

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Evoluce kytovců

Bakalářská práce

Autor práce: Matušková Denisa

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Evoluce kytovců" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. 4. 2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Miloslavu Petrtýlovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost, odborné rady a připomínky, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Také mu patří velké díky za poskytnutí několika literárních pramenů, ze kterých jsem mohla čerpat a které mi pomohly práci dopsat. Dále chci poděkovat kamarádce Petře Schülerové za gramatickou kontrolu a úpravu práce.

Evoluce kytovců

Souhrn

Kytovci (Cetacea) jsou skupina savců, která obývá oblasti oceánů a moří po celém světě. Zahrnují přibližně 90 druhů. Řád je rozdělen do dvou podřádů: koticovci (Mysticeti) a ozubení (Odontoceti). V této bakalářské práci jsou popsány současné poznatky o vývoji kytovců od počátku až do konce. V první části práce je stručný popis evoluce savců. Následuje krátký výčet systému savců, kterým se postupně dostáváme právě ke skupině již zmiňovaných kytovců. Dalším bodem je samotná evoluce kytovců od jejich prvopočátků, až do dnes. Je zde zmínka o dosud známých předcích kytovců. Zmíněny jsou i morfologické a genetické důkazy, které dokládají původ těchto mořských savců. Stručně je zmíněn i mechanismus ztráty končetin při přechodu ze suchozemského způsobu života na plně vodní. Závěrečné kapitoly popisují recentní skupiny kytovců spolu s jejich nejznámějšími zástupci. Cílem této práce je seznámení a informování veřejnosti o průběhu evoluce a o důležitých fosilních nálezech, které pomohly objasnit původ dnešních moderních kytovců. Informace, které jsou uvedeny v této práci, mohou osvětlit toto téma lidem, kteří mají zájem dozvědět se něco víc o těchto mořských savcích. Dále může tato práce dopomoci k získání obecných informací a přehledu o této problematice. V neposlední řadě tato práce poukazuje na výsledky tohoto dlouhodobého evolučního procesu.

Klíčová slova: koticovci, ozubení, adaptace, radiace, evoluce

Evolution of the Cetaceans

Summary

Cetaceans (Cetacea) are a group of mammals that inhabit the area of the oceans and seas around the world. Include approximately 90 species. The order is divided into two suborders: baleen whales (Mysticeti) and toothed whales (Odontoceti). In this Bachelor thesis described current knowledge about the evolution of cetaceans from the beginning to the end. In the first part of the work is a brief description of the evolution of mammals. Following is a short list of mammals, which gradually brings us to already mentioned group of cetaceans. Another point is the evolution of cetaceans from its beginnings until today. There is a mention of the known ancestors of cetaceans. Mentioned are also morphological and genetic evidence, showing the origin of these marine mammals. The final chapter describes recent cetacean group along with their most known representatives. The focus of this work is understanding and informing the public about the course of evolution and about the important fossil finds, which have helped to clarify the origin of today's modern cetaceans. The information that is listed in this work, can illuminate this topic to people who are interested to learn more about these marine mammals. This work could help to obtain general information and an overview of this issue. Finally, this work points to the results of a long-term evolutionary process.

Keywords: baleen whales, toothed whales, adaptation, radiation, evolution

Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíl práce.....	8
3 Literární rešerše	9
3.1 Teorie evoluce savců	9
3.2 Teorie evoluce kytovců.....	11
3.2.1 Morfologické důkazy	12
3.2.2 Genetické důkazy	18
3.3 Recentní skupiny kytovců.....	20
3.3.1 Prakytovcí (Archaeoceti) †	23
3.3.2 Kosticovci (Mysticeti)	23
3.3.3 Ozubení (Odontoceti).....	26
4 Závěr	31
5 Seznam literatury	32
6 Přílohy.....	36
6.1 Seznam příloh.....	36

1 Úvod

Evoluce je dlouhodobý a samovolný proces, díky němuž se vyvíjí a diverzifikuje život. Evoluce kytovců začala zhruba před 50 miliony lety a vedla ke vzniku dnes známých moderních kytovců. Tedy dvou podřádů: kosticovci a ozubení. Přechod pozemně žijících kytovců do vodního prostředí je pravděpodobně nejdelší evoluční záhadou. První kytovci žili již v eocénu a vykazují obrovskou morfologickou rozmanitost. Zkoumání předků kytovců nám dopomáhá získávat informace, jakým způsobem a z jakých přesných předků se kytovci vyvinuli.

Kytovci jsou nejvíce poznamenáni evolučním vývojem a jedná se o zajímavou skupinu, která z pozemního prostředí přešla do vody. Tento proces vedl kupříkladu k mnoha změnám na kostrách živočichů. Jedná se o savce, kteří jsou poměrně dobře adaptovaní k životu pod vodou.

Morfologické a genetické výzkumy prováděné na předcích kytovců poukazují na příbuznost těchto savců buď se skupinou sudokopytníků nebo se sudokopytníkům podobným karnivorním mesonychidům.

Podle posledních výzkumů DNA se kytovci řadí k sudokopytníkům a jejich nejbližší žijící příbuzní jsou pravděpodobně hroši.

O původu kytovců nemají lidé příliš mnoho informací a právě proto jsem si zvolila toto téma, abych zkompletovala dosud zjištěné poznatky a osvětlila vznik těchto zajímavých tvorů. Také chci formou této práce zkráceně informovat o dnešních žijících skupinách kytovců, kteří proplouvají celosvětovými oceány.

Pro pochopení a poznání dnešních kytovců je nutné se seznámit blíže s jejich vývojem od úplných počátků, až do podoby jakou známe dnes.

2 Cíl práce

Cílem této práce je shromáždění informací týkajících se evoluce kytovců. Důležité je též shrnutí současných poznatků o tom, jak a z kterých předků vývoj probíhal. Význam této práce také spočívá v informování veřejnosti s široce probíraným tématem evoluce kytovců. Má za úkol objasnit, z jakých předků se kytovci vyvinuli a jakým způsobem k tomu docházelo. Též poskytuje informace o dnes žijících kytovcích.

3 Literární rešerše

3.1 Teorie evoluce savců

Předci savců jsou therapsidní plazi. U některých plazů se postupem vývoje začaly vyskytovat savčí znaky (Hopson, 1969). Vývoj byl dlouhodobý. Započal již v období permu a k jeho završení došlo zhruba před 60 miliony lety koncem triasu. Proces znaků, které jsou typické pro savce, tedy přechod z plazího typu na savčí, probíhal plynule (Moore, 1985). Evoluce postupovala pomalu a pozvolna, proto není možné zcela přesně určit přirozenou hranici, která by spolehlivě oddělila pokročilé cynodonty a první savce (Roček, 2002). První primitivní savci se pravděpodobně vyskytli v pozdním triasu. Jejich vývoj byl z cynodontních therapsidů. Savci jsou jedinou skupinou, která má vytvořené tři sluchové kůstky. Tyto kůstky vedou zvuk středním uchem a jejich vývojovým základem jsou elementy žaberních oblouků (Roček, 2002).

V evoluci savců dochází ke třem adaptivním radiacím, z nichž první probíhá již v období jury (před 195 až 141 mil. let). V této době vzniká mnoho řádů savců. Dva z čteného počtu řádů vymírají. Jedná se o řád Symmetrodonta a Eupantotheria. Předci moderních savců vznikají právě z řádu Eupantotheria (Roček, 2002).

Koncem křídly dochází k druhé adaptivní radiaci. Tato radiace vede ke vzniku vačnatců, archaických primátů, hmyzožravců a prakopytníků. V této době hraje velmi důležitou roli řád Multituberculata, kteří jsou pravděpodobně v období druhohor evolučně nejvyspělejší (Wilson et al., 2012).

Další adaptivní radiace, čili třetí, dává vznik dalším skupinám placentálů. Tato radiace se uskutečňuje v období terciéru a probíhá v několika etapách. První etapa probíhá v paleocénu (před 65 až 55 mil. let) a eocénu (před 55 až 37 mil. let). V toto období se po vymřelých plazech uvolnil prostor pevniny a vznikly skupiny archaických savců, kteří dali vznik dnešním savcům. V druhé etapě vývoje v terciéru byli tito archaičtí savci nahrazeni sudokopytníky, lichokopytníky a šelmami. K tomu došlo v průběhu eocénu a oligocénu. Koncem terciéru dochází k další vývojové radiaci, která trvá dodnes. Tato radiace vede ke vzniku specializovaných savců. Sudokopytníci dosahují v této době svého vrcholu (Roček, 2002).

Systém třídy savců je stále nejednotný a velmi často se mění.

Systém savců podle Kielan-Jaworowské 1994, nižší úrovně částečně podle McKenny a Bellové 1997 (Roček, 2002).

Třída: Mammalia (savci) (svrch. trias – recent.)

Podtřída incertae sedis

Řád: Triconodonta (svrch. trias – svrch. křída) †

Čeľad: Sinoconodontidae (sp. jura) †

Čeľad: Morganucodontidae (svrch. trias – stř. jura, ? svrch. jura) †

Čeľad: Amphilestidae (stř. jura – sp. křída) †

Čeľad: Triconodontidae (svrch. jura – svrch. křída) †

Řád: Docodonta (stř. jura – svrch. jura) †

Čeľad: Docodontidae (stř. jura – svrch. jura) †

Podtřída: Allotheria (svrch. trias – svrch. eocén) †

Řád: Multituberculata (svrch. trias – svrch. eocén) †

Podtřída: Theria (svrch. trias – recent)

Řád: Symmetrodonta (svrch. trias – sp. křída) †

Čeľad: Kuehneotheriidae (svrch. trias – sp. jura) †

Čeľad: Spalacotheriidae (svrch. jura – sp. křída) †

Čeľad: Amphidontoidae (sp. jura – sp. křída) †

Řád: Eupantotheria (stř. jura – svrch. křída) †

Čeľad: Amphitheriidae (stř. jura) †

Čeľad: Peramuridae (stř. jura – sp. křída) †

Čeľad: Purodontidae (svrch. jura) †

Čeľad: Dryolestidae (svrch. jura – sp. křída) †

Řád: Monotremata (ptakořitní) (sp. křída – recent)

Čeľad: Kollikodontidae (sp. křída) †

Čeľad: Steropodontidae (sp. křída) †

Čeľad: Ornithorhynchidae (syn. Patypoda) (ptakopyskovití) (miocén – recent)

Čeľad: Tachyglossidae (ježurovití) (pleocén – recent)

Infratřída: Metatheria (svrch. křída – recent)

Infratřída: Placentalia (syn. Eutheria) (placentálové)

Řád: Sudokopytníci (Artiodactyla)

Končetiny sudokopytníků se dotýkají země jen dvěma prsty (třetím a čtvrtým), to se nazývá paraxonie. Od tohoto charakteristického znaku se odvozuje jejich další název Paraxonia. První prst zcela zanikl, zatímco druhý a pátý prst je zachován v podobě rudimentu. K radiaci sudokopytníků došlo na počátku eocénu, kdy byla velmi bohatá vegetace, kterou se sudokopytníci živí (Gaisler a Zima, 2007).

Kytovci a sudokopytníci jsou v současné době řazeni do sesterské skupiny s názvem Cetartiodactyla. Tento termín vznikl sloučením dvou názvů skupin, a to Cetacea a Artiodactyla, v roce 1997. To znamená, že se kytovci vyvinuli ze sudokopytníků. (Montgelard et al., 1997). Dle výzkumů mají kytovci a hroši společného předka a nejbližší žijící příbuzný kytovců je tedy hroch (Spaulding et al., 2009). K tomuto názoru, že kytovci pochází ze sudokopytníků, se přiklání molekulární biologové.

3.2 Teorie evoluce kytovců

Simmonds (2004) uvádí, že vývoj kytovců započal zhruba před 50 miliony lety. Vznikli ze savců, kteří vzdáleně připomínali vydry s malými kopýtky na prstech. Živili se rybami, které lovili v moři Tethys. Toto moře se rozkládalo na území dnešního Středomoří. Fosilní nálezy dokazují, že postupem času se tito chlupatí savci plně přizpůsobovali životu ve vodě a jejich přední končetiny určené ke kráčení na pevnině se měnily v ploutve. Zadní končetiny zanikly a vznikla ocasní ploutev (Simmonds, 2004).

Zbyněk Roček (2002) ve své knize píše, že kytovci vznikli ze suchozemských živočichů blízkých sudokopytníků. Za pravděpodobný mezičlánek mezi sudokopytníky a kytovci jsou považováni karnivorní savci Mesonychia. Velikostně se podobali lasičkám až medvědům a způsobem života je lze přirovnávat k dnešním vlkům nebo hyenám. Dentice se již podobala kytovcům.

Mesonychia pochází z paleocénu. V eocénu dochází k jejich postupnému poklesu a vymírání. Poslední rod vyhynul v raném oligocénu. Kosterní pozůstatky pochází z Asie, Evropy a Severní Ameriky (Zhou et al., 1995). Měli ostré a velké špičáky. Na nohou jim chyběly drápy. Končetiny se podobaly kopytníkům. Nejdříve měli na nohou pět prstů, což umožňovalo rychlý běh. Později se prsty zredukovaly na čtyři a byly zakončeny kopýtkem. To nasvědčovalo tomu, že byli pomalejší, ale měli větší výdrž. Pozdější mesonychidé se pravděpodobně živili mršinami (Jehle, 2006).

Lebka a zuby, které mají trojúhelníkovitý tvar, vykazují podobnost s kytovci. Proto mnoho vědců věřilo, že přímý předek kytovců jsou právě mesonychidé. Pozdější fylogenetické analýzy a objev zadních končetin archaických kytovců prokazuje, že kytovci jsou pravděpodobně více příbuzní s hrochy a jinými sudokopytníky, než s mesonychidy (Geisler and Uhen, 2003).

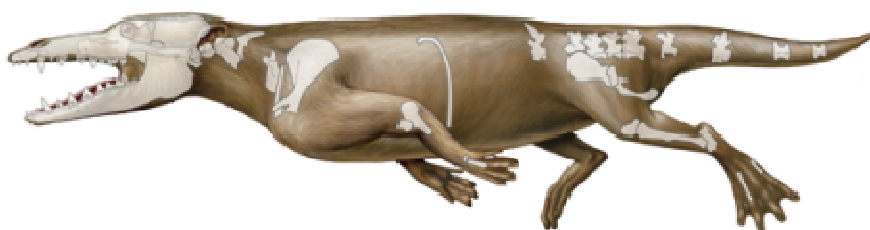
3.2.1 Morfologické důkazy

V evoluci kytovců dochází k mnoha morfologickým změnám. Výrazné změny jsou hlavně ve žvýkacím aparátu, uchu a končetinách.

V eocénu je 6 čeledí, které dokládají přechod od zemského způsobu života na plně vodní. Jedná se o Pakicetidae, Ambulocetidae, Remingtonocetidae, Protocetidae, Dorudontidae a Basilosauridae (Thewissen and Williams, 2002). Výchozím článkem směřujícím ke kytovcům jsou rody *Pakicetus* a *Ambulocetus* (Thewissen, 1994).

Čeľad: Pakicetidae

Kompletní kostry těchto tvorů nejsou nalezeny. Nalezeny jsou jen lebky, zuby a fragmenty čelistí (Thewissen, 2002). Pozůstatky zástupců této čeledi jsou známé ze severního Pákistánu a západní Indie a jsou přibližně 50 milionů let staré. Patří sem tři rody *Pakicetus* (Obr. 1), *Nalacetus* a *Ichthyolestes* (Thewissen et al., 2009). První byl popsán rod *Ichthyolestes*.



Obr. 1: Rekonstrukce jednoho ze zástupců čeledi Pakicetidae. Neexistuje žádná kompletní kostra (Gingerich, 2012)

Pakicetidae jsou nejstarší známí kytovci. Nikdy nebyli nalezeni v mořském prostředí. To vede k domněnce, že byli jasně pozemní nebo sladkovodní. Pravděpodobně žili u sladkovodních zdrojů. (Thewissen and Williams, 2002).

Ichthyolestes byl větší než zbývající další dva rody. *Nalacetus* a *Pakicetus* byli velikostně podobní, ale jejich morfologie se lišila (Nummela et al., 2006). Tyto rody jsou

doloženy úlomky lebky a zuby, z nich je zřejmé, že dentice byla typická pro zástupce Mesonychia. Struktura ucha se podobala spíše kytovcům (Roček, 2002).

Pakicetidae se podobali vlkům s dlouhým nosem a ocasem. Oči těchto kytovců byly umístěny na vrcholu hlavy blízko sebe, jak je tomu u vodních živočichů. Zuby mají hrbolky a podle jejich opotřebení se usuzuje, že se mohli živit rybami. (Thewissen et al., 2009). Pravděpodobně byli predátory nebo mrchožrouty (Thewissen, 2002). Měli dlouhý úzký čenich. Končetiny měli dlouhé a hubené, které svou stavbou naznačují, že nebyli dobří plavci (Thewissen and Williams, 2002). Pohybovali se spíše na souši a s vodním prostředím se setkávali jen minimálně (Robovský, 2004).

Čeled': Ambulocetidae

Tito živočichové jsou známi pouze z několika jedinců, kteří byli objeveni v severním Pákistánu a v severozápadní Indii ve středním eocénu. (Thewissen and Williams, 2002). Poměrně kompletní kostra zástupce rodu *Ambulocetus* (Obr. 2) byla nalezena v Pákistánu. Fosilie pochází se středního eocénu. Jedná se o zástupce *Ambulocetus natans*. U této kostry chybí pouze kosti pažní, několik ocasních obratlů a rostrum. Další fosilní nálezy rodu *Gandakasia* a *Himalayacetus* jsou známé z jednoho nebo několika zubů (Thewissen and Williams, 2002).



Obr. 2: Nahoře kostra rodu *Ambulocetus* a dole kostra rodu *Pakicetus* (Thewissen et. al., 2009)

Ambulocetus dosahoval větší velikosti než *Pakicetus* (Thewissen et al., 2009). Pravděpodobně byl velký jako samec lachtana (Thewissen and Williams, 2002). Měl krátké silné nohy a pět prstů na předních a čtyři prsty na zadních končetinách (Thewissen et al., 2009). Jednalo se o semiakvatického živočicha, který obýval zálivy a ústí řeky Tethys

v severním Pákistánu. Poměrně dobře se pohyboval na souši i ve vodě (Thewissen and Williams, 2002). Klouby byly funkční na všech úrovních a prsty měl zakončené kopýtky (Roček, 2002). Ocasní obratle tohoto tvora byly robustní, což naznačuje, že měl svalnatý ocas. Oči měl umístěné po stranách hlavy, ale vysoko na lebce, což nasvědčuje obojživelnému způsobu života (Nummela et al., 2006). Hlavu měl velkou s dlouhým čenichem a robustní zuby. Měl silné svaly krku, hlavy a zad (Thewissen, 2002). Je důkazem, že předci kytovců plavali jako mořská vydra, to znamená, že pohybovali dozadu nataženými zadními končetinami nahoru a dolů. Tím se páteř prohýbala ve vertikální rovině. Podobně pohybují ocasní ploutvi dnešní velryby (Roček, 2002). *Ambulocetus* zřejmě ve vodě pádloval stejně předními i zadními končetinami (Robovský, 2004).

Ambuloctidae byli více adaptováni k životu ve vodním prostředí. Pravděpodobně zaujímal stejnou ekologickou niku jako krokodýlové v mělkých vodách (Robovský, 2004). *Ambulocetus* reprezentuje přechod mezi suchozemskými savci a vodními kytovci (Roček, 2002). Pravděpodobně lovil ze zálohy (Thewissen, 2002).

Čeled': Remingtonocetidae

Zástupci této čeledi byli nalezeni v severním a středním Pákistánu a západní Indii. Je mnoho nálezů lebek, ale zubní pozůstatky jsou minimální (Thewissen and Williams, 2002). Mezi další nálezy patří několik exemplářů dolních čelistí (Thewissen, 2002).

Byli více vodní než jejich předchůdce. Zástupci Remingtonocetidae měli dlouhý čenich, který tvořil téměř dvě třetiny lebky (Thewissen et al., 2009). Podle jejich očí a stavby ucha je pravděpodobné, že měli špatné vidění a orientovali se spíše podle sluchu (Bajpai et al., 2009). Nosní otvory měli umístěné v přední části lebky. Přední zuby byly zploštělé, podobně jako je tomu u krokodýlů. Krční obratle byly poměrně dlouhé a křížová kost se skládala ze čtyř obratlů (Gingerich et al., 2001a). Čelisti svým tvarem připomínaly čelisti dnešních gaviálů. Velikostně se Remingtonocetidae podobali říčním vydrám (Robovský, 2004). Oči byly velmi malé. Uši byly poměrně velké a posazené na lebce daleko od sebe, což umožňovalo lepší sluch. Anatomie ucha je více specializovaná než u Ambulocetidae a Pakicetidae (Nummela et al., 2007). Měli krátké nohy a poměrně dlouhý a silný ocas, který používali jako hlavní pohon ve vodě. Zadní končetiny byly velké a naznačují schopnost pohybu na souši (Thewissen, 2002). Končetiny sloužily k řízení. Pravděpodobně to byli poměrně dobří a rychlí plavci.

Patří sem rody *Kutchicetus*, *Remingtonocetus*, *Attockicetus* (Robovský, 2004). Další rody jsou *Dalanistes* a *Andrewsiphius*. *Kutchicetus* byl malý a měl silně svalnatá záda a ocas (Thewissen and Williams, 2002). U rodu *Attockicetus* mláďata pravděpodobně žila ve sladké vodě a později se přesouvala do moře (Thewissen and Bajpai, 2001a).

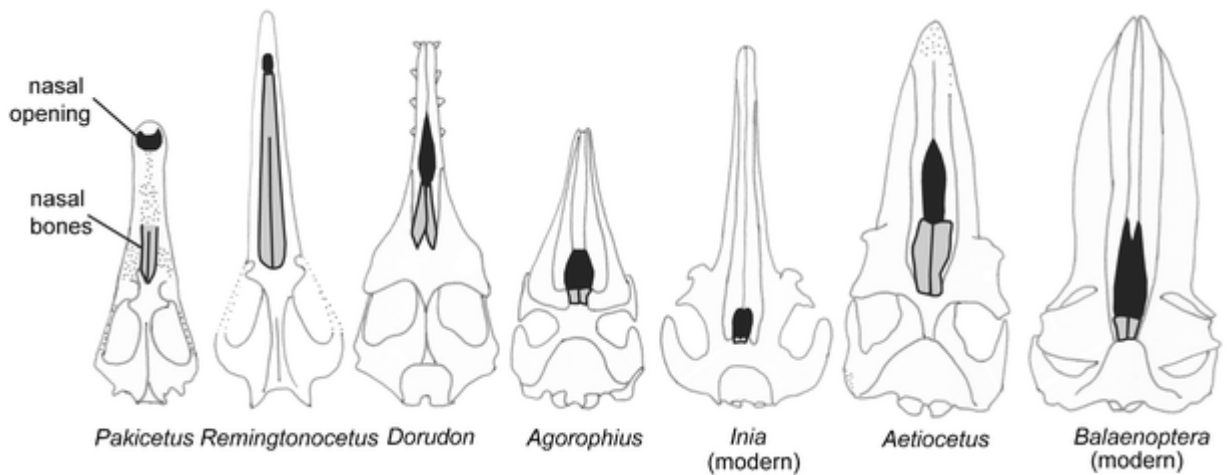
Čeled': Protocetidae

Protocetidae jsou zcela vodní živočichové, ačkoli měli zadní končetiny. Pravděpodobně žili podobně jako dnešní tuleni. Čeled' zahrnuje velké množství rodů, ale o většině není známo příliš mnoho informací. Protocetidae jsou první, kteří opustili oblast Asie a rozptýlili se po celém světě (Thewissen and Williams, 2002). Fosílie byly nalezeny v Asii, Africe, Severní Americe i v Evropě (Thewissen and Bajpai, 2001b). Na Indo - Pákistánském území se nacházeli *Indocetus*, *Rodhocetus*, *Babiacetus*, *Takracetus* a *Artiocetus*. Fosílie nalezené v Africe jsou *Protocetus*, *Eocetus* a *Pappocetus*. Ze Severní Ameriky například *Georgiacetus*, *Eocetus* a *Nachitochia* (Thewissen and Williams, 2002).

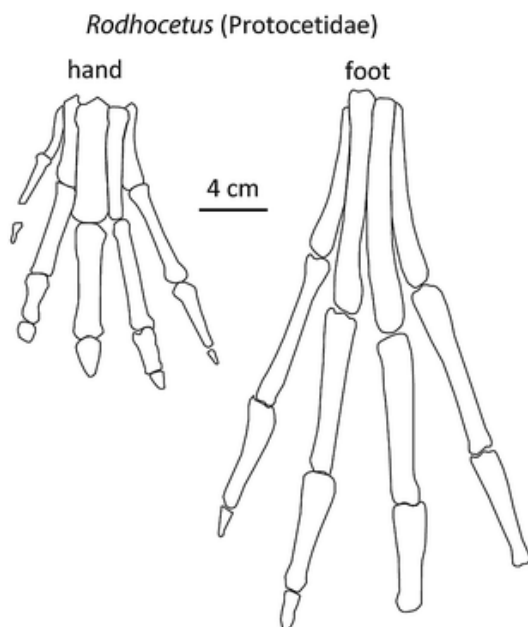
Žili v teplých a mělkých mořích (Bajpai et al., 2009). Nejlépe prozkoumané jsou kosti *Rodhocetus*, které pocházejí z dob před 47 000 000 lety (Gingerich et al., 2001b). Jedná se o různorodou skupinu, která se liší délkou čenichu i stavbou ucha (Thewissen and Bajpai, 2001b). Mají mnoho adaptací pro pobyt ve vodě. Někteří byli pravděpodobně schopni přežít na souši i přes svoji velkou váhu, jiní naopak (Thewissen and Williams, 2002). To, že někteří nemohli přežít na souši, naznačuje pánev, která není připojená k páteři. Proto váhu těla mimo vodu nemohli unést (Thewissen, 2002). Oči byly na rozdíl od Remingtonocetidae velké a umístěné po stranách lebky. Nosní otvor nebyl umístěný na konci hlavy, jako tomu bylo doposud u předchozích skupin. Otvor se posunul dozadu (Obr. 3), což vede k tvorbě nozder u pozdějších velryb (Thewissen and Bajpai, 2001b). Moderní kytovci mají nozdry umístěné na čele mezi očima, aby mohli dýchat při ponoření (Thewissen et al., 2009).

Patří sem například tyto rody *Rodhocetus*, *Protocetus*, *Artiocetus* a *Indocetus* (Robovský, 2004).

Artiocetus a *Rodhocetus* měl přední končetiny s pěti prsty a zadní se čtyřmi prsty. Zadní končetiny byly větší než přední (Obr. 4), podobně jako tomu bylo u *Ambulocetus* (Thewissen et al., 2009). Končetiny byly nejspíše plovací (Gingerich et al., 2001b). Mohli se pohybovat na souši a je pravděpodobné, že žili podobně jako dnešní lachtani. Ve vodě lovili a na souši docházelo k páření, porodu a kojení (Thewissen et al., 2009).



Obr. 3: Schéma posunu nosního otvoru (černě) směrem od čenichu dozadu (Thewissen and Bajpai, 2001b)



Obr. 4: Přední a zadní končetina zástupce rodu *Rodhocetus* (Thewissen et al., 2009)

Schopnosti pohybu ve vodě se mohly u Protocetidae lišit. Pravděpodobně používali k plavání končetiny i vlnění ocasu. Někteří zástupci Protocetidae měli silné čelisti s velkými zuby, což nasvědčuje tomu, že se živili potravou s tvrdými prvky. Mohli se živit například kostmi větších ryb nebo jiných obratlovců. Jiní lovili menší ryby (Thewissen et al., 2009).

Čeled': Durodontidae

Nalezení byli v Severní Americe, severní Africe a některé fosílie byly hlášeny z Indo - Pákistánu, Nového Zélandu a z Evropy. Řadí se sem tyto rody *Chrysocetus*, *Dorudon*, *Saghacetus*, *Zygorhiza*, *Pontogeneus* a *Ancalocetus* (Thewissen and Williams, 2002).

Vzhledově a tvarem těla se podobali delfinům (Thewissen and Williams, 2002). Durodontidae měli silnou páteř a krátké přední končetiny, které mohly vypadat jako ploutev.

Zadní končetiny nesloužily k pohybu a byly malého vzrůstu (Buchholtz, 1998). Ocas tvořil ploutev, a tak je možné, že plavali jako moderní kytovci. Obvykle se nacházejí poblíž mořského prostředí, takže asi nebyli vázaní na sladkou vodu (Thewissen and Williams, 2002).

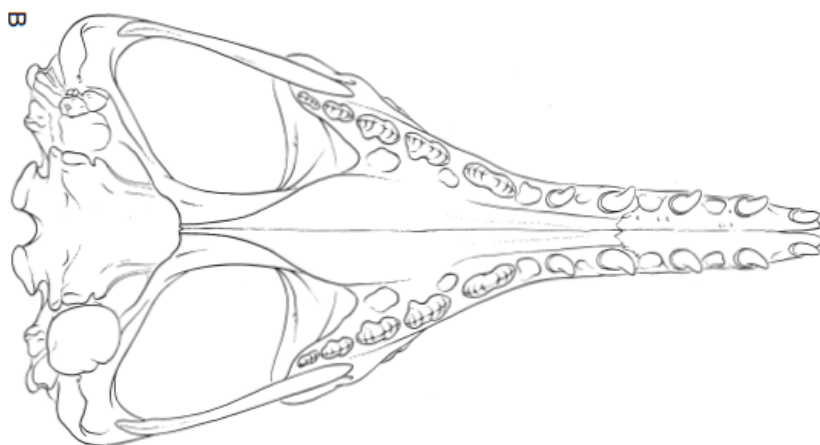
Čeled': Basilosauridae

Jedná se o první druh, který se podobá moderním kytovcům. Objeven zhruba před 41 miliony lety. Dr. Richard Harlan popsal některé kosti z Louisiany v blízkosti řeky Ouachita a prohlásil, že se jedná o velký druh plaza. Nazval jej *Basilosaurus* nebo "king lizard" (Uhen, 1998).

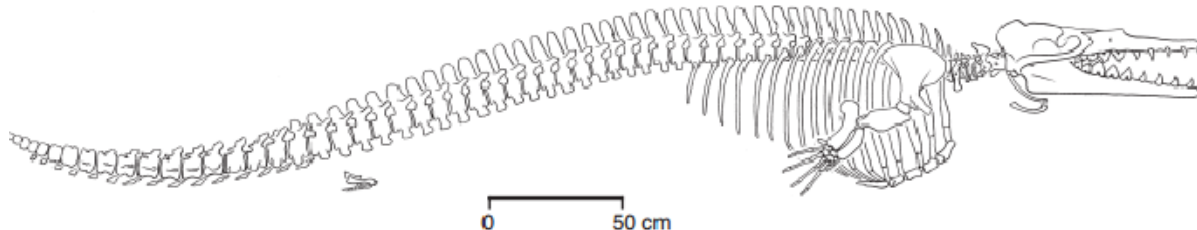
Pochází z pozdního eocénu a vyskytovali se dohromady s *Durodontidae*. Vzhledem k tomu, že se *Durodontidae* a *Basilosauridae* velmi podobají, jsou někdy řazeni do jedné skupiny (Thewissen and Williams, 2002). Uhen (1998) uvádí, že *Basilosauridae* měli dlouhé tělo, až 16 metrů a podobali se tímto hadům. Dlouhé tělo měli díky velmi prodlouženým obratlům. Kostry těchto předků kytovců byly nalezeny v Pákistánu, na Středním východě a v Severní Americe (Thewissen and Williams, 2002).

U *Basilosauridae* se nosní otvor posunul daleko dozadu směrem očím a tvořil nozdry. Přední končetiny byly přeměněny v ploutve a konec ocasu tvořila ploutev podobná tvaru kotvy. *Basilosauridae* měli drobné zadní končetiny, které neunesly váhu živočicha na zemi. Existuje přibližně sedm rodů *Basilosauridae*, které jdou rozdělit podle typu těla (Thewissen et al., 2009). Podle tvaru a velikosti těla se dělí na *Basilosaurinae* a *Dorudontinae*. *Dorudontinae* byli podobní delfinům, zatímco *Basilosaurinae* měli velmi dlouhé, až 20 metrů, štíhlé tělo (Robovský, 2004). *Basilosaurus* plaval klikatým pohybem celého těla. Naopak druhý typ plaval pohybem ocasní ploutve nahoru a dolů a měřil kolem 4 metrů.

Podobně jako dřívější praktovci měli *Basilosauridae* heterodontní chrup s jasnými rozdíly mezi špičáky, řezáky, moláry a premoláry (Obr. 5). To je rozdíl oproti moderním kytovcům, kteří mají chrup homodontní. Loketní kloub neměli plně mobilní. Anatomické znaky, které byly nalezeny u zástupce *Dorudon atrox* (Obr. 6) dokazují, že to byli pravděpodobně první plně vodní kytovci (Uhen, 2004). Živili se rybami (Thewissen and Williams, 2002).



Obr. 5: Lebka zástupce *Dorudon atrox* se zuby (Uhen, 2004)



Obr. 6: Rekonstrukce kostry zástupce *Dorudon atrox* (Uhen, 2004)

3.2.2 Genetické důkazy

Příbuznost Cetacea a Artiodactyla

Podle analýzy DNA se kytovci vyvinuli ze sudokopytníků. Analýzy sekvencí DNA, které byly prováděny, ukazují, že kytovci, přesněji velryby a sudokopytníci, přesněji hroši jsou ve společné sesterské skupině. Z výsledků těchto výzkumů, mohou být sdílené vodní specializace a vlastnosti synapomorfní. To znamená, že odvozená forma znaku je společná několika druhům studované skupiny (Gatesy, 1997).

Paleontologické důkazy a údaje podporují myšlenku, že sudokopytníci jsou monofyletická skupina. To znamená, že jedna skupina živočichů pochází ze stejného předka. Příklání se k tomu, že kytovci jsou úzce spjatí s Mesonychia (Gatesy, 1997). Molekulární důkazy však podporují myšlenku, že kytovci jsou moderní sesterskou skupinou hrochů. To ukazuje na to, že existuje fosilní linie, která spojuje kytovce, kteří jsou známí od počátku eocénu, s hrochy, u kterých je první známka ve středním miocénu (Boisserie, 2005). Tento spor mezi molekulární biologii a morfologickými důkazy vyvolal vlnu kritiky. V Pákistánu byly objeveny pozůstatky časných kytovců, které přinesly anatomickou podporu Cetartiodactyla (Gingerich, 2001b).

Ve výzkumu, který prováděl Gatesy (1997), se zkoumal pomocí fylogenetické analýzy krve gama-fibrinogen kytovců, sudokopytníků, lichokopytníků a masožravců. Výsledky z tohoto výzkumu a publikované informace o sekvencích DNA jednoznačně prokazují příbuznost hrochů a velryb. Podle tohoto výzkumu si jsou kytovci a hrochovití podobní hned ve třech genech - gamma-fibrinogen, geny kódující mléčný protein (the linked milk casein genes) a mitochondriální cytochrom b.

Montgelard, Catzeflis a Douzery (1997) měli datový soubor kompletních mitochondriálních cytochromů b a 12S rDNA sekvencí pro 17 zástupců kytovců a sudokopytníků. Analýza těchto dvou genů naznačuje, že Cetartiodactyla jsou monofyletickou skupinou.

Mechanismus ztráty končetin

Ztrátu zadních končetin lze studovat z paleontologického hlediska, vývojového a funkčního hlediska (Thewissen et al., 2006).

Předci kytovců byli čtyřnožci, kteří se postupně přemísťovali do vody. Zadní končetiny se postupem času zmenšovaly a docházelo k jejich ztrátě. Ta je zapříčiněna změnou působení regulačního genu Sonic hedgehog (Shh). Tento gen pomáhá vytvářet mnoho struktur během embryonálního vývoje. Ovlivňuje mozek, míchu, kostru i vývoj končetin (Chiang et al., 1996). U končetin řídí činnost ZPA – zone of polarizing aktivity. Tedy činnost růstového signálního centra. Zóna polarizační aktivity je oblast na zadním okraji končetiny zárodku, která vyvolává zrcadlové duplikace na přední části druhé končetiny (Riddle, 1993).

U kytovců se během časného embryonálního vývoje vytváří růstové pupeny zadních končetin. Tyto růstové pupeny zanikají v pátém týdnu vývoje embrya (Thewissen et al., 2006).

V důsledku nefunkčnosti genu Sonic hedgehog, který jinak v embryích funguje, dochází právě k zániku růstových pupenů. Sonic hedgehog, který zprostředkovává aktivitu ZPA, není přítomný v pupenech zadních končetin delfinů (kytovců). Pokud se nevytváří ZPA, je to spojeno s genem Hand2. Gen Hand2, který je zodpovědný za aktivaci Sonic hedgehog, zůstává v pupenech zadních končetin zcela neaktivní.

V průběhu evoluce došlo ke snížení projevu Shh. Došlo k tomu zhruba před 41 miliony lety. Tento proces vedl ke ztrátě částí končetin. Před 34 miliony lety došlo ke ztrátám dalších částí zadních končetin a to v důsledku úplné ztráty projevu Sonic hedgehog. Velikost zadní končetiny byla zmenšována postupně díky mikroevolučním změnám. Proto dnešní kytovci zadní končetiny postrádají. Tento výzkum byl prováděn na delfínech kapverdských *Stenella frontalis* Cuvier, 1826 (Thewissen et al., 2006).

3.3 Recentní skupiny kytovců

Do kytovců řadíme delfíny, velryby a sviňuchy. Největší kytovec, plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758), měří asi 33 metrů a váží 190 000 kg. Nejmenší zástupce, delfínovec laplatský (*Pontoporia blainvillei* Gervais and d'Orbigny, 1844), má 1,4 metrů a váží méně než 40 kg (Thewissen and Williams, 2002). Dnes je známo asi 90 druhů kytovců, kteří se vyskytují po celém světě. Kosticovce zastupuje 14 druhů a ozubené 76 druhů. Jeden druh již může být vyhynulý. Jedná se o říčního delfína Baiji (Rice, 1998).

Zjednodušený systém kytovců podle McKenny a Bellové 1997 (Roček, 2002).

Řád: Cetacea (kytovci) (sp. eocén – recent)

Podřád: Archaeoceti (prakytovcí) (sp. eocén – svrch. eocén.) †

Čeleď: Pakicetidae (sp. eocén) †

Čeleď: Ambulocetidae (stř. eocén) †

Čeleď: Remingtonocetidae (stř. eocén) †

Čeleď: Protocetidae (sp. eocén – stř. eocén) †

Čeleď: Basilosauridae (stř. eocén – svrch. eocén) †

Podřád: Autoceta (? sp. oligocén, svrch. oligocén – pliocén) †

Čeleď: Agorophiidae (svrch. oligocén) †

Čeleď: Squalodontidae (? Sp. oligocén, svrch. oligocén – pliocén) †

Čeleď: Rhabdosteidae (sp. miocén – svrch. miocén) †

Podřád: Mysticeti (kosticovci) (sp. oligocén – recent)

Čeleď: Aetiocetidae (svrch. oligocén) †

Čeleď: Mammalodontidae (? Sp. oligocén, svrch. oligocén) †

Čeleď: Cetotheriidae (sp. oligocén – svrch. pliocén) †

Čeleď: Balaenopteridae (plejtvákovití) (? sp. miocén, stř. miocén – recent)

Čeleď: Balaenidae (velrybovití) (sp. miocén – recent)

Podřád: Odontoceti (ozubení) (svrch. oligocén – recent)

Čeleď: Physeteridae (vorvaňovití) (sp. miocén – recent)

Čeleď: Hyperoodontidae (svrch. oligocén – recent)
 Čeleď: Platanistidae (sp. miocén – recent)
 Čeleď: Delphinidae (delfinovití) (oligocén – recent)
 Čeleď: Pontoporiidae (stř. miocén – recent)
 Čeleď: Lipotidae (miocén) †
 Čeleď: Iniidae (? sp. miocén, stř. miocén – recent)
 Čeleď: Kentriodontidae (? svrch. oligocén, stř. miocén – svrch. miocén)
 Čeleď: Monodontidae (narvalovití) (sp. miocén – recent)
 Čeleď: Odobenocetopsidae (pliocén)
 Čeleď: Dalpiazinidae (sp. miocén)
 Čeleď: Acrodelphinidae (sp. miocén – svrch. miocén)
 Čeleď: Phocoenidae (sviňuchovití) (svrch. miocén – recent)
 Čeleď: Albireonidae (svrch. miocén)
 Čeleď: Hemisyntachelidae (sp. pliocén)

Do podřádu Archaeoceti patřili společní předci obou dnes žijících skupin kytovců. Archaeoceti neboli praktovci se liší od dnešních kytovců zachováním znaků, které patří suchozemským savcům (Gingerich, 2008).

Podle Thewissen (1994) jsou Cetacea, Mesonychia a Artiodactyla spojovány do jedné skupiny Paraxonia.

Kytovci patří do skupiny savců, kteří žijí výhradně ve vodě. Jsou k tomuto stylu života poměrně dobře přizpůsobeni, a proto se nedokáží na souši vůbec pohybovat (Anděra a Červený, 2000). Většina kytovců by se svou vlastní vahou rozdrtila nebo zadusila, i přesto že dýchají vzduch. Výskyt kytovců sahá od tropů až k polárním oblastem. Žijí v nejrozmanitějších i nehostinných pásmech vod a zasahují i do velkých hloubek, kam se jiní obyvatelé oceánu nedostanou (Kiefner, 2002).

Kytovci mají řadu speciálních vlastností, které jim pomáhají přežít ve vodním prostředí. Například velké hydrodynamicky utvářené tělo (torpédovitý tvar), zjednodušený chrup, speciální komunikační systém, svalnatý ocas, který umožňuje pohyb ve vodě a samozřejmě mnoho dalších anatomických, behaviorálních a fyziologických rozdílů (Gingerich, 1998).

Pro přežití v mořském prostředí mají řadu přeměn. Například přizpůsobení očí a ledvin obsahu solí ve vodě, srst se stala zbytečnou, tak ji postrádají (Kiefner, 2002). Mají pouze několik hmatových chloupků na pyscích a bradě. Kůže má velmi tlustou pokožku, v níž převládá zárodečná vrstva (Gaisler a Zima, 2007). Chybí mazové a potní žlázy. Při plavání kůže citlivě reaguje změnou tvaru na proudění vody, proto způsobuje jen nepatrné tření a

nevznikají brzdící vodní víry, které omezují v plavání. Izolující funkci přebírá silná vrstva podkožního tuku, která snižuje měrnou hmotnost těla a chrání vnitřní orgány (Anděra a Červený, 2000).

Kytovci mají hydrodynamické tělo s vodorovně postavenou ocasní ploutví, která umožňuje rychlý pohyb. Přední končetiny jsou přeměněny v ploutve. Ploutvemi kytovci stabilizují své tělo ve vodě a ovládají jimi směr. Pohybují se pouze v ramenním kloubu a mají zmnožený počet prstních článků. Zadní končetiny se staly nadbytečné (Gaisler a Zima, 2007). Přestože moderní kytovci nemají zadní končetiny, tak v raných stádiích embryí jsou základy končetin přítomné (Thewissen et al., 2009). V kostře jsou k nalezení rudimentální kyčelní a stehenní kosti. Nejsou spojené se zbytkem kostry a neplní svou funkci. Další orgány, jako například samčí pohlavní orgány a samičí mléčné žlázy, jsou uschované v kožních záhybech v zadní části těla (Kiefner, 2002).

Hlava je poměrně velká s menší mozkovnou. Mozek kytovců je ale dobře vyvinutý (Gaisler a Zima, 2007). Na hlavě jsou malé oči a jeden nebo dva dýchací otvory, které jsou posunuté na temeno hlavy. Kolem dýchacích otvorů jsou svalové svěrače, které vnější nozdry pod vodou uzavírají (Anděra a Červený, 2000). Smysly jsou u kytovců redukovány. Zrak je pro ně vedlejší a není příliš dobrý. Mají měkké a velmi pružné čočky, které se přizpůsobují podmínkám okolí. Výhodou je, že kytovci vidí stejně nad vodou i pod vodou. Chuť zůstala pravděpodobně zachována, ačkoliv nemá velký význam. Hmat je velmi dobře vyvinutý. Některé druhy mají na rypci velmi citlivé štětiny. Hmat je využíván hlavně v sociálním životě. Sluch je pro tyto živočichy životně důležitý, poněvadž se dle něj orientují. Kytovci jsou navíc schopni používat echolokaci – ve vodním prostředí nazýváno hydrolokace (Kiefner, 2002). Frekvenční rozpětí, které dokáží velryby i delfini vysílat, se pohybuje v rozmezí 15 Hz až k hodnotám přes 100 kHz. Plejtváci se pohybují v hlubších tónech, naopak ozubené velryby ve vyšších tónech, které jsou vysílány v nárazovém rytmu. Obecně platí, že větší zvířata vydávají signály nižších frekvencí. Nižší frekvence se také nesou vodou lépe. Delfini vysílají zvuky vyšší než 20 kHz, a proto mají relativně krátký dosah (Au et al., 2000). Projevy delfínů jsou rozmanité. Vyluzují zvuky, které jsou pro člověka slyšitelné. Ty mají kmitočet 500 Hz až 15 kHz. Dále vysílají ultrazvuky o kmitočtu 20 – 240 kHz. Nízké zvuky slouží jako komunikační prostředek a vysoké, které mají rozmezí od 30 – 170 kHz, slouží například pro detekování překážek. Také mají vyvinutý smysl pro magnetismus (Kiefner, 2002). Zajímavostí je tříkomorový žaludek a chrupavčité výztuhy dýchacích cest (Jefferson et al., 1993).

3.3.1 Prakytovcí (Archaeoceti) †

Jedná se o primitivní kytovce. Skupina, která žila od raného eocénu do pozdního oligocénu. Tedy před 55 až 23 000 000 lety. Dělí se do pěti skupin: Pakicetidae, Ambulocetidae, Remingtonocetidae, Protocetidae a Basilosauridae (Gingerich et al., 2005).

Prakytovcí popisují jednoznačný přechod kytovců z pevniny do vodního prostředí. Fosilní nálezy jsou poměrně komplexní a poskytují dostatek informací o těchto předchůdcích kytovců (Gingerich, 2003). Jedná se o předky dnešních moderních kytovců, tedy kosticovců a ozubených (Thewissen, 2002).

První prakytovcí jsou Pakicetidae. Jedná se o nejstarší „velryby“. Měli krátké nohy a štíhlý ocas. Velikost se přibližovala dnešním vlkům. Jejich pozůstatky se našly v severním Pákistánu a severozápadní Indii ve sladkovodních sedimentech. Co se týče pohybu, spíše se brodili, než aby plavali (Bajpai et al., 2009).

Další jsou Ambulocetidae. Vypadají podobně jako krokodýl. Žili obojživelným životem. Byli velcí s velkýma nohama a silným ocasem. Vyskytovali se pravděpodobně v pobřežních oblastech. Lovili spíše ze zálohy, což naznačuje stavba jejich kostry. Jsou známí z Pákistánu a Indie a patří sem nejstarší *Himalayacetus*. Ten žil před 53 500 000 lety (Bajpai et al., 2009).

Remingtonocetidae byli nalezeni v Indii a Pákistánu. Žili na pobřeží a v kalných vodách. Pravděpodobně byli schopni žít i na pevnině. K plavání nejspíše používali silný ocas. Měli krátké končetiny a ploché ocasní obratle (Bajpai et al., 2009).

Kosterní pozůstatky Protocetidae byly nalezeny v Americe a Africe. Měli silný ocas a dobře plavali. Tito prakytovcí se začali šířit přes oceány po celé zemi (Bajpai et al., 2009).

Basilosauridae měli velmi malé zadní končetiny. Stále u nich nebyla přítomna echolokace jako u moderních kytovců (Bajpai et al., 2009). Jsou známé poměrně kompletní kostry, které mají řadu úprav pro přežití ve vodě. Tyto změny nejsou patrné u předchozích skupin (Thewissen et al., 2001c).

3.3.2 Kosticovci (Mysticeti)

Vyskytuje se celkem 14 druhů (Rice, 1998). Kosticovci postrádají zuby, ty jsou přítomné jen u zárodků nebo mláďat. Místo zubů jim po stranách horního patra vyrůstají tzv. kostice. Jsou to pružné rohovité útvary ve tvaru pravoúhlého trojúhelníka. Směřují dolů do tlamy v počtu několika set. Uspořádané jsou ve dvou řadách. Jedná se o deriváty kůže (Anděra a Červený, 2000). Kostice filtrují vodu a zachycují plankton, kterým se kosticovci

živí. Všichni kosticovci loví poblíž vodní hladiny, málokdy se potápí více než 100 metrů pod hladinu (Perrin et al., 2009). Čelist kosticovců je velmi pružná a umožňuje tak velké rozpětí ústní dutiny k přijímání potravy (Fitzgerald, 2012). Spodní čelist je delší než horní (Gaisler a Zima, 2007). Lebka je souměrná a má dva dýchací otvory (Gaisler a Zima, 2007). Tyto otvory jsou umístěné na vrchní straně hlavy. Jedná se o podélné štěrby, které se dopředu sbíhají a vzadu rozšiřují. Otvory jsou obklopeny masitým hřebenem, který zabraňuje vniknutí vody do otvorů, zatímco velryba dýchá (Tinker, 1988). Hrudník se skládá z jedné kosti (Jefferson et al., 1993).

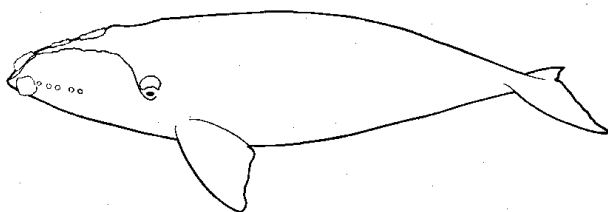
Téměř všichni kosticovci sezonně migrují (Jefferson et al., 1993). Mysticeti používají pro komunikaci zvuk. “Zpívají“ zejména v období rozmnožování. Zpěv některých může trvat půl minuty a může být slyšet až stovky kilometrů. Samci kepokaka mají nejsložitější a nejdelší skladby. Mohou mít 10 minut a opakovat se po několik hodin (Perrin et al., 2009). Samci jsou menší než samice (Gaisler a Zima, 2007).

Kosticovci mají obecně velké rozměry. Jejich velikost se pohybuje od 6 metrů do 30 metrů. Nejmenší zástupce je velrybka malá (*Caperea marginata* Gray, 1846) a největší plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus*), který dosahuje délky, až 33 metrů a 160 tun hmotnosti (Jefferson et al., 1993).

Kosticovce rozdělujeme do 4 čeledí – Balaenidae, Neobalaenidae, Balaenopteridae, Eschrichtiidae.

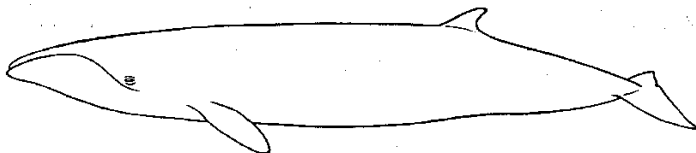
Balaenidae, česky velrybovití neboli pravé velryby jsou velké a robustní, mají obloukovitou horní čelist a dlouhé úzké kostice (Obr. 7). Hlava může zabírat až jednu třetinu velikosti těla. Nemají hřbetní ploutev. Zástupci této čeledi jsou pomalejší a všech 7 krčních obratlů je spojených (Jefferson et al., 1993). Jedná se o velké velryby o velikosti 15 – 17 metrů a hmotnosti 50 – 80 tun. Strava se skládá z malých koryšů a z velkého množství krilu. Jejich ploutve jsou krátké a široké. Podél hrdla nemají žádné drážky (MacDonald, 1984).

Mezi typické zástupce patří například velryba černá (*Eubalaena glacialis* Müller, 1776), velryba jižní (*Eubalaena australis* Desmoulins, 1822) a velryba grónská (*Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758).



Obr. 7: Zástupce čeledi Balaenidae (Jefferson et al., 1993)

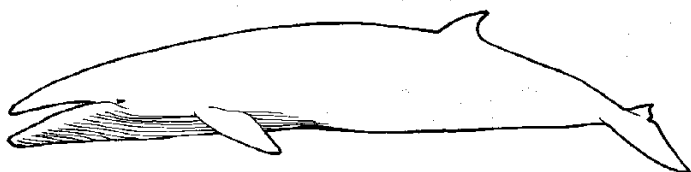
Neobalaenidae neboli velrybkovití mají jen jednoho zástupce – velrybku malou (*Caperea marginata*). Vyskytuje se na Jižní polokouli. Malá hlava, která dosahuje čtvrtiny délky těla (Obr. 8). Kostice jsou relativně dlouhé a nažloutlé s tmavším vnějším okrajem. Mají hřbetní ploutev a mírně klenutou čelist. Některá žebra jsou rozšířená a zploštělá (Jefferson et al., 1993).



Obr. 8: Zástupce čeledi Neobalaenidae (Jefferson et al., 1993)

Balaenopteridae (Obr. 9) neboli plejtvákovití zahrnují největší zástupce. Délka těla dospělého může být 7 a více metrů. Jsou rychlí a aktivní. Čelisti jsou uzpůsobené k tomu, aby se široce otevřely a přijaly co největší množství potravy. Podle hustoty a délky kostic se dá rozlišit druh. Balaenopteridae mají hřbetní ploutev různých velikostí a tvarů, která je umístěná ve středu zad. Horní čelist má poměrně plochý profil (Jefferson et al., 1993). Výskyt v mořích a oceánech kromě tropů.

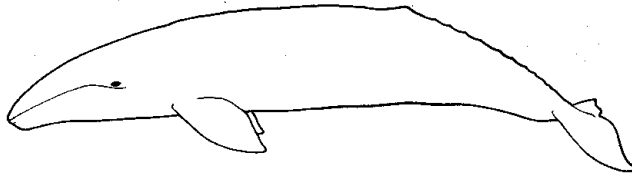
Zástupci této čeledi jsou například plejtvák myšok (*Balaenoptera physalus* Linnaeus, 1758), největší kytovec plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus*) a plejtvák malý (*Balaenoptera acutorostrata* Lacépède, 1804).



Obr. 9: Zástupce čeledi Balaenopteridae (Jefferson et al., 1993)

Eschrichtiidae jinak nazývaní plejtvákovcovití jsou robustní (Obr. 10). Mají krátkou a úzkou hlavu. Kostice jsou krátké a hrubé (Jefferson et al., 1993). Vyskytují se v severní části Tichého oceánu.

Zástupcem této čeledi je kupříkladu plejtvákovec šedý (*Eschrichtius robustus* Lilljeborg, 1860).



Obr. 10: Zástupce čeledi Eschrichtiidae (Jefferson et al., 1993)

3.3.3 Ozubení (Odontoceti)

Ozubení mají homodontní chrup. V něm jsou zuby tvarově nerozlišené. Jsou kuželovité a mají jeden kořen. Slouží k zachycení a usmrcení kořisti (Anděra a Červený, 2000). Zuby se liší podle druhů. Může jich být celá řada. U některých delfínů je více než 100 kusů zubů. Zvláštností jsou narvalovití, kteří mají dlouhý kel.

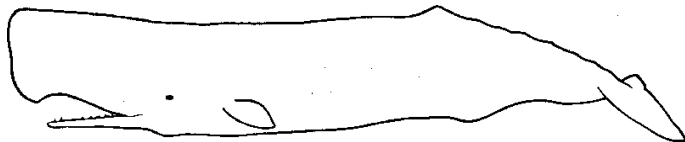
Lebka je nesouměrná s jedním dýchacím otvorem, kterým také vydávají zvuk. Dolní čelist je stejně dlouhá jako horní (Gaisler a Zima, 2007). Lebka má konkávní profil. Hrudní kost ozubených se skládá ze tří nebo více částí (Jefferson et al., 1993). Nad rostrem je velké tukové těleso. Toto těleso nazýváme meloun. Svoje uplatnění nachází při echolokaci (Gaisler a Zima, 2007). Echolokace slouží k navigování a k hledání potravy, popřípadě k detekci predátorů, kterým se mohou ozubení posléze vyhnout. Ozubení se živí aktivním lovením kořisti. Nejčastěji loví ryby a chobotnice (Jefferson et al., 1993). Samec je větší než samice (Gaisler a Zima, 2007).

Ozubení jsou malí až středně velcí kytovci. Výjimkou je pouze vorvaň, který může měřit kolem 18 metrů. Je zde přítomen sexuální dimorfismus. Dělí se do 9 čeledí – Physteridae, Kogiidae, Monodontidae, Ziphiidae, Delphinidae, Phocoenidae, Platanistidae, Iniidae, Pontoporiidae.

Physteridae neboli vorvaňovití mají velkou hlavu, která má čtvercový profil (Obr. 11). Tvoří čtvrtinu délky z velikosti celého těla a je tupě zakončena. Spodní čelist je malá a úzká (Jefferson et al., 1993). Zuby jsou jednoduché a podobné a nalézají se jen ve spodní čelisti (MacDonald, 1984). Tělo je protáhlé a chybí hřbetní ploutev. Místo ní je vytvořen malý hřbetní hrb. Dýchací otvor je umístěn v levé horní části hlavy a má tvar písmene S. Na hlavě mají dutinu, která obsahuje spermacet – olejová tekutina. Vorvaňovití jsou schopni se potápět do velkých hloubek, kde vydrží i poměrně dlouho dobu (Jefferson et al., 1993). Oči se nemohou otáčet v důlcích. Pravděpodobně je pro ně echolokace důležitější než vidění (MacDonald, 1984). Pohlavní dimorfismus je u nich velmi výrazný (Jefferson et al., 1993). Samice měří kolem 11 metrů a váží 15 tun. Samec je mnohem větší. Měří víc než 15 metrů a

váží 45 tun (Whitehead, 2003). Vorvaňovití se živí chobotnicemi, rybami a někteří loví i žraloky (MacDonald, 1984).

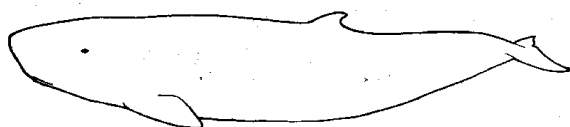
Zástupce vorvaňovitých je například vorvaň obrovský (*Physeter catodon* Linnaeus, 1758).



Obr. 11: Zástupce čeledi Physeteridae (Jefferson et al., 1993)

Kogiidae jsou menšího vzrůstu. Měří kolem 2 metrů. Skupina je nepatrně podobná vorvaňovitým. Stejně jako oni mají hranatou hlavu s tupým zakončením a malou spodní čelist (Obr. 12). Hlava je menší. Dýchací otvor je umístěn dále vpředu než je tomu u vorvaňovitých. Mají vytvořenou hřbetní ploutev (Jefferson et al., 1993). Živí se rybami a chobotnicemi (MacDonald, 1984).

Řadíme sem kupříkladu kogii tuponosou (*Kogia breviceps* Blainville, 1838).



Obr. 12: Zástupce čeledi Kogiidae (Jefferson et al., 1993)

Monodontidae jinak nazývání narvalovití (Obr. 13). Malé velryby, které mají méně než 6 metrů. Tělo je podsadité. Hlava je malá, baňatá a má tupé zakončení. Ploutve jsou široké a kulaté (Jefferson et al., 1993). Hřbetní ploutev chybí. Místo ní mají podél celého hřbetu úzký hřeben (MacDonald, 1984). Obývají arktické a subarktické oblasti Severní polokoule. Jejich lebka je z profilu plochá. Mají krátký nebo dokonce žádný čenich. Krční obratle nejsou srostlé, to umožňuje větší pohyblivost krku (Jefferson et al., 1993). Vyluzují širokou škálu zvuků, kterou mezi sebou komunikují. K orientaci využívají echolokaci. Živí se rybami, korýši nebo měkkýši (MacDonald, 1984).

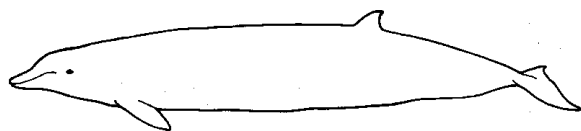
Patří sem například druh běluha severní (*Delphinapterus leucas* Pallas, 1776) a narval jednorohý (*Monodon monoceros* Linnaeus, 1758).



Obr. 13: Zástupce čeledi Monodontidae (Jefferson et al., 1993)

Ziphiidae neboli vorvaňovcovití (Obr. 14). Nacházejí se v oceánech po celém světě (Myers, 1999). Velryby středně velkého vzrůstu. Měří od hlavy k ocasu 4 – 13 metrů (Jefferson et al., 1993). Váží kolem 11 500 kg (Myers, 1999). Mají protáhlé čelisti připomínající zobák. Na hrdle mají 6 rýh, které tvoří písmeno V. Hřbetní ploutev je malá a posunutá do zadní části těla. Hrudní ploutve jsou malé a úzké. U této čeledi jsou samice větší než samci (Jefferson et al., 1993). Barva může být jednotná šedá nebo hnědá. Někdy mohou mít bílé znaky. Samci mají 1 nebo 2 velké zuby ve spodní čelisti. Samice mají zuby schované v dásních. Jsou schopni poměrně hlubokých ponorů. Jako potravu mají hlavonožce nebo ryby (Myers, 1999).

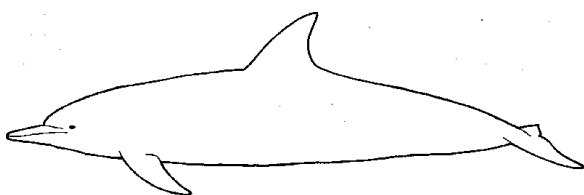
Mezi vorvaňovcovité patří například vorvaňovec japonský (*Mesoplodon ginkgodens* Nishiwaki and Kamiya, 1958), vorvaňovec jižní (*Mesoplodon hectori* Gray, 1871) a vorvaňovec kalifornský (*Mesoplodon carlhubbsi* Moore, 1963).



Obr. 14: Zástupce čeledi Ziphiidae (Jefferson et al., 1993)

Delphiniidae neboli delfínovití jsou nejpočetnější čeledí kytovců. Různorodá skupina žijící většinou na otevřených mořích. Velikost je od 1 metru do 9,8 metrů. Společným znakem je protáhlá čelist, která připomíná zobák (Obr. 15). Zuby mají kuželovitý tvar, hřbetní ploutev je srpovitá a je umístěná ve středu zad (Jefferson et al., 1993). Živí se rybami. Jsou velmi dobrými plavci. Mohou mít mnoho barev a vzorů (MacDonald, 1984).

Mezi typické zástupce patří delfín obecný (*Delphinus delphis* Linnaeus, 1758), delfín skákavý (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) a další.

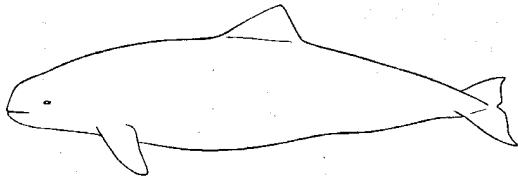


Obr. 15: Zástupce čeledi Delphiniidae (Jefferson et al., 1993)

Phocoenidae jinak také sviňuchovití (Obr. 16). Vyskytují se v pobřežních oblastech. Mají krátký nebo žádný zobák. U většiny se vyskytuje krátká trojúhelníkovitá hřbetní ploutev. U některých druhů může být samice větší než samec. Žijí skupinově. Skupiny, které tvoří, jsou menší a struktura je jednodušší než u jiných druhů (Jefferson et al., 1993). Sviňuchy mají

tlustý tuk, který je izoluje před zimou. Jejich malá velikost vyžaduje, aby častěji přijímali potravu (Read, 1999).

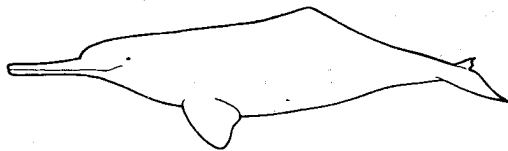
Řadíme sem například sviňuchu obecnou (*Phocoena phocoena* Linnaeus, 1758), sviňuchu kalifornskou (*Phocoena sinus* Norris and McFarland, 1958) a sviňuchu černou (*Phocoena spinipinnis* Burmeister, 1865).



Obr. 16: Zástupce čeledi Phocoenidae (Jefferson et al., 1993)

Platanistidae jinak nazývají delfínovcovití (Obr. 17). Žijí v řekách. Jedná se o kytovce, kteří jsou téměř slepí a k orientaci využívají echolokaci. Délka těla je kolem 2,6 metrů. Mají velmi dlouhý čumák a zuby, které vyčníhají mimo čelisti. Dýchací otvor má tvar podélné štěrbině. Delfínovcovití nemají hřbetní ploutev. Hřbetní ploutev nahrazuje hřbetní hřeben, který není příliš velký (Jefferson et al., 1993).

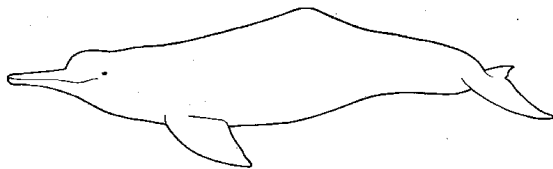
Zástupce této čeledi je například delfínovec ganžský (*Platanista gangetica* Roxburgh, 1801).



Obr. 17: Zástupce čeledi Platanistidae (Jefferson et al., 1993)

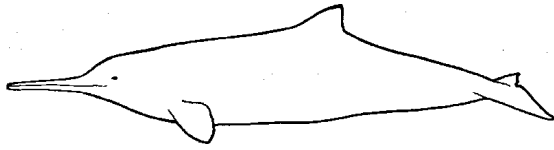
Iniidae jsou říční delfíni (obr. 18). Mají středně dlouhý čenich, který je silný a je posetý chloupky. Hřbetní hřeben je nízký a nepříliš zřetelný. Zajímavostí je barva dospělých jedinců, která je téměř růžová. Vyskytují se v Amazonii a v Jižní Americe (Jefferson et al., 1993).

Řadíme sem kupříkladu delfínovce amazonského (*Inia geoffrensis* Blainville, 1817).



Obr. 18: Zástupce čeledi Iniidae (Jefferson et al., 1993)

Pontoporiidae jsou kytovci s extrémně dlouhým čenichem (Obr. 19). Mají nízkou a trojúhelníkovitou hřbetní ploutev. Samci jsou menší než samice (Jefferson et al., 1993).



Obr. 19: Zástupce čeledi Pontoporiidae (Jefferson et al., 1993)

4 Závěr

Tématem mé práce byla evoluce kytovců. Toto téma je velmi rozsáhlé a vyskytuje se mnoho publikací a článků, které se touto problematikou zabývají. Co se týče původů kytovců, existuje více názorů, které se více či méně rozcházejí. Názory molekulárních biologů a paleontologů se v mnoha ohledech liší. Molekulární biologové se přiklání spíše k tvrzení, že kytovci mají společné předky s Artiodactyla.

Existuje spousta výzkumů, které postupně vyplňují mezery v současných vědomostech a poznacích. Například poslední fosilní nálezy prakytovců v Pákistánu potvrzují myšlenku, že kytovci se řadí k sudokopytníkům, jak je již dnes známo a často uváděno.

Důležité je zmínit, že kytovci v průběhu svého vývoje prošli mnoha změnami a adaptacemi, aby mohli přežít ve vodním prostředí. Tyto změny se odrazily na jejich vzhledu i ve způsobu jejich života pod hladinou.

Tato práce pomáhá vníknout a pochopit průběh evoluce od jejich počátků až do současnosti.

Hledání informací pro vytvoření této práce mne zasvětilo hlouběji do života kytovců a utvrdilo v tom, že to jsou pozoruhodná zvířata, která prošla dlouhým evolučním a složitým procesem, aby měla takovou podobu, jakou známe dnes.

V současnosti je popsáno kolem 90 druhů kytovců. Podřád koticovců čítá 14 druhů a řád ozubených 76 druhů.

5 Seznam literatury

- Anděra, M., Červený, J. 2000. Svět zvířat III, Savci 3, Albatros, Praha, 153 s. ISBN: 80-00-00829-7
- Au, W. W., Popper, A. N., Fay, R. R. (Eds.). 2000. Hearing by whales and dolphins. Springer Science & Business Media.
- Bajpai, S., Thewissen, J. G. M., Sahni, A. 2009. The origin and early evolution of whales: macroevolution documented on the Indian Subcontinent. *Journal of biosciences*, 34 (5). 673-686.
- Boisserie, J. R., Lihoreau, F., Brunet, M. 2005. The position of Hippopotamidae within Cetartiodactyla. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102 (5). 1537-1541.
- Buchholtz, E. A. 1998. Implications of vertebral morphology for locomotor evolution in early Cetacea. In *The Emergence of Whales* (p. 325-351). Springer US.
- Chiang, C., Litingtung, Y., Lee, E., Young, K. E., Corden, J. L., Westphal, H., Beachy, P. A. 1996. Cyclopia and defective axial patterning in mice lacking Sonic hedgehog gene function.
- Fitzgerald, E. M. 2012. Archaeocete-like jaws in a baleen whale. *Biology letters*. 8 (1). 94-96.
- Gaisler, J., Zima, J. 2007. *Zoologie obratlovců*, Academia. Praha. 696 s. ISBN: 978-80-200-1484-9.
- Gatesy, J. 1997. More DNA support for a Cetacea/Hippopotamidae clade: the blood-clotting protein gene gamma-fibrinogen. *Molecular Biology and Evolution*. 14 (5). 537-543.
- Geisler, J. H., Uhen, M. D. 2003. Morphological support for a close relationship between hippos and whales. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 23 (4). 991-996.
- Gingerich, P. D. 1998. Paleobiological perspectives on Mesonychia, Archaeoceti, and the origin of whales. In: *The emergence of whales*. Springer US. 423-449.
- Gingerich, P. D., Ul-Haq, M. U. N. I. R., Khan, I. H., Zalmout, I. S. 2001a. Eocene stratigraphy and archaeocete whales (Mammalia, Cetacea) of Drug Lahar in the eastern Sulaiman Range, Balochistan (Pakistan). *Museum of Paleontology*. The University of Michigan.
- Gingerich, P. D., Haq, M., Zalmout, I. S., Khan, I. H., Malkani M. S. 2001b. Origin of whales from early artiodactyls: hands and feet of Eocene Protocetidae from Pakistan. *Science* 293:2239-42.
- Gingerich, P. D. 2003. Land-to-sea transition in early whales: evolution of Eocene Archaeoceti (Cetacea) in relation to skeletal proportions and locomotion of living semiaquatic mammals. *Journal Information*. 29 (3).

- Gingerich, P. D., Zalmout, I. S., Ul-Haq, M., Bhatti, M. A. 2005. *Makaracetus bidens*, a new protocetid archaeocete (Mammalia, Cetacea) from the early middle Eocene of Balochistan (Pakistan).
- Gingerich, P. D. 2008. Early Evolution of Whales, In: Elwyn Simons: A Search for Origins. Springer New York. 107-124.
- Gingerich, P. D. 2012. Evolution of Whales from Land to Sea1, PROCEEDINGS OF THE AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. 156 (3).
- Hopson, J. A. 1969. THE ORIGIN AND ADAPTIVE RADIATION OF MAMMAL-LIKE REPTILES AND NONTHERIAN MAMMALS. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 167 (1). 199-216.
- Jehle, M. 2006. "Carnivores, creodonts and carnivorous ungulates: Mammals become predators". Paleocene mammals of the world [online]. Aktualizace 5. dubna 2015 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z <<http://www.paleocene-mammals.de/predators.htm>>
- Jefferson, T. A., Leatherwood, S., Webber, M. A. 1993. *Marine mammals of the world*. Food & Agriculture Org.
- Kiefner, R. 2002. *Whales & Dolphins: Cetacean World Guide*, Hollywood Import & Export, Inc. 305 p. ISBN: 3925919589.
- MacDonald, D. W. 1984. *The encyclopedia of mammals*. Facts on File. Inc. New York. ISBN: 0-87196-871-1.
- Montgelard, C., Catzeflis, F. M., Douzery, E. 1997. Phylogenetic relationships of artiodactyls and cetaceans as deduced from the comparison of cytochrome b and 12S rRNA mitochondrial sequences. *Molecular Biology and Evolution*. 14 (5). 550-559.
- Myers, P. *Animal Diversity Web: Ziphiidae* [online]. University of Michigan Museum of Zoology, MI, USA, rev. 1999, [cit. 2015-02-04]. Dostupné z <<http://animaldiversity.org/accounts/Ziphiidae/>>
- Nummela, S., Hussain, S. T., Thewissen, J. G. M. 2006. Cranial anatomy of Pakicetidae (Cetacea, Mammalia). *Journal of Vertebrate Paleontology*. 26. 746-759.
- Nummela, S., Thewissen, J. G. M., Bajpai, S., Hussain, S. T., Kumar, K. 2007. Sound transmission in archaic and modern whales: anatomical adaptations for underwater hearing. *The Anatomical Record*. 290. 716-733.
- Perrin, W. F., Wursig, B., Thewissen, J. G. M. (Eds.). 2009. *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-373553-9.
- Read, A. 1999. *Porpoises*. Stillwater, MN, USA. Voyageur Press. ISBN:0-89658-420-8.
- Rice, D. W. 1998. *Marine mammals of the world. Systematics and distribution*. Society for Marine Mammalogy Special Publication. 4:1-231.

- Riddle, R. D., Johnson, R. L., Laufer, E., Tabin, C. 1993. Sonic hedgehog mediates the polarizing activity of the ZPA. *Cell*. 75 (7). 1401-1416.
- Roček, Z. 2002. Historie obratlovců - Evoluce, fylogeneze, systém. Academia. Praha. 512 s. ISBN: 80-200-0858-6.
- Robovský, J. 2004. Různé pohledy na fylogenezi kytovců. *Živa* 5/2004. 227-230.
- Spaulding, M., O'Leary, M. A., Gatesy, J. 2009. Relationships of Cetacea (Artiodactyla) among mammals: increased taxon sampling alters interpretations of key fossils and character evolution. *PLoS One*. 4 (9). e7062.
- Thewissen, J. G. M. 1994. Phylogenetic aspects of cetacean origins: a morphological perspective, *Journal of Mammalian Evolution*. 2. 3. 157-184.
- Thewissen, J. G. M., Bajpai, S. 2001a. Dental morphology of the Remingtonocetidae (Cetacea, Mammalia). *Journal of Paleontology*. 75 (2). 75. 463-465.
- Thewissen, J. G. M., Bajpai, S. 2001b. Whale origins as poster child for macroevolution, *BioScience*. 51 (12). 1037-1049.
- Thewissen, J. G., Williams, E. M., Roe, L. J., Hussain, S. T. 2001c. Skeletons of terrestrial cetaceans and the relationship of whales to artiodactyls. *Nature*. 413 (6853), 277-281.
- Thewissen, J. G. M. 2002. "Archaeocetes, Archaic". In Perrin, William R; Wiirsig, Bernd; Thewissen, J. G. M. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press. pp. 36-9. ISBN:0-12-551340-2.
- Thewissen, J. G., Williams, E. M. 2002. The early radiations of Cetacea (Mammalia): evolutionary pattern and developmental correlations. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 73-90.
- Thewissen, J. G. M., Cohn, M. J., Stevens, L. S., Bajpai, S., Heyning, J., Horton, W. E. 2006. Developmental basis for hind-limb loss in dolphins and origin of the cetacean bodyplan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103 (22). 8414-8418.
- Thewissen, J. G. M., Cooper, L. N., George, J. C., Bajpai, S. 2009. From land to water: the origin of whales, dolphins, and porpoises. *Evolution: Education and Outreach*. 2 (2). 272-288.
- Tinker, S. W., 1988. *Whales of the World*. Brill archiv. 310 p. ISBN:978-0935848472.
- Uhen, M. D. 1998. Middle to Late Eocene Basilosaurines and Dorudontines, The Emergence of Whales: Evolutionary Patterns in the Origin of Cetacea. 1. 29.
- Uhen, M. D. 2004. Form, function, and anatomy of *Dorudon atrox* (Mammalia, Cetacea): an archaeocete from the middle to late Eocene of Egypt.
- Whitehead, H. 2003. *Sperm whales: social evolution in the ocean*. University of Chicago Press.

Wilson, G. P., Evans, A. R., Corfe, I. J., Smits, P. D., Fortelius, M., Jernvall, J. 2012. Adaptive radiation of multituberculate mammals before the extinction of dinosaurs. *Nature*. 483 (7390). 457-460.

Zhou, X., Zhai, R., Gingerich, P. D., Chen, L. 1995. Skull of a new mesonychid (Mammalia, Mesonychia) from the late Paleocene of China. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 1 (2). 387-400.

6 Přílohy

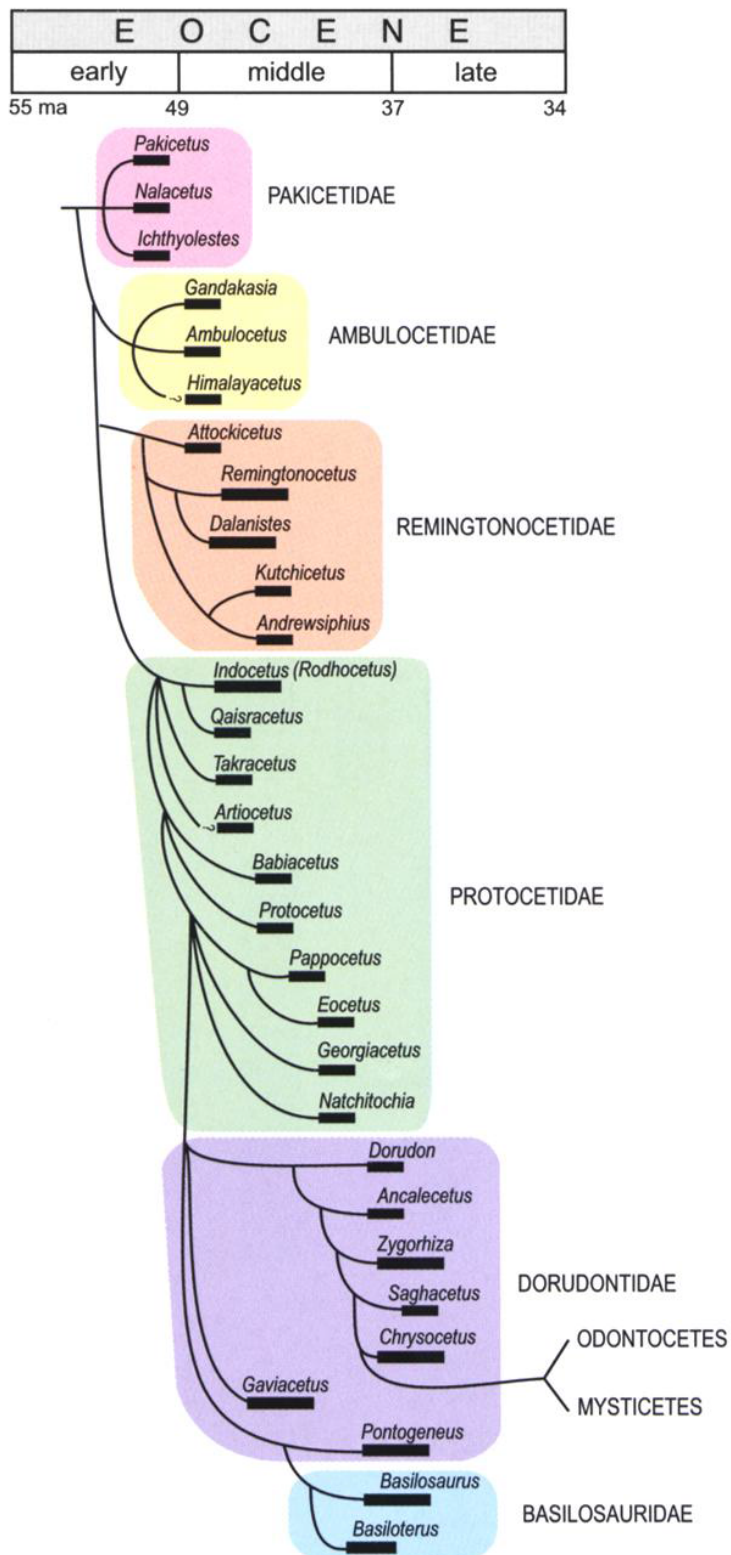
6.1 Seznam příloh

Příloha I: Fylogenetický strom, který ukazuje vztahy mezi kytovci v období eocénu (Thewissen and Williams, 2002).

Příloha II: Téměř kompletní kostra zástupce *Dorudon atrox* shromážděná v roce 1991. A přední končetina modifikovaná do podoby ploutve (Gingerich, 2008).

Příloha III: Zástupci podřádu Archaeoceti (Thewissen and Williams, 2002).

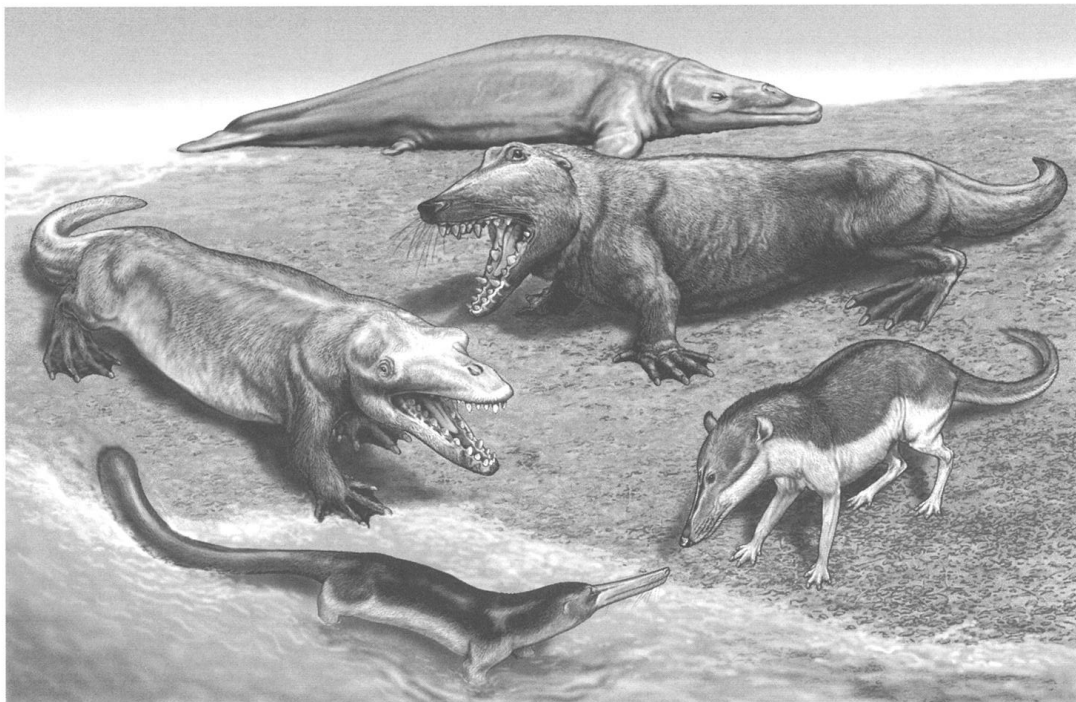
Příloha IV: Embrya delfína kapverdského, na kterém byl prováděn výzkum růstu končetin. První embryo znázorňuje pupeny předních končetin, ale zadní zde nejsou. Na druhém embryu zadní končetiny jsou, ale v průběhu vývoje embrya opět mizí. To znázorňuje třetí a čtvrté embryo (Thewissen et al., 2009).



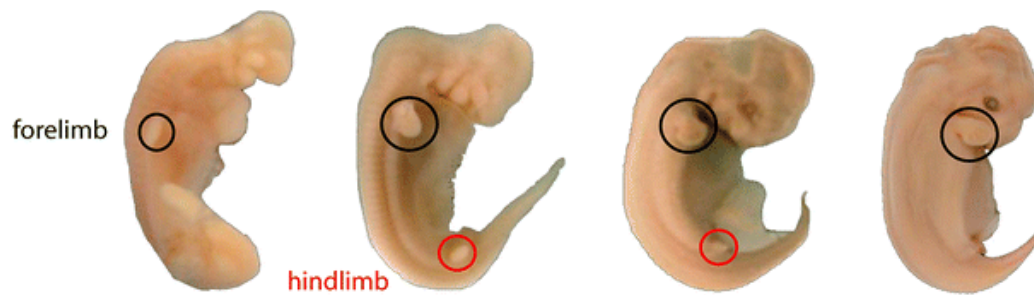
Příloha I: Fylogenetický strom, který ukazuje vztahy mezi kytovci v období eocénu (Thewissen and Williams, 2002).



Příloha II: Téměř kompletní kostra zástupce *Dorudon atrox* shromážděná v roce 1991. A přední končetina modifikovaná do podoby ploutve (Gingerich, 2008).



Příloha III: Zástupci podřádu Archaeoceti (Thewissen and Williams, 2002).



Příloha IV: Embrya delfína kapverdiského, na kterém byl prováděn výzkum růstu končetin. První embryo znázorňuje pupeny předních končetin, ale zadní zde nejsou. Na druhém embryu zadní končetiny jsou, ale v průběhu vývoje embrya opět mizí. To znázorňuje třetí a čtvrté embryo (Thewissen et al., 2009).