Anatomske i morfološke prilagodbe morskih sisavaca

Blažeković, Kristina

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:935822

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

ANATOMSKE I MORFOLOŠKE PRILAGODBE MORSKIH SISAVACA

ANATOMY AND MORPHOLOGY ADAPTATION OF SEA MAMMALS

SEMINARSKI RAD

Kristina Blažeković
Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)
Mentor: Prof. dr. sc. Milorad Mrakovčić
Pomoćni mentor: dr. sc. Marko Ćaleta

Zagreb, 2010.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. TAKSONOMIJA.....2
3. EVOLUCIJA 3
3.1. Evolucija Cetacea.....3
3.2. Evolucija Sirenia.....4
3.3. Evolucija Carnivora.....4
4. ANATOMSKE I MORFOLOŠKE PRILAGODBE POJEDINIH SUSTAVA 5
4.1. ŽIVOT U VODENOM MEDIJU.....5
4.2. OBLIK TIJELA.....5
4.3. PRILAGODBE EKSTREMITETA I POTPORNI SUSTAV.....6
4.4. KOŽA.....9
4.5. DIŠNI SUSTAV.....10
4.6. TERMOREGULACIJA I KRVOŽILNI SUSTAV.....13
4.7. OSJETILNI ORGANI I ŽIVČANI SUSTAV.....14
4.8. REPRODUKCIJA.....15
5. EHOLOKACIJA.....17
6. POPIS LITERATURE.....18
7. SAŽETAK.....19
8. SUMMARY.....20

1. UVOD

Vodene kralješnjake možemo podijeliti na primarne i sekundarne plivače. Sve ribe su primarni plivači jer su njihovi preci također plivali dok su svi ostali kralježnjaci (među njima i morski sisavci) sekundarni plivači, jer su njihovi preci živjeli na kopnu i potom se naknadno vratili životu u vodi. Kao posljedica sekundarnog povratka u vodeni medij sekundarni plivači imaju strukturne i fiziološke hendikepe koji većinu njih sprečavaju da ponovo postanu potpuno prilagođeni životu u vodi. Naknadni povratak u vodu za mnoge porodice kralješnjaka je bio mnogo lakši i brži od prvog prelaska na kopno tako da se dogodio više puta tijekom evolucije u različitim porodicama. Redovi sisavaca koje smatramo morskima su: Cetacea (sve porodice tog reda), Carnivora (cijele porodice: Odobenidae (morževi), Otariidae (tuljani ušani) i Phocidae (pravi tuljani), Sirenia (dugong i lamantin). Morske vidre većina autora ne smatra morskim sisavcima pa u ovom radu neću posebno pisati o njihovim prilagodbama na život u vodi.

2. TAKSONOMIJA

Carstvo: *Animalia* (životinje)

Koljeno: *Chordata* (svitkovci)

Potkoljeno: *Vertebrata* (kralješnjaci)

Razred: *Mammalia* (sisavci)

Podrazred: *Theria* (pravi sisavci)

Nadred: *Eutheria* (plodvaši)

Red: *Cetacea* (kitovi)

Podred: *Mysticeti* (kitovi usani)

Porodica: 1. *Balaenidae*

2.*Balaenopteridae* (brazdasti kitovi)

3. *Eschrichtiidae* (sivi kit)

4. *Neobalaenidae*

Podred: *Odontoceti* (kitovi zubani)

Porodica: 1. *Delphinidae* (šiljatozubi delfini)

2.*Monodontidae* (Narval i Beluga)

3. *Phocoenidae* (dupini)

4. *Physeteridae* (prave ulješure)

5.*Platanistidae* (riječni dupini)

6.*Ziphiidae* (brazdasti dupini)

Red: *Carnivora*

Podred: *Caniformia*

Porodica:

1.*Odobenidae* (morževi)

2.*Otariidae* (tuljani ušani)

3. *Phocidae* (pravi tuljani)

Red: *Sirenia*

Porodica : 1.*Dugongidae* (dugong)

2.*Trichechidae* (lamantini)

3. EVOLUCIJA

Svi organizmi imaju različite sposobnosti za ekološke i evolucijske prilagodbe na promjene uvjeta u okolišu. Ekološke prilagodbe se događaju u životnom vijeku jednog organizma, dok je osnovna biološka jedinica evolucijskih promjena, populacija. Evolucijske prilagodbe se događaju na razini populacije, nikad jedinki, zato što jedinke ugibaju neovisno o tome da li njihova populacija evoluira.

Mogući razlozi ponovnog prelaska na život u vodi su:

1. Pristup raznovrsnoj hrani (riba, plankton, veći beskralješnjaci i biljke)
2. Bijeg od kopnenih predatora (iako su se mogli susresti sa predatorima u vodi, općenito evolucija uvijek ide u smjeru veće sigurnosti)
3. Oceani i velike rijeke su povoljan okoliš i put za rasprostranjenje i migracije
4. Voda je najčešće relativno konstantan okoliš (Hildebrand i Goslow 2001)

3.1. Evolucija reda *Cetacea*

Morfološke prilagodbe kitova na život u vodi su sve sekundarne, što znači da su kitovi evoluirali od kopnenih sisavaca. Smatra se da je njihova evolucija krenula u srednjem paleocenu (geološko razdoblje prije 65,5 milijuna godina- 56 milijuna godina) iz porodice *Mesonychidae* (red: *Condylarthra*- rani red i preci današnjih *Ungulata*). Pretpostavlja se da su pripadnici porodice *Mesonchydae* postepeno prešli u nišu hranjenja u plitkoj vodi koja je ostala prazna nakon izumiranja velikih gmazova poput Plesiosaurusa i Ichtyosaurusa. (Feldhamer i sur. 1999.)

U Eocenu se razvija red *Archaeoceti* (rana grupa kitova koji su pokazivali prelazne prilagodbe na potpuno vodeni život) sa prvim fosilnim nalazom najranijeg kita vrste *Pakicetus inachus*. Neke od primitivnih karakteristika ove vrste su bile: malo tijelo, primitivna struktura uha bez ikakve prilagodbe na duboko ronjenje ili sluh ispod vode i heterodontno zubalo. Prelazna vrsta srednjeg Eocena, *Basilosaurus isis* je imala još uvijek funkcionalne stražnje udove sa normalnom koštanom strukturom. Iako se za red *Archeoceti* smatra da su iz prva živjeli “dvostruk” život hraneći se u vodi a boraveći na

kopnu, do sredine Eocena kitovi su postali potpuno akvatički i visoko prilagođeni životu u vodi.

Veza podreda *Archaeoceti* sa modernim podredovima (*Mysticeti* i *Odontoceti*) je do danas ne razjašnjena, iako je vrlo vjerojatno da su ta dva podreda imala zajedničkog pretka (Caroll 1988.) Ova dva danas poznata podreda kitova su se mogli već jasno razlikovati u ranom Oligocenu.

3.2. Evolucija reda *Sirenia*

Prvi rani fosili reda *Sirenia* su iz srednjeg Eocena, roda *Prorastomus*. Pripadnici tog roda su još živjeli na kopnu ali su imali neke prilagodbe na život u vodi (odsustvo paranazalnih sinusa, veća rebra povećane gustoće). Postoje bolji fosilni dokazi za porodicu *Dugongidae* nego za porodicu *Trichedidae.*

3.3 Evolucija reda *Carnivora*

Red Carnivora uključuje mnoge kopnene predatore poput mačaka, medvjeda, lasica, pasa te morskih vidri i polarnih medvjeda. Sam red *Carnivora* potječe još iz rane Krede, prije 65 milijuna godina. Unutar reda *Carnivora* nalazi se posebna grupa organizama u tri porodice koji zbog svojih međusobnih sličnosti (i velikih razlika sa ostatkom porodica) mogu opravdano dobiti status nadreda, Pinnipedia. Zadnjih nekoliko desetljeća znanstvenici su vjerovali da Pinnipedia potječu od dvije zasebne razvojne linije, da su tuljani više srodni sa mačkama sličnim precima nego sa morskim lavovima i morževima. Današnje analize molekularne strukture krvi, proteina očne leće i DNA Pinnipedia ukazuju na to da svi imaju zajedničko evolucijsko porijeklo. Najraniji preci porodice Pinnipedia (Enaliarctida) su živjeli prije 22- 24 milijuna godina. Najnoviji molekularni dokazi ukazuju da su Pinnipedia evoluirali iz životinja sličnih medvjedima prije 23 milijuna godina (kasni Oligocen). Najraniji nađeni poznati fosil Pinnipedia (23 milijuna godina) je *Puijila darwini*. Teški udovi tog fosila indiciraju da se životinja kretala uspravno na kopnu a plosnati članci prstiju indiciraju da su vjerojatno bili

povezani plivaćom kožom ali još nisu postojale peraje što znači da se životinja povremeno kretala u vodi zbog lova.

4. ANATOMSKE I MORFOLOŠKE PRILAGODBE POJEDINIH SUSTAVA

4.1. ŽIVOT U VODENOM MEDIJU

Sisavci su za život u vodenom mediju morali steći mnoge prilagodbe kako bi bili uspješni u plivanju i ronjenju. Prilagodbe su bile potrebne za smanjenje otpora koji voda pruža tijelu pri kretanju, za mogućnost pokretanja u relativno gustom okolišu, kontrolu vertikalne pozicije u vodi i orijentaciju i upravljanje kretanjem u vodi. Morskim sisavcima je također bilo potrebno zadržati vodu izvan dišnih i slušnih putova, izbjeći kolaps tjelesnih šupljina ispunjenih zrakom, prilagoditi oči i uši da dobro funkcioniraju u vodi, prilagoditi dišnu i krvožilnu fiziologiju tako da podnose prestanak disanja i da mogu spriječiti nakupljanje plinova u krvi nakon izranjanja iz dubine. Još neki od problema s kojima su se neki morski sisavci susreli je regulacija temperature u mediju sa visokom termalnom provodljivošću i prilagodba spolnog sustava na život u vodi (Hildebrand i Goslow 2001).

4.2. OBLIK TIJELA

Voda zbog velike gustoće i viskoznosti stvara velik otpor kretanju tijela, te su zbog toga morski sisavci morali prilagoditi svoj oblik tijela kako bi se što brže i što efikasnije kretali uz najmanji mogući utrošak energije. Najpovoljniji oblik tijela u vodi je oblik vretena. Tom obliku pridonose odsustvo vrata, simetrija glave (za razliku od kopnenih sisavaca), oblik toraksa i muskulature tijela i raspored masnog tkiva. Da bi se smanjila turbulencija i vrtlozi, većina morskih sisavaca je izgubila uške a testisi su povučeni natrag u abdomen (Slika 1.). Bradavice i penis mogu biti uvučeni unutra tijela u vrijeme kada se ne koriste.

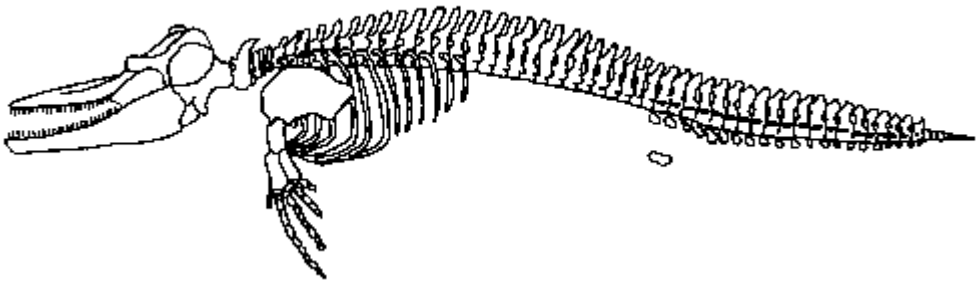
Slika 1. Izgled dupina (easterncapescubadiving.co.za)

Jedna od prednosti života u vodi je to što morski sisavci mogu biti znatno veći od kopnenih a da pritom ostanu vrlo pokretni. Razlog tome je velika gustoća vode koja podupire tijelo koje ima manju gustoću ili odgovarajući oblik. Iako je više od polovice vrsta kitova manje veličine, u usporedbi sa prosječnim kopnenim sisavcima su veći. Ne postoji kopneni sisavac veličine plavetnog kita jer bi potporni sustav te životinje bio toliko težak da bi ona bila nepokretna (Feldhammer 1999.)

4.3. PRILAGODBE EKSTREMITETA I POTPORNI SUSTAV

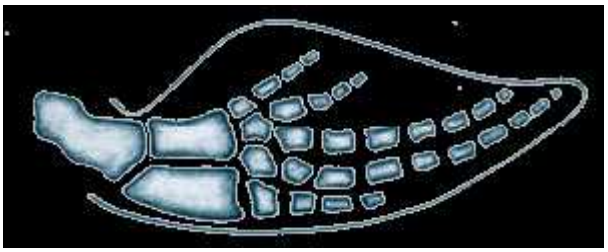
Morski sisavci imaju vrlo kratke proksimalne segmente udova kako bi peraje bile što bliže tijelu. Na primjer nadlaktična kost kitova smije biti duga koliko je široka, dok bedrena kost Pinnipedia mora biti kraća od dvije širine te kosti (Hildebrand i Goslow 2001). Kod Cetacea i *Sirenia* stražnji udovi su reducirani samo na unutrašnje ostatke. Ti

ostaci stražnjih udova nisu vezani za kralježnicu nego se nalaze u trbušnim mišićima ispred anusa (Slika 2).



Slika 2. Kostur kita zubana gdje se vidi oblik prednjih i ostaci stražnjih udova (http://rosmarus.com)

Prednji udovi kitova su preoblikovani u pokretne peraje. Nadlaktična, palčana i lakatna kost su skraćene dok su prsti izduženi zbog dodatnih falangi (Slika 3).



Slika 3. Kosti prednjeg uda kita (http://cetacea147.tripod.com/anatomy.html)

Prednje peraje ne služe za pokretanje nego samo za stabilizaciju tijela. Snaga i potisak za kretanje nastaju zbog produženog repa koji završava dorzoventralno spljoštenom, horizontalnom perajom. Potpora i čvrstoća stražnje peraje proizlazi samo iz njenog vezivnog tkiva jer nema niti jedan koštani element.

Drugi morski sisavci koji imaju stražnje udove, Pinnipedia, drže ih pri plivanju u položaju koji ne narušava oblik vretena već ga produžuje (Slika 4). Zbog toga su zglobovi koljena Pinnipedia tako konstruirani da omogućuju ovakvu reorijentaciju udova. Dok prednji udovi Otariida i Odobenida služe za pokretanje i stvaranje sile za propulziju

u Phocida tu funkciju imaju stražnji udovi, što se odražava i u razlici građe kostura (Feldhamer 1999).

Slika 4. Slika tuljana koji pliva na površini (www. northrup.org)

Pripadnici porodica Otariidae i Odobenidae imaju povećane vratne i prsne kralješke koji podupiru velike grupe mišića povezanih sa prednjim udovima. Iz istog razloga u vrsta porodice Phocidae su povećani slabinski kralješci za oslonac stražnjim udovima kojima se tuljani pokreću.

U kitova jednostavan kostur iza lubanje čini u prvom redu kralježnica koja pruža oslonac velikim repnim mišićima. Udovi se ne koriste za podupiranje tijela jer u vodi nema potrebe za time. Vratni kralješci su reducirane veličine i često su spojeni što rezultira smanjenom pokretljivošću glave. Lubanja oba podreda kitova je vrlo modificirana, slična teleskopu gdje su stražnje kosti komprimirane i preklapaju se. Prednji, rostralni dio, je jako produžen zbog izduženih nosnih, kosti gornjih čeljusti, kostiju prije gornje čeljusti i čeonih kostiju. Te iste kosti su produžene i prema odozada tako da djelomično prekrivaju tjemene kosti lubanje. Teleskopski oblik lubanje pogoduje stražnjem premještanju vanjskih nosnica koje se nalaze u kitova na vrhu glave što omogućuje da samo taj mali dio tijela bude izvan vode pri disanju. Odontoceti dodatno

imaju asimetričnu strukturu lubanje osobito oko unutrašnjih nosnih putova. Pretpostavlja se da je asimetrija povezana sa eholokacijom i pomicanjem nosnica (Feldhamer 1999).

4.4. KOŽA

Cetacea i Sirenia imaju sekundarno golu i glatku kožu, a jedino mjesto gdje Sirenia imaju dlake su vrlo kratke i čvrste čekinje oko njuške. Cetacea ispod kože imaju sloj spužvastog tkiva koji se može elastično deformirati a vjerojatno služi za slabljenje pulsacija nastalih od turbulencije vode kada tijelo prolazi kroz nju. Koža Cetacea je otporna na vodu ali ne i na isušivanje. Zbog održavanja tjelesne temperature u vodi morski sisavci imaju sloj potkožnog masnog tkiva.

Koža pripadnika porodice Odobenidae (morževi) je debela i naborana a potkožni sloj masti je u prosjeku debeo 6 do 7 centimetara (najviše do 15 centimetara). Koža na ventralnoj strani peraja je gola a nokti na prvom i petom prstu stražnjih peraja su rudimentarni.

Tuljani ušani (Otariidae) imaju bogato krzno ispod pokrovne dlake (engl. underfur) dok ga pravi tuljani (Phocidae) nemaju. Svi tuljani sjeverne hemisfere imaju dobro razvijene panđe na perajama, dok pripadnici podporodice Monachinae imaju reducirane panđe na stražnjim perajama. Peraje tuljana su prekrivene krznom sa svih strana (Feldhamer 1999). U tuljana žlijezde lojnice luče sebum kako bi se koža zaštitila od vode. Isto tako morski sisavci koji imaju krzno imaju velike količine zraka zarobljenog u krznu da zaštite kožu od vode.

4.5. DIŠNI SUSTAV

Sposobnosti zadržavanja daha kod morskih sisavaca su različite ali i neusporedive i spektakularne ako ih uspoređujemo s ljudima koji mogu zaroniti najviše do 60 metara dubine i zadržati dah do 6 minuta. Te sposobnosti proizlaze iz razlika u samom načinu disanja. Prva razlika je značajno manji broj udisaja u minuti (Slika 5).

Table 12.2
Diving and Breath-Holding Capabilities of Humans and a Few Marine Mammals

Animal	Maximal Depth (m)	Maximal Time of Breath-Hold (min)	Resting Breathing Rate (breaths/min)
Human (*Homo*)	66.5	6	15
Dolphin (*Tursiops*)	305	6	2–3
Sea lion (*Zalophus*)	168	30	6
Fin whale (*Balaenoptera*)	500	30	1–2
Weddell seal (*Leptonychotes*)	600	75	?
Elephant seal (*Mirounga*)			
female	1250	62	?
male	1530	77	?
Sperm whale (*Physeter*)	2,250	90	?

Slika 5. Sposobnosti držanja daha i dubine ronjenja nekih morskih sisavaca i ljudi (Sumich 1992.)

Način disanja je drugačiji jer udah i izdah traju vrlo kratko (čak i za vrijeme kada životinja odmara na površini) iza čega slijedi produženo zadržavanje daha prije ponovnog izdisaja. Na primjer mali dupini udahnu i izdahnu u djeliću sekunde nakon čega zadržavaju dah na 20 do 30 sekundi, te se uzorak ponovo ponavlja. I veći kitovi, poput kitova usana isprazne pluća (volumen zraka 1500 litara) i ponovo ih napune u samo dvije sekunde. U većih vrsta kitova općenito postoji način disanja koji služi kao priprema dugom zaronu. Životinja prvo zaroni na nekoliko minuta nakon čega slijedi nekoliko

udisaja i izdisaja u razmacima od 20 do 30 sekundi, tek nakon nekoliko takvih serija zarona i disanja na površini može uslijediti duži i dublji zaron. Ovaj apneustički oblik disanja imaju i Pinnipedia kada su u vodi i izvan nje. Kako bi ove životinje mogle u što bržem periodu izvršiti izmjenu zraka imaju opsežno elastično tkivo u plućima i dijafragmi te se pluća gotovo potpuno isprazne. Svrha apneustičkog tipa disanja je da se izvuče dodatna količina kisika iz zraka koji je zadržan u plućima, tako dupini iskoriste gotovo 90% kisika sadržanog u svakom udahu (ljudi iskoriste samo 20%). Povećano preuzimanje kisika u alveolama događa se zbog pritiska koji stvaraju mali mišići raspršeni svuda po plućima a koji tjeraju zrak i miješaju ga da bude što više u kontaktu sa stjenkama alveola. Kod nekih vrsta alveole okružuje dodatan sloj kapilara koji isto pridonosi visokom unosu kisika u krv (Sumich 1992).

Svi morski sisavci su suočeni sa teškoćama i izazovima pri ronjenju. Pri zaronu se javlja trijada pogoršavajućih fizioloških faktora. Količina uskladištenog kisika se smanjuje dok se ugljični dioksid i mliječna kiselina sve više koncentriraju a aktivnost se u isto vrijeme povećava. Sljedeći problem pri zaronu je što se tlak povećava za jednu atmosferu na svakih deset metara dubine. Da bi dišni putovi kitova izdržali taj pritisak pojačani su prstenovima hrskavice i dosta su rigidni. Pluća kitova s druge strane budući da su građena od mekog tkiva su prilagođena da kolabiraju na dubini (Feldhamer 1999). Sirenia, Cetacea i Pinnipedia koji rone na umjerene dubine imaju u svakom bronhiolu 8 do 20 zalistaka (valve) od glatkog mišićja koji drže zrak u alveolama protivno tlaku (pod tlakom). Vanjske nosnice u većine morskih sisavaca su postavljene dorzalno da bi životinja što jednostavnije i brže mogla udahnuti i izdahnuti. Greben odbija vodu od otvora za zrak kod većine kitova. Kad su pod vodom, nosnice se automatski čvrsto zatvaraju što je često postignuto mišićem sfinkterom (Hildebrand i Goslow 2001).

Respiracijski volumen zraka je dosta velik a rezidulni volumen mali (volumen koji ostaje u plućima nakon izdaha). Iz toga je očito da sisavci koji rone ne nose puno zraka sa sobom u dubinu i da pluća nisu rezervoar kisika. Da u plućima ostane veća količina zraka, došlo bi do izmjene plinova i dušik bi se otopio u krvi te pri naglom izronu došlo bi do nakupljanja plinovitog dušika u mjehuriće te nakupljanja u zglobovima, krvi i drugim područjima tijela rezultirajući dekompresijskom bolešću koja može biti smrtonosna. Kitovi su izbjegli problem nakupljanja plinovitog dušika dvjema

prilagodbama, pluća su im relativno mala u usporedbi sa veličinom tijela i sa povećanjem dubine i tlaka vode pluća im počinju kolabirati (na 70 metara dubine počinju kolabirati pluća dobrog dupina). Pri alveolarnom kolapsu ostaci zraka su potisnuti u rigidne dijelove traheje i bronhiola gdje gotovo da nema izmjene plinova. Tako povećana količina dušika više nije problem. Kitovi imaju kratku prsnu kost i nekoliko fiksiranih rebara. Ostala rebra imaju samo po jednu glavu što znači da i prsni koš može kolabirati bez štete (Hildebrand i Goslow 2001). Kako kolabirana pluća morskih sisavaca nisu rezervoar kisika on mora biti uskladišten negdje drugdje u tijelu. To se postiže vezanjem veće količine kisika sa hemoglobinom u krvi ili mioglobinom u mišićima. Crvene krvne stanice su otprilike iste veličine kao i u drugih sisavaca ali je njihov prosječan broj po volumenu krvi (hematokrit) dvostruko veći od hematokrita kopnenih sisavaca te se tako kisik i učinkovitije prenosi do tjelesnih stanica. Eritrociti zbog veće količine hemoglobina izgledaju malo više "napuhnuto". Volumen krvi u morskih sisavaca je također znatno veći, na primjer oko 21% tjelesne težine kod ulješura. Isto tako kitovi imaju dva do devet puta više mioglobina (protein koji veže kisik u mišićima) pa se pola uskladištenog kisika nalazi vezano za mioglobin mišića koji služe za plivanje.

Iako se pri ronjenju i zadržavanju daha nakupljaju metabolički otpadne tvari, respiratorni centar u mozgu ima visoku toleranciju na nakupljanje ugljičnog dioksida. Kitovi isto tako toleriraju visoke količine mliječne kiseline koja je produkt anaerobnog metabolizma, te nadoknađuju nedostatak kisika tek kada dođu na površinu i ponovno udahnu brzo ventilirajući pluća. Rezultat toga je karakterističan ispuh vlažnog zraka koji nastaje kondenzacijom toplog izadahnutog zraka (uz malu količinu vode koja se nalazila na gornjim dišnim putovima) kada dođe u kontakt sa hladnijim vanjskim zrakom (Feldhamer 1999).

Vrste reda Sirenia nemaju toliko opsežne anatomske prilagodbe dišnog sustava jer žive u plitkoj vodi iako poput kitova nikad za života ne izlaze iz vode. Nastanjuju obalna područja, estuarije, zaljeve i riječne sustave tropskih područja . Pluća Sirenia su duga i tanka i protežu se većim dijelom tjelesne šupljine. To pomaže da se podjednako rasporedi zrak koji životinje udišu.

4.6. TERMOREGULACIJA I KRVOŽILNI SUSTAV

Voda ima vrlo visoku toplinsku provodljivost što znači da apsorbira toplinu od toplog tijela 27 puta brže od zraka. Za morske sisavce je zbog toga veliki izazov kako zadržati svoju tjelesnu temperaturu u hladnim polarnim vodama ili na velikim dubinama gdje je temperatura oceana svega 1 celzijus. Gubitak tjelesne topline rezultira i gubitkom energije koja mora biti nadoknađena povećanim unosom hrane pa je rješenje problema minimalizirati količinu topline koju oslobađaju u okoliš. Za razliku od kopnenih sisavaca kitovi nemaju krzno za izolaciju, niti se mogu ukopati ili sagraditi gnijezdo da se zaštite od hladnog okoliša. Kitovi održavaju temperaturu na više načina. Zbog veličine imaju povoljan omjer tjelesne površine i volumena, što znači da iako imaju veliku površinu preko koje gube toplinu, ta površina je ipak mala s obzirom na masu tijela koje proizvodi toplinu (Feldhamer 1999.) Za njih je i potkožno masno tkivo (engl. blubber) efektivan način izolacije koje u ekstremnim slučajevima može iznositi i jednu četvrtinu tjelesne težine (Hildebrand i Goslow 2001.). Debljina potkožnog masnog tkiva varira s obzirom na doba godine i među vrstama od 5 centimetara u malih dupina do 50 centimetara u vrste *Balaena mysticetus* (Feldhamer 1999.).

Morski sisavci koji imaju krzno (Pinnipedia) izoliraju tijelo na dva moguća načina: ili u krznu imaju zarobljene mjehuriće zraka koji je jako dobar izolator ili imaju gusti sloj podkrzna (engl. underfur) koji uvijek ostaje suh. Velike količine topline mogu se izgubiti i preko tjelesnih okrajina, pa Cetacea u perajama, repu i glavi imaju poseban oblik cirkulacije (Hildebrand i Goslow 2001). U tim su područjima velike arterije okružene usko vezanom mrežom vena. Takav dio cirkulacije se naziva rete mirabile i djeluje kao izmjenjivač topline. Cirkulacija je spora i teče protustrujno, tako da topla krv koja dolazi u peraju predaje toplinu krvi koja odlazi iz peraje u tijelo, pri čemu se sama hladi. Vjerojatno je također da neki kitovi trebaju i umjerenu aktivnost da bi održali tjelesnu temperaturu u arktičkim vodama. Suprotno zadržavanju tjelesne topline, ponekad je pri velikoj tjelesnoj aktivnosti potrebno smanjiti tjelesnu temperaturu, što postižu opet pomoću površine peraja koje tada služe kao radijatori. Za oslobađanje viška topline služe im i vaskularni grebeni poput papila.

Cirkulacija u morskih sisavaca je fiziološki prilagođena tako da opskrbljuje prvenstveno mozak i srce kisikom i da izbjegne stres od nedostatka kisika i nakupljanja ugljičnog dioksida i mliječne kiseline. Bradikardija (usporen rad srca) je univerzalna pojava u morskih sisavaca i događa se čim životinja zaroni. Broj otkucaja srca se smanjuje na 1/10 ili 1/15 od normalne vrijednosti. Početak bradikardije je brži kada životinja predviđa duboki zaron. Da bi pri bradikardiji krvni tlak ostao isti, aorta se proširuje u blizini srca a sve arteriole se stežu osim onih mozga i srca. Ekskrecija prestaje tijekom ronjenja. Vene Cetacea i Pinnipedia nemaju zalistaka. Jetreni portalni sustav je velik, a u nekih vrsta su prisutni venski sinusi u prsnom košu i abdomenu što rezultira zadržavanjem krvi u tjelesnim šupljinama (Hildebrand i Goslow 2001). Postoje još mnoge posebnosti krvožilnog sustava Pinnipedia i Cetacea za koje se tek dokazuje točna funkcija.

4.7. OSJETILNI ORGANI I ŽIVČANI SUSTAV

Mozak morskih sisavaca je dosta velik i okruglog oblika. Struktura živčanog sustava ukazuje na regresiju osjetila njuha u Pinnipedia i Cetacea, te na rudimentarno osjetilo okusa u Cetacea. Morski sisavci koji duboko rone imaju male kranijalne sinuse ili ih nemaju. Osjetilo sluha je vrlo važno u morskih sisavaca. Kitovi imaju vrlo velik repertoar zvukova koje mogu proizvesti. U povoljnim okolnostima mogu komunicirati na udaljenosti većoj od 160 kilometara. Sluh pod vodom nije ovisan o vanjskom bubnjiću i vanjskom slušnom kanalu. Čvrst, fibrozni auditorni kanal kitova čak može biti djelomično začepljen. U nekih kitova uljem ispunjene šupljine u glavi mogu odašiljati zvukove i vraćati primljeni zvuk prema uhu kroz specifične putove.

Bubnjić i slušne kosti kitova funkcioniraju na uobičajen način iako su dosta različite od ljudskih. Bubnjić je ligamentozan a osjetne kosti su velike, teške i čvrste. Da bi se zvuk prenosio bubnjić vibrira i prenosi vibraciju na zrakom ispunjen prostor u srednjem uhu a taj prostor ne smije kolabirati tijekom ronjenja. Zbog toga su srednje uho (i vjerojatno dio vanjskog slušnog kanala) Pinnipedia i sinusi koji komuniciraju sa

srednjim uhom u Cetacea okruženi izrazito prokrvljenim tkivom koje se povećava tijekom ronjenja. Na taj način, volumen koji se izgubi kompresijom zraka nadomjesti se krvlju. Osim toga, u kitova su sinusi i dijelovi srednjeg uha koji nisu u kontaktu sa bubnjićem, ispunjeni pjenom. Ta pjena se sastoji od malih zračnih mjehurića u uljno-sluznoj emulziji. Do sada su eksperimenti pokazali da ti mjehurići ne kolabiraju čak ni pod tlakom od 100 atmosfera. Još jedna vrlo karakteristična prilagodba kod kitova je slušna čahura (engl. tympanic bulla) koja je ojačana jednom od najdebljih i najgušćih kostiju ikad poznatih. Te slušne čahure se lagano drže za ostatak lubanje i nalaze se u pjeni i krvnim sinusima. Takav položaj i smještaj im omogućava da funkcioniraju neovisna jedna o drugoj i neovisno o tijelu. Direktan sluh morskih sisavaca je odličan.

Sirenia imaju slab vid, kitovi usani prosječno dobar ali ograničenog vidnog polja jer im je hrana pasivna a i neki rone ispod granica svjetlosti. Kitovi zubani i Pinnipedia se hrane plijenom koji je aktivan pa zato moraju imati odličan vid i ispod i iznad vode. Oči morskih sisavaca su male, očna jabučica je kratka duž optičke osi, leća velika i sferična a rožnica ravna ili eliptična, hidrodinamična. Suzne žlijezde su reducirane u Pinnipedia a Sirenia i Cetacea ih uopće nemaju. Za zaštitu oka od slane vode, rožnica je orožnjela i neprestano se vlaži sekretom iz velikih žljezda u vjeđama. Bjeloočnica Cetacea je vrlo debela i čvrsta kako bi izdržala silu valova (Hildebrand i Goslow 2001). Oči Pinnipedia su relativno velike i modificirane da mogu fokusirati pod vodom zbog veće zakrivljenosti leće. Na kopnu su tuljani prilično kratkovidni. U uvjetima reduciranog svjetla vide vrlo dobro jer imaju kao i neki kopneni sisavci tapetum lucidum. Tapetum lucidum je specijalizirana membrana iza mrežnice koja povećava učinkovitost skupljanja svjetla tako što reflektira svjetlo koje je prošlo kroz mrežnicu a nije apsorbirano nazad na nju (Feldhamer 1999).

4.8. REPRODUKCIJA

Odobenidae (morževi) su poligamni i pare se tijekom veljače i ožujka na komadima leda uz obalu. Nakon toga slijedi period od tri mjeseca odgođene implantacije

i 12 mjeseci gestacije nakon čega ženka rađa na kopnu obično jedno mlado u svibnju ili lipnju. Kad se uzme u obzir period laktacije, ženke se pare svake 2 do 3 godine.

Otariide za vrijeme parenja žive na ograničenom području u grupi do čak milijun jedinki. Mlade podižu na kopnu, na stjenovitim izoliranim područjima koja nisu dostupna potencijalnim predatorima. Mužjaci su poligamni i brane teritorij sa grupom od tri do 40 ženki. Kod većine vrsta je poznata odgođena implantacija.

Phocidae ne tvore velike kolonije za vrijeme parenja i skoro sve vrste podižu mlade na ledu. Razlog tome je što su tuljani nespretni i ranjivi na kopnu. Na ledu se tuljani lakše kreću i imaju brz pristup sigurnosti u dubokoj vodi. Kod njih također dolazi do odgođene implantacije embrija (Feldhamer 2001) zato što ženka ovulira već nakon par dana nakon što okoti prvo mlado. Da se ne bi izgubila prilika za novo mlado ili uskratila hrana i briga već okoćenom mladuncu, oplođeno jajašce u stadiju blastociste miruje u ženkinom uterusu. Tek nakon četiri mjeseca se implantira u stjenku maternice.

Morski sisavci kao i kopneni rađaju žive mlade. Mladi Cetacea instinktivno odmah nakon rođenja izranjaju na površinu da udahnu zrak. Mladi većine Pinnipedia ne mogu plivati nakon rođenja pa na svijet dolaze ili na kopnu ili na santama leda.

Općenito mladi morskih sisavaca su dosta veliki (mlado plavog kita pri rođenju teži tri tone). No problem je u tome što mladi imaju slabo razvijen sloj potkožnog tkiva a kod onih koji imaju krzno, ono nije još dobro razvijeno. Pinnipedia iz tog razloga podižu mlade na kopnu, da narastu dovoljno prije nego se susretnu sa hladnom morskom vodom zimi. Iz istog razloga *Cetacea* čine duge migracije u tropska i subtropska mora gdje će mladunci doseći određenu težinu i veličinu prije povratka u hladne vode u kojima se hrane odrasli. Mladi morskih sisavaca brzo dobivaju na težini, npr. mlado Weddellovog tuljana svaki dan dobije tri kilograma, a mlado plavog kita 20 tona u sedam mjeseci. Takav brz rast omogućuje velika količina visokomasnog mlijeka majke, na primjer mlijeko *Cetacea* ima 25-50% masti i ženka kita usana dnevno proizvede 600 litara tog mlijeka (Sumich 1992).

5. EHOLOKACIJA

Eholokacija je metoda kojom se određuje položaj okolnih predmeta odašiljanjem zvukova visoke frekvencije. Jeka se odbija od čvrstih predmeta ili drugih životinja i omogućuje pošiljatelju da dobije sliku okoline. Eholokaciju među morskim sisavcima upotrebljavaju kitovi zubani, Odontoceti, kako bi što lakše locirali plijen koji aktivno love.

Pulsevi zvuka za eholokaciju se proizvode u kompleksu nazalnih vreća u predjelu čela. Zvuk se tada reflektira od parabolične lubanje i fokusira kroz uljem napunjen melon u prednjem djelu glave. Povratna jeka se prima nazad kroz relativno malu i tanku donju čeljust, koja ima sinuse ispunjene uljem te kanalizira zvuk do slušne čahure.

Budući da voda provodi zvuk puno bolje od zraka, kitovi imaju posebne adaptacije kako bi mogli razlikovati smjer iz kojeg zvuk dolazi i njegovu osjetljivost. U kitova,lubanja je asimetrična a kosti srednjeg uha nisu pričvršćene za lubanju nego su slušne čahure izolirane vezivnim tkivom i sistemom sinusa ispunjenih ranije spomenutom pjenom. Slušne čahure su izolirane ne samo od lubanje nego i jedna od druge i služe za lokalizaciju zvuka primljenog kondukcijom preko kosti.

6. POPIS LITERATURE

Carroll, R. L. (1988): Vertebrate Paleontology and Evolution. W. H. Freeman and Company, New York

Feldhamer G.A. i suradnici (1999): Mammalogy, McGraw-Hill Company, Boston, Dubuque, Madison, New York, San Francisco, St. Louis, Bangkok, Bogota, Caracas, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Seoul, Singapore, Sydney, Taipei, Toronto

Hildebrand M. i Goslow G.E. (2001): Analysis of vertebrate structure, John Wiley and Sons Inc, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore

Sumich J.L. (1992): Marine life, Wm. C. Brown Publishers, Dubuque

http://rosmarus.com

http://cetacea147.tripod.com/anatomy.html

www.easterncapescubadiving.co.za

www.northrup.org

7. SAŽETAK

Morski sisavci uključuju dvije brojne i široke grupe, Cetacea (kitovi) i Pinnipedia (tuljani, morski lavovi i morževi), te manje brojnu grupu Sirenia. Svaka grupa morskih sisavaca je evoluirala od pretka na kopnu te se sekundarno vratila životu u vodi. Ovisno o njihovom načinu života, da li napuštaju vodu ili ne, razvili su mnoge prilagodbe na život u vodi od kojih su neke razvili do ekstrema.

Tijelo Cetacea ima oblik vretena kako bi se što lakše kretali kroz vodu, dišu kroz vanjske otvore nosnica na vrhu glave, nemaju dlake ni stražnje udove ni stražnje peraje ali kao i drugi sisavci dišu zrak, rađaju žive mlade i održavaju stalnu tjelesnu temperaturu. Da nadoknade smanjenu vidljivost u vodi i nedostatak osjeta mirisa, kitovi zubani su razvili eholokaciju kao vrlo sofisticiran sustav za orijentaciju. Budući da moraju udisati zrak a rone na veće dubine razvili su drastične respiratorne i krvožilne prilagodbe kao na primjer apneustičko disanje, normalan kolaps pluća, gašenje periferne cirkulacije, bradikardija i sistemsko skladištenje kisika. Za održavanje tjelesne temperature u tako hladnom mediju kao što je voda prilagodili su se veličinom i oblikom tijela tako da je odnos površine tijela i volumena što povoljniji, debelim slojem potkožnog masnog tkiva, bogatim krznom (Pinnipedia*)*, te imaju rete mirabile u perajama. I način i vrijeme razmnožavanja te podizanje mladih su također dobro prilagodili životu u vodi.

8. SUMMARY

Sea mammals include two large and abundant groups, Cetacea (whales) and Pinnipedia (seals, sea lions and walruses), and one smaller group, Sirenia. Every group of sea mammals evolved from terrestrial ancestor and then came back to life in the water. They developed many adaptations to life in water, some to extremes.

Cetaceans are very streamlined, breathe through a dorsal blowhole, and lack hair and rear legs or flippers. Even so, like all mammals they give birth to live young and maintain their own body temperature. For compensating reduced visibility and their inability to smell underwater, toothed whales have developed a sophisticated system of echolocation for target detection and orientation. They developed several drastic respiratory and circulatory adjustments to prolonged diving, including apneustic breathing, lung collapse, peripheral circulation shutdown, bradycardia and systemic storage of oxygen. For maintaining body temperature in such cold environment they adapted with shape and body size, they have blubber and some have rich fur and underfur (Pinnipedia*)*. Sea mammals also adapted their reproduction to life in the water.