlny = 4,5 km/s (16 200 km/h)

→ rychlost expandujícího oblaku = 2,3 km/s (8 280 km/h)

Teplota plazmatu v čase 0,2 mikrosekundy ~ 18 000 K , → po 4 μs
pokles na ~ 6 900 K

Zpočátku tak byla teplota plazmatu v místě dopadu víc než třikrát vyšší
než teplota povrchu Slunce. Tlak v tomto místě byl na začátku expanze
odhadnut asi na 103 barů, po 0,2 μs pokles na 3 bary a po 4,2 μs pokles
na ~ 0,1 baru.



Problémy impaktové teorie:

vymírání nebylo pro většinu živočichů tak náhlé, docházelo k němu už před katastrofou

druhy mizely po etapách od teplomilnějších po méně teplomilné

srážka s asteroidem o cca. 300 tisíc let starší než vymírání (× dopad meteoritu spustil vlny tsunami a zemětřesení ⇒ promíchání vrstev)

lokalita El Penon (Mexiko): stejné druhy nad „meteoritickou“ vrstvou jako pod ní)

Alternativní hypotéza:

postupné ochlazování v důsledku gigantických sopečných erupcí na Dekkánské plošině v Indii (dekkánské trapy)

čedičová vrstva 1200-1800 metrů silná, 100 000 km² ⇒ v průběhu 1 mil. let
→ min. 1,5 mil. km³ čedičů

vznik plošiny na přelomu křídý a třetihor

Recentní poznatky:

Podle nového datování k dekkánskému jevu došlo dříve než k dopadu bolidu/asteroidu – problém je, že indické datování stále málo přesné

Zpřesněné datování: kráter Chicxulub odpovídá

~ 100 tisíc let před dopadem ochlazení o 6–8 °C, asi v důsledku dekkánské katastrofy – dopad pak ranou z milosti

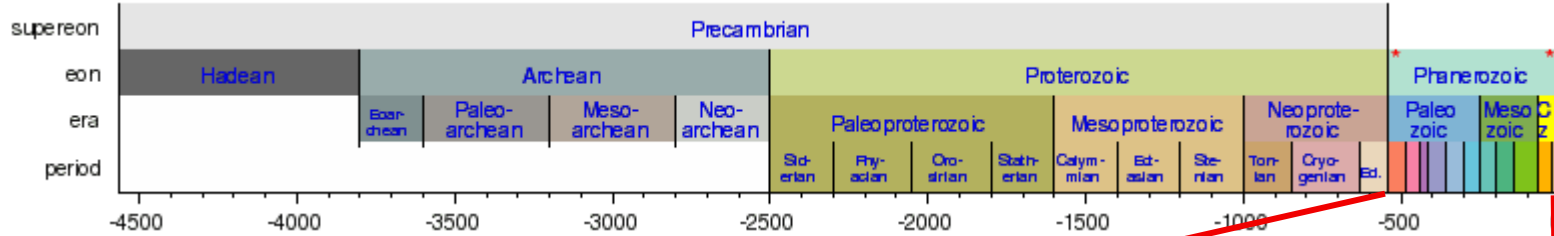
Sinice v důsledku skleníkového efektu?

Některé teorie: dopad dvou těles těsně po sobě (některá data naznačují – mj. tým z Astronomického ústavu před 3 lety, dnes Francouzi na modelech)

animace impaktu viz:

<https://www.youtube.com/watch?v=bU1QPtOZQZU>

eon: Fanerozoikum

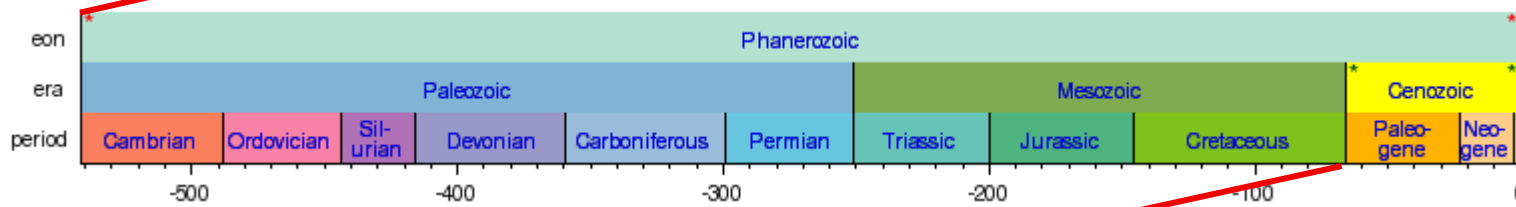


éra

Paleozoikum

Mezozoikum

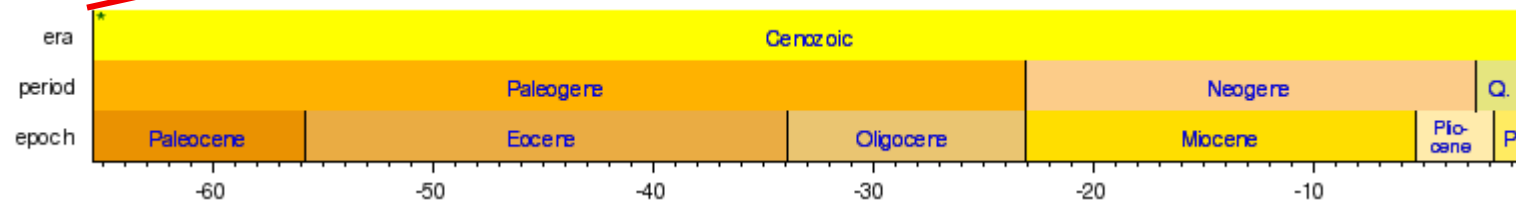
Kenozoikum



perioda

Paleogén

Neogén



epocha

Paleocén

Eocén

Oligocén

Miocén

Plio- Pleisto-

Paleontologická vs. molekulární data

otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

Kambrická exploze?

molekulární data (Wray et al. 1996):

Protostomia-Deuterostomia ~ 1200 M

Chordata-Echinodermata ~ 1000 M

„fylogenetická zápalná šňůra“?

Paleontologická vs. molekulární data

otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

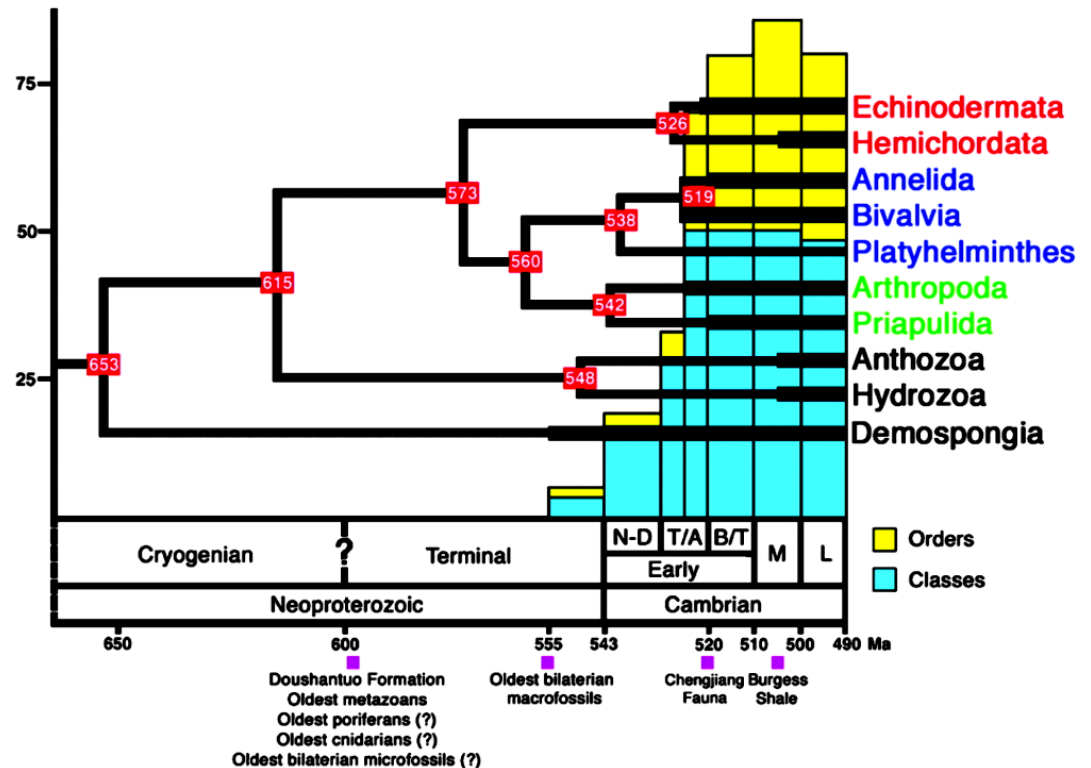
Kambrická exploze?

dnešní molekulární odhady bližší kambrické explozi:

Metazoa ~ 650 M (Peterson et al. 2004)

Protostomia-Deuterostomia ~ 582 M

(Aris-Brosou and Yang 2003)

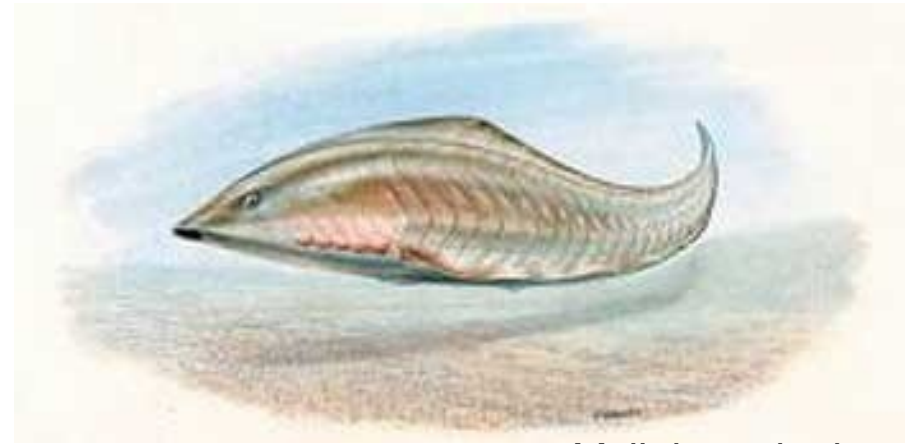


Kambrická exploze?

fauna z Chengjiang (Čína) ~ 525 M



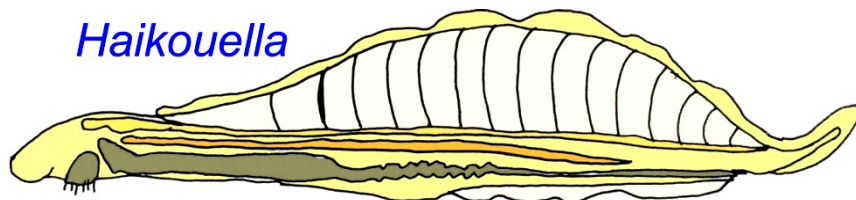
Yunnanozoon lividum



Myllokunmingia



Haikouella lanceolata



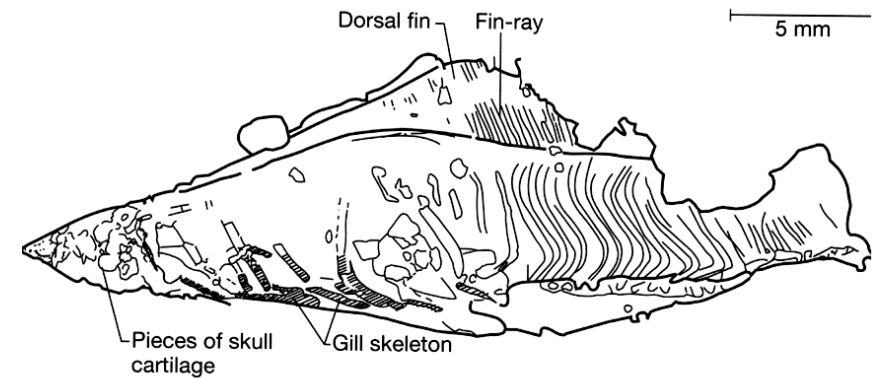
Haikouella



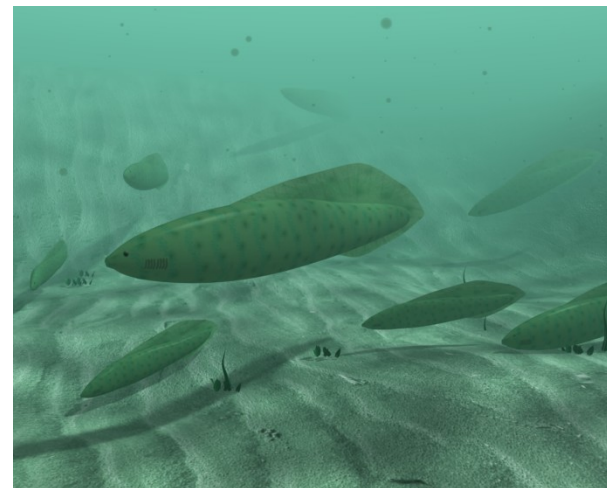
Kambrická exploze?

fauna z Chengjiang (Čína) ~ 525 M

formace Doushantuo (J Čína),
590–560 M: spousta druhů

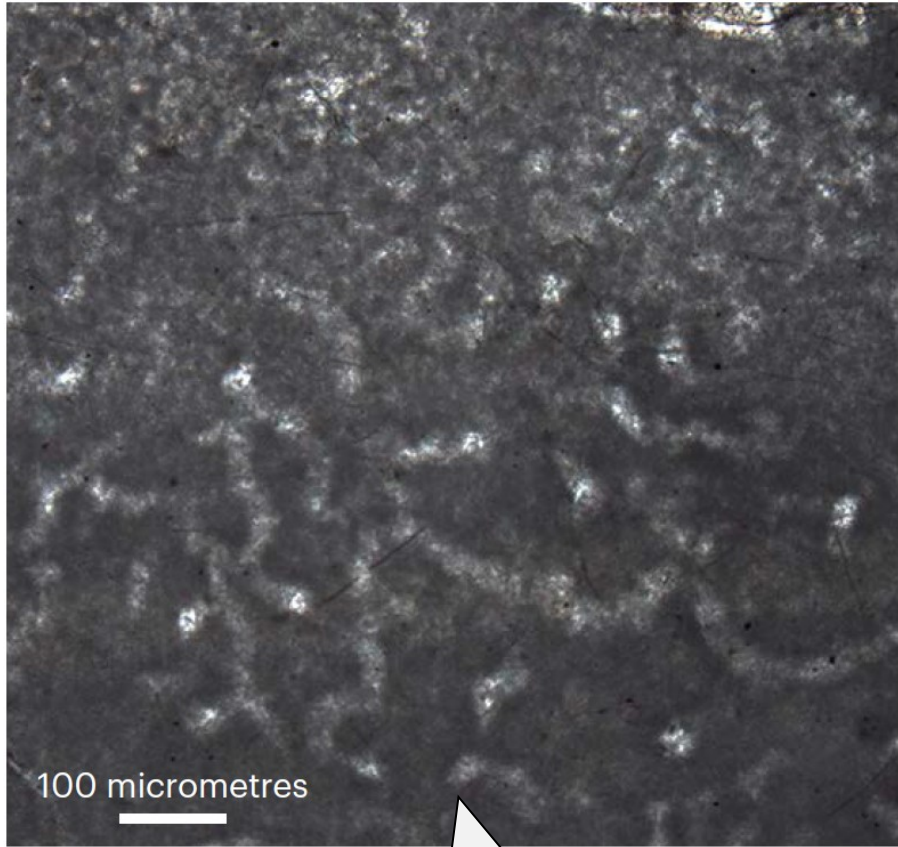


časná embryologická stadia?

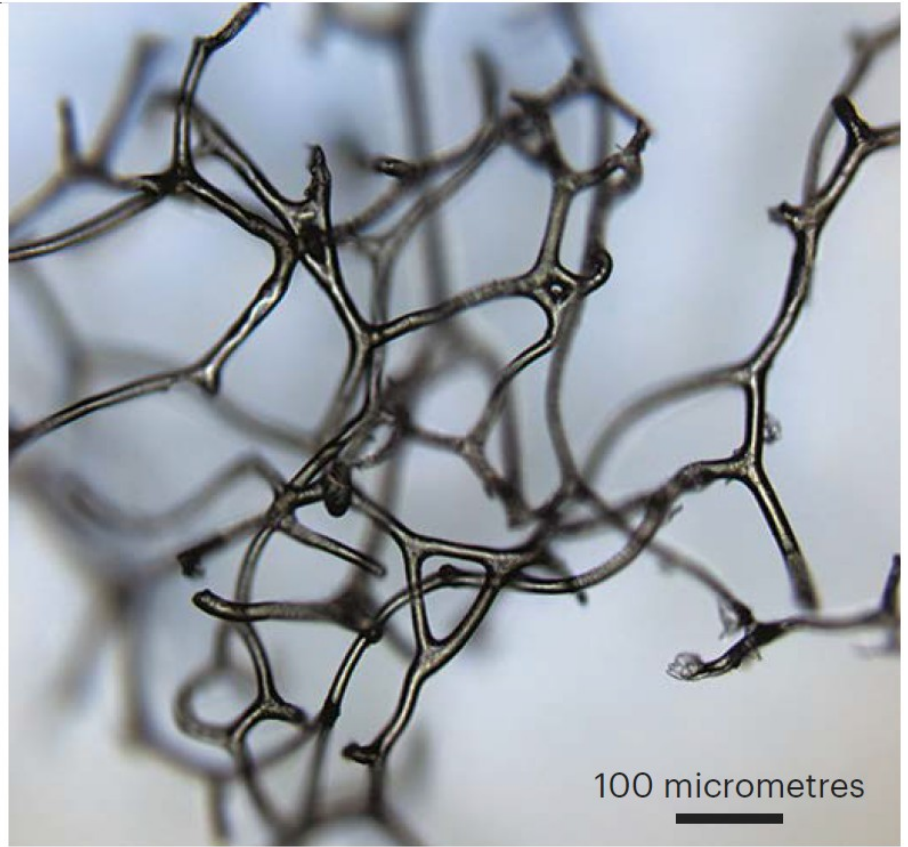


*Haikouichthys
ercaicunensis*
525 M

ca. 890 mil., Little Dal reefs, Stone Knife Formation, SZ Kanada



Porifera?



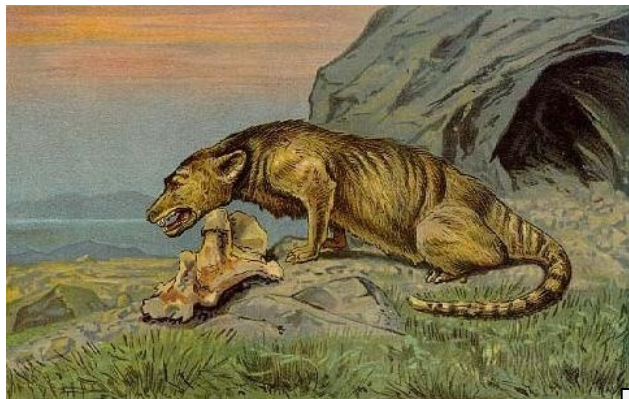
Elizabeth Turner, *Nature* 2021

Paleontologická vs. molekulární data

otázka vzniku živočišných kmenů a savčích a ptačích řádů

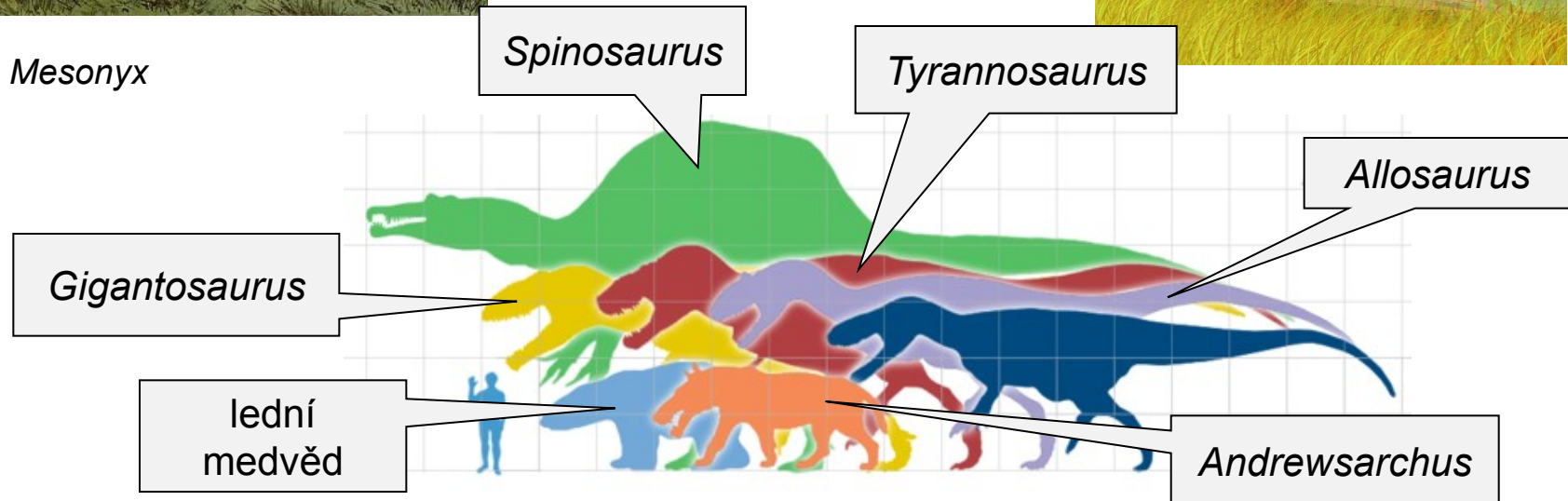
recentní skupiny savců a ptáků a K/T hranice

evoluce kytovců: mesonychidi → přechod do vody → kytovci

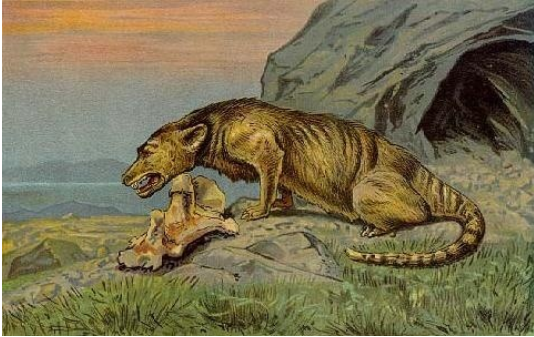


Mesonyx

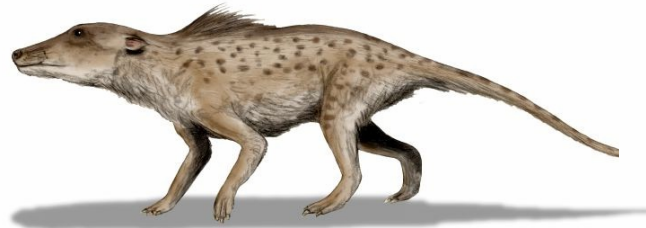
Andrewsarchus
mongolicus



mesonychidi ~ 56 M



evoluce kytovců



Pakicetus 49–48 M



Ambulocetus 50-48 M

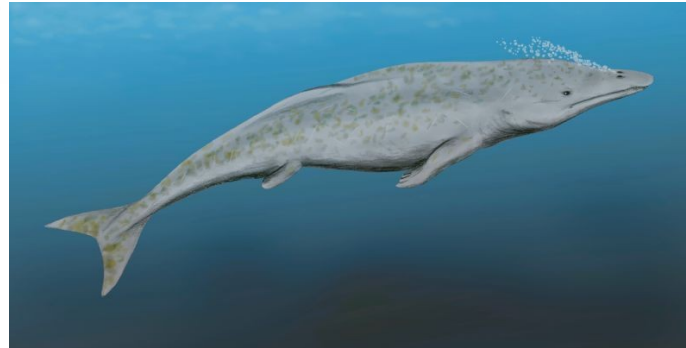


Dorudon 41-33 M



Rodhocetus 47 M

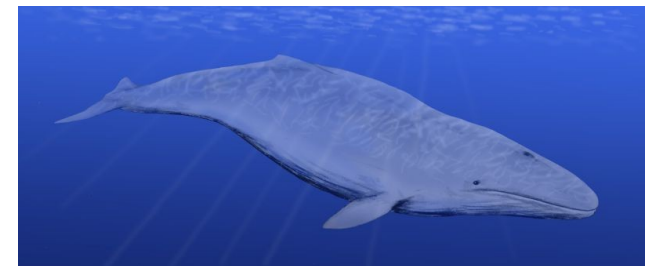
Basilosaurus
40-34 M



Protocetus 45 M



Peregocetus 43 M



Cetotherium 15 M

Obecné zákonitosti

diverzita: analogie s burzou

extinkce: model pěšáka v poli

délka života linií: model bankrotu hazardního hráče

David Raup, Jack Sepkoski:

periodicita? (26 M – hvězda Nemesis)

dnes 62 M (vnitřní „hodiny“)?



D. Raup



J. J. Sepkoski

náhodná procházka
(*random walk*)

