

**VETERINARSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

Petar Santini

**ZNAČAJKE MINERALNE GUSTOĆE NADLAKTIČNE KOSTI I
PODLAKTIČNIH KOSTIJU U ŽENKI DOBROG DUPINA (*TURSIOPS
TRUNCATUS*) RAZLIČITE ŽIVOTNE DOBI**

Diplomski rad

Zagreb, 2010.

ZAVOD ZA ANATOMIJU, HISTOLOGIJU I EMBRIOLOGIJU

Predstojnica zavoda: Prof. dr. sc. Snježana Vuković

Mentor: Doc. dr. sc. Hrvoje Lucić

Povjerenstvo za obranu:

1. Prof. dr. sc. Damir Mihelić
2. Prof. dr. sc. Snježana Vuković
3. Doc. dr. sc. Hrvoje Lucić
4. Doc. dr. sc. Martina Đuras Gomerčić (zamjena)

SADRŽAJ

1. UVOD	5
1.1. Taksonomija morskih sisavaca	6
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	7
2.1. Biologija dobrog dupina	7
2.2. Koštani sustav kitova	8
2.2.1. Građa kosti kitova	8
2.2.2. Osobitosti skeleta kitova	9
2.2.3. Osobitosti građe prsne peraje kitova	10
2.3. Mineralna gustoća kosti	11
2.3.1. Mjerenje mineralne gustoće kosti	13
3. MATERIJAL I METODE	14
3.1. Životinje	14
3.1.1. Podaci o istraženim ženjkama dobrih dupina	16
3.2. Uzimanje uzoraka i metode obrade	17
3.3. Mjerenje mineralne gustoće kosti istraženih dupina	18
4. REZULTATI	19
4.1. Ukupna dužina tijela i dob istraženih dupina	19
4.2. Mineralna gustoća kosti istraženih dupina	20
4.3. Statistička obrada podataka	21
5. RASPRAVA	26
6. ZAKLJUČCI	29
7. POPIS LITERATURE	30
8. SAŽETAK	36
9. SUMMARY	37
10. ŽIVOTOPIS	38

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Hrvoju Luciću za vrijeme, strpljenje, ohrabrenje, savjetovanje, vođenje i pomoć tijekom cijelog mog studija, a isto tako za podršku i udio u izradi ovog diplomskoga rada.

Zahvaljujem g. Mladenu na prijateljskoj, moralnoj i materijalnoj pomoći, a gđi. Spomenki na pomoći i vedrom poticaju za rad.

Zahvaljujem svojim roditeljima, sestri i bratu na velikoj potpori koju su mi pružili tijekom cijelog mog studija.

Posebno se zahvaljujem svojoj djevojci Ines na neizmjernom strpljenju i potpori koje mi je pružila kada mi je to najviše trebalo.

1. UVOD

Dobri dupin (*Tursiops truncatus*) pripada razredu sisavaca (*Mammalia*), redu kitova (*Cetacea*), podredu kitovi zubani (*Odontoceti*), porodici šiljatozubih dupina (*Delphinidae*), rodu *Tursiops*. To je jedini morski sisavac koji stalno obitava u Jadranskom moru te je brojnost populacije procijenjena na 220 jedinki (GOMERČIĆ i sur., 1998.). Dobri dupin je zakonski zaštićena vrsta u Republici Hrvatskoj.

Na akvatičke uvjete života prilagodio se i vanjski oblik tijela dobrog dupina kao i kod drugih kitova. Tijelo im je vretenasto, hidrodinamično, a repna peraja je vodoravna, široka i spljoštena te ima ulogu glavnog lokomocijskog organa. Kostur morskih sisavaca je vrlo sličan kosturu kopnenih sisavaca, ali morski sisavci pokazuju različite trendove smanjenja ili povećanja mineralne gustoće što je rezultat prilagodbe na slabije gravitacijske sile koje djeluju u vodi (MAAS, 2002). Prsni ud kitova preobrazio se u prsnu peraju čije su kosti spongiozne građe koju obavija tanka kompakta. Gustoća prednjeg uda je manja u središnjem dijelu dok je u postranim dijelovima veća, medularne šupljine nema (DeBUFFRENIL I SCHOEVAERT, 1988). Kostu su građene od koštanog tkiva, periosta i endosta koji obavijaju kost izvana i iznutra, zatim koštane srži i krvnih žila i ti dijelovi određuju kost kao organ, a zbog djelovanja sila tlaka i vlaka kosti se neprekidno mijenjaju u čemu glavnu ulogu imaju koštane stanice, osteoblasti i osteoklasti (BLOOM I FAWCET, 1994). Mineralna gustoća kosti (BMD, od engl. *Bone mineral density*) je klinička metoda određivanja razine minerala u različitim dijelovima kosti. Minerali se neprestano odlažu u kosti i izvlače iz njih (ŠEHIĆ, 2000). Starenjem jedinke kosti gube na čvrstoći zbog gubitka minerala, što je pod utjecajem različitih čimbenika (hormonalnih, nasljednih, zdravstvenih itd.) te na taj način kosti gube masu, mijenjaju svoju građu te postaju porozne i podložnije lomovima.

Istraživanja promjena u mineralnoj gustoći kosti tijekom starenja koja su provedena u čovjeka te u nekih drugih kopnenih sisavaca, pokazuju da je taj proces u ženskih jedinki intenzivniji i brži nego u muških jedinki. Cilj ovog istraživanja odnosi se na pretpostavku da se isto događa u ženki dobrog dupina. Od ukupno šest standardiziranih metoda mjerenja mineralne gustoće kosti koje se zasnivaju na različitim fizikalnim principima u ovom istraživanju mineralna gustoća kosti mjerena je denzimetrijskom metodom (DEXA, od engl. *dual-energy X-ray absorptiometry*) koja se koristi u ljudi, a mjeri sadržaj minerala i mineralnu gustoću kosti u zadanom području te metodu nije potrebno posebno prilagođavati za mjerenje kostiju dupina.

1.1. Taksonomija morskih sisavaca

Prema JEFFERSONU i sur. (1993), u ovom poglavlju je obuhvaćena osnovna taksonomija morskih sisavaca koji su spomenuti u tekstu ovoga rada.

Carstvo: Životinje, Animalia

Podcarstvo: Tkivne životinje, Metazoa

Koljeno: Svitkovci, Chordata

Podkoljeno: Kralješnjaci, Vertebrata

Razred: Sisavci, Mammalia

Podrazred: Pravi sisavci, Theria

Nadred: Plodvaši, Eutheria

Red: **Kitovi (Cetacea)**

Podred: Kitovi zubani, Odontoceti

Porodica: šiljatozubi dupini, Delphinidae

Rod: Tursiops

Vrsta: **dobri dupin**, *Tursiops truncatus*

Porodica: Južnoamerički riječni dupini, Iniidae

Rod: Inia

Vrsta: Južnoamerički riječni dupin, *Inia geoffrensis*

Porodica: dupini pokretnog vrata, Monodontidae

Rod: Delphinapterus

Vrsta: bijeli dupin, beluga, *Delphinapterus leucas*

Rod: Monodon

Vrsta: jednorogi kljovan, narval, *Monodon monoceros*

Red: **Morske krave, Sirenia**

Porodica: kratkovrate morske krave, Trichechidae

Porodica: kitolike morske krave, Dugonidae

Rod: Dugong

Vrsta: moronj, *Dugong dugong*

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Biologija dobrog dupina

Dobri dupin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) je u usporedbi s drugima vrstama dupina, robusnijeg izgleda. Takva mu je i glava s kratkim i debljim kljunom, oštro razgraničenim od područja melona, a sami naziv roda i vrste također se odnosi na ove osobine. Hrvatski naziv, dobri dupin, narodni je naziv koji se odnosi na osobitosti u ponašanju ove životinje (BRUSINA, 1889).

Ovisno o zemljopisnom području u kojem obitavaju, jedinke unutar vrste se razlikuju u veličini, obliku i boji tijela. (PERRIN, 1984) S time da postoje dvije varijante, veći i robusniji koji žive u otvorenim morima i oceanima, i manji koji žive u obalnom području (CARWARDINE, 1995). Boja tijela varira od svjetlo do tamno sive ili sivo smeđe pri čemu je tamnija boja na leđima, postrance prelazi u svjetliju da bi na trbuhu postala bijeličasta ili blago ružičasta. Leđna peraja se nalazi na sredini leđne crte, srpolikog je oblika, iako oblik može varirati, tamnije je boje, a opisana je mogućnost potpunog izostanka u životinja koje žive na polarnom području (LEATHERWOOD i sur. 1983). Dugi su od 1,9 do 3,9 m i prosječne mase od 275 kg, ženke su nešto manje i lakše, a mladunci su dugački od 0,85 do 1,3 m i mase od 15 do 30 kg. Laktacija traje 18 mjeseci do 2 godine. Zubalo je uniformno bez generacije mliječnih zuba (GREEN, 1972). Dob im se procjenjuje i do 40 godina (COCKCROFT i ROSS, 1989). Razmnožavaju se tijekom cijele godine, no u pojedinim populacijama ciklus se može sezonski pojavljivati što predstavlja prilagodbu uvjetima u okolišu (URIAN i sur., 1996). Hrane se različitim vrstama riba i beskralješnjaka, a način prehrane često prilagođavaju aktivnostima čovjeka.

Žive u manjim i većim populacijama, dok u otvorenim morima skupine mogu biti veće i od stotinu jedinki (NISHIWAKI, 1972; LEATHERWOOD i sur., 1983). U Jadranskom moru su opisane skupine u rasponu od 6 do 35 jedinki (BEARZI i sur., 1994). Ova vrsta dupina najčešća je vrsta koja se drži u zatočeništvu, gdje se i razmnožavaju što je prvi put opisano 1938. godine (ROBECK i sur., 1994).

Dobri dupini su prošireni gotovo po cijelom svijetu. Obalne populacije se često zavlače duboko u zaljeve, lagune, luke, ušća i rijeke i to po nekoliko milja uzvodno, pri čemu znatno stradavaju privučeni ljudskom aktivnošću. Ekonomsko iskorištavanje dobrog dupina prošireno je na obalama Crnog mora, Šri Lanke, Zapadne Indije, Zapadne Afrike i Venezuele (LEATHERWOOD i sur., 1983).

2.2. Koštani sustav kitova

2.2.1. Građa kosti kitova

Kao i u ostalih kralježnjaka, kosti i zubi morskih sisavaca građene su od organske i mineralne komponente. Karakteristično za čvrsta tkiva kao što su kosti, kalcificirana hrskavica i određeni slojevi zuba, mineralnu komponentu čini većinom kalcijev fosfat, a ta tkiva se razlikuju po svojoj mikroskopskoj i makroskopskoj strukturi. Većina osobitosti mikrostrukture kostiju morskih sisavac odgovara onoj u kopnenih sisavaca i kralježnjaka općenito, ali postoje i neke osobitosti (MAAS, 2002).

Postoje dvije potpuno različite osobine u građi kostiju morskih sisavaca, a to je smanjena i povećana gustoća pojedinih kostiju što se povezuje s prilagodbom akvatičkim uvjetima života (MAAS, 2002). Kitovi koji zaranjaju do velikih dubina, imaju manju gustoću koštanog tkiva od kopnenih sisavaca, čime doprinose aktivnom plućnom kolapsu na većim dubinama, a kada plivaju uz površinu lakše plutaju uz manji utrošak energije. Ova osobina karakterizirana je zamjenom kompaktnog koštanog tkiva sa spongioznom koštani tkivom koje ispunjava i medularnu šupljinu kosti. Povećanje spongiozne kosti je vrlo dobro organizirano i treba potpuno odvojiti od osteoporoze koja je patološke prirode. Suprotno tome, povećanje gustoće kosti odvija se kod vrsta morskih sisavaca plitkih voda, kao što su morske krave, kod kojih je to omogućeno pahioosteosklerozom, odnosno otvrdnjavanjem (osteoskleroza) i zadebljavanjem koštanog tkiva (pahioostoza). Istraživanja mikrostrukture kostiju izumrlih sisavaca su također pokazala povećanje i smanjenje gustoće kostiju.

Periodična odlaganja periostalnih slojeva kosti može se upotrijebiti u procjeni starosti sisavaca, ali je limitirajući faktor činjenica da se kosti remodeliraju čitavog života. Koštani segmenti grane mandibule obalne pliskavice (*Phocoena phocoena*) su mjesta na kojem je histološkom metodom moguće dobiti godišnje slojeve kompaktne koštane mase, a njihov broj je usporediv s brojem slojeva dentina zuba (GOL'DIN, 2003).

2.2.2. Osobitosti skeleta kitova

Osnovna građa kostura kitova odgovara onoj u ostalih sisavaca uz određene osobitosti koje su rezultat prilagodbe uvjetima života u vodi. Oblik kralježnice i povezanost njihovih segmenata u kitova osiguravaju specifičan tip lokomocije u smislu propulzivnog kretanja okomitim pokretima repa, a funkciju nošenja tjelesne težine pri tome nema toliki značaj kao u sisavaca koji žive na kopnu gdje je zbog gustoće životnog medija utjecaj gravitacije izražen (BOSZCZYK i sur., 2001). S druge, strane morfologija kralježnice morskih sisavaca osigurava integritet živčanih struktura jednako kao i u kopnenih sisavaca. Vratna kralježnica morskih sisavaca se sastoji od sedam kralješaka, osim u morskih krava koja ih ima šest, iako dva ili više kralješaka mogu biti srašteni kao i u većine vrsta kitova. Narvalu, bijelom kitu i riječnim dupinima nikada ne sraštavaju vratni kralješci zbog čega su njihovi kralješci znatno pokretljiviji.

Grudna kralježnica počinje kralješkom na koji se uzglobljava prvi par rebara. Dobri dupini kao i drugi kitovi, imaju pet do šest sternalnih rebara koji nemaju hrskavični dio, a zadnji par rebara nema vezu s dijafragmom nego je vezan uz jaku hipaksijalnu muskulaturu kralježnice. Za razliku od kopnenih sisavaca, glavice većine rebara u kitova su jednostavnije građe i vezane su uz odgovarajući kralježak, a dio rebara izgubio je glavicu i samo se sa kvržicom izravno veže na poprečni izdanak odgovarajućeg prsnog kralješka. Sternum je u gotovo svih kitova potpuno srašten u jedinstvenu kost. Grudni koš je u morskih sisavaca tako građen da mu omogućava iznimnu pokretljivost koja je potrebna prilikom zarona kod kojih dolazi do velikih promjena u ekstratorakalnom tlaku čime je omogućena promjena plućnog obujma bez pucanja rebara.

Lumbalni kralješci kitova su brojniji nego u kopnenih sisavaca, imaju dobro izražene poprečne izdanke i središnji kanal. Kitovi imaju samo rudiment zdjelice koji nije povezan s kralježnicom pa se smatra da nemaju križnih kralježaka.

Repni kralješci kitova su veliki i masivni zbog važnosti repa u pokretanju životinje. Broj ovisi o vrsti, a varira od 13 do 49 kralježaka te se protežu sve do terminacije repa na medijanoj usjeklini repne peraje. Osobitosti repne kralježnice kitova je postojanje ventralnih međukralješničkih okoštavanja, ševrona. Nalikuju hemalnim lukovima kopnenih sisavaca, ali su slobodne kosti povezane s dva susjedna kralješka te je između njih i ventralne površine trupova kralješaka oblikovan hemalni kanal sličan onome u kopnenih sisavaca, a u kojem leže repne arterije i vene (ROMMEL, 2002). Osnovna čvrstoća kralješnične veze je jača u

lumbalnom području nego u susjednim područjima grudne i repne kralježnice. Pri tome su te veze čvršće pri dorzalnoj ekstenziji nego u ventralnoj fleksiji kralježnice (LONG i sur., 1997).

2.2.3. Osobitosti građe prsne peraje kitova

Prsni ud kitova, prsna peraja, ima istu koštanu osnovu kao i u kopnenih sisavaca. Ovisno o načinu života pojedinih vrsta, ovisit će dužina i širina prsne peraje. Vrste koje se sporije kreću imaju dužu i širu peraju, dok vrste koje se kreću brže imaju kraću i užu prsnu peraju (SEDMERA i sur., 1997). Lopatica je mišićima vezana uz osovinski kostur jer ključna kost nije prisutna. Nadlaktična kost i lopatica formiraju vrlo gibljiv zglob, slično kao i u kopnenih sisavaca. Distalni dio nadlaktice je povezan s podlaktičnim kostima, ali bez artikulacije i gibanja. Olekranon je u kitova slabo izražen. Podlaktične kosti međusobno nisu sraštene iako ulaze u sustav nepokretnog dijela prsne peraje. Autopodij kitova uključuje zapešće, kosti pesti i članke prstiju. Karpalne kosti delfinida se sastoje od šest elemenata te im nedostaje pokretljivost kakva je u kopnenih sisavaca i nemaju os centrale (SEDMERA i sur., 1997). Broj zapešćajnih kostiju varira između pet i šest dok u drugih skupina kitova taj broj još više varira. Kod velikog broja vrsta morskih sisavaca duge kosti prsnog uda su vrlo kratke dok su članci prstiju izduženi. Kitovi su jedinstveni među sisavcima po broju članaka pojedinog prsta, a broj varira među pojedinim vrstama. Dobri dupin ima prosječno devet, dok neke druge vrste imaju između 7 i 14 članaka. Zdjelični ud u kitova i morskih krava gotovo u potpunosti nedostaje. Prisutan je sam rudimentirani ostatak zdjelice u obliku izduljene kosti bez ikakve povezanosti s ostatkom skeleta (BEJDER i HALL, 2002).

Dobri dupin ima kratku nadlaktičnu kost čiji su okrajci kuglasto zaobljeni i u svim dijelovima slične debljine. Velika i mala kvrga su spojene u jednu zajedničku kvrgu za koju se veže cijela skupina mišića odgovornih za pokretanje prsne peraje (KLIMA i sur., 1980). Kost prsne peraje kitova imaju spongioznu građu s kortikalnim slojem kompakte, a nemaju medularnu šupljinu. Za vrijeme embrionalnog razvoja, prvo nastaje kompaktna kost, a ubrzo nakon rođenja započinje intenzivna erozija koja dovodi do pregradnje kompakte kosti u spongioznu kost. To se nastavlja tijekom cijelog života pri čemu se kompaktnost vanjskog dijela kosti smanjuje na cijeloj nadlaktičnoj kosti, ali i na drugim dijelovima skeleta (FELTS i SPURRELL, 1965).

Prsna peraja kitova ima ulogu poprečnog stabilizatora tijela i održavanje njegove statičke ravnoteže nasuprot otporu vode te je sekundarni činitelj pri određivanju pravca kretanja, dok je primarni propulzivni organ i kormilo vodoravna repna peraja skupa sa cijelim

repnim područjem koje je laterolateralno spljošteno. Distalno od nadlaktičnog područja prsna peraja nema značajne muskulature, slobodno se giba jedino rameni zglob, a distalne veze među kostima prsne peraje su hrskavične, ligamentozne ili su građene od gustog vezivnog tkiva. Taj dio ekstremiteta ujedno predstavlja slobodni dio prsne peraje. Zbog toga su sve kretnje prsne peraje moguće samo u ramenom zglobu (primicanje, odmicanje, ispružanje, sagibanje i rotacija) (KLIMA i sur., 1980).

Sve kosti udova u kitova su građene od spongioznog, poroznog koštanog tkiva (nedostaje im medularna šupljina) što se povezuje s adaptacijom na potpuno akvatičke uvjete života. Radiološki, najveću gustoću koštanog tkiva pokazuju deblje lateralne i medijalne površine vrata i metafize nadlaktične kosti. Cijela nadlaktična kost je spužvaste građe, a gustoća je manja u središnjem dijelu dok je na rubnim dijelovima veća. Čak i u područjima najveće gustoće, mikroskopski je vidljiva poroznost. Trabekule koštanog tkiva se usmjeravaju prema glavi, vratu i kvrgi kosti. Na taj način se strukturalna gustoća i orijentacija trabekula unutar nadlaktične kosti povezuje sa funkcionalnim osobitostima prsne peraje kitova. Sve to su osobine kosti koja nema ulogu u nošenju tereta tjelesne mase (FELTS i SPURRELL, 1965).

2.3. Mineralna gustoća kosti

Mineralna gustoća kosti (BMD, od engl. *Bone mineral density*) je klinička metoda određivanja razine minerala u različitim dijelovima kosti. Minerali, a naročito kalcij, neprestano se odlažu u kosti i iz njih izvlače. Kost gube na svojoj čvrstoći, postaju nježnije (osteopenija) i porozne te osjetljivije i podložnije lomovima kada se minerali brže izvlače iz njih nego što se odlažu. Takav proces se i prirodno događa starenjem jedinke kada je općenito razgradnja tkiva dominantnija od izgradnje. Gubitkom minerala kosti gube svoju prvobitnu masu i mijenjaju svoju građu, a kod jačeg gubitka osteopenija prelazi u osteoporozu. Osteoporoza je česta u patologiji ljudi, naročito žena u menopauzi te upravo zbog dijagnostike i praćenja osteoporoze u ljudi razvile su se mnoge kliničke metode mjerenja mineralne gustoće kosti. Osim u kliničke, spomenute metode koriste se i u eksperimentalne i znanstvene svrhe.

Sadržaj minerala, a time i vrijednost mineralne gustoće kosti mijenja se pod utjecajem različitih činitelja, kao što su nasljedni činitelji, u ljudi spol i rasa, zdravstveno stanje, dugotrajna terapija različitim lijekovima, te sociodemografski činitelji ljudi vezani za način

života i navike (ALMEIDA i SCHEMITSCH, 2002.; LIM i sur., 2004.). Još uvijek nije u potpunosti razjašnjen utjecaj nasljeđa na koštanu masu i njene promjene tijekom starenja te na kojoj se to razini zbiva. Pretpostavlja se da je ipak najveći rizik lomova kosti kombinacija nasljenog čimbenika i utjecaja okoliša.

Neovisno o dobnoj skupini ljudi, tjelesna aktivnost je važna za povećanje koštane mase, a ovisno o tipu i kvaliteti te aktivnosti, ovisit će obujam mineralnog odlaganja u kosti. Intenzivne tjelesne aktivnosti koje opterećuju koštani sustav, kao što je nošenje teških tereta, ima puno veći utjecaj na povećanje koštane mase, a time i na mineralnu gutoću kosti, od primjerice plivanja i hodanja koje više djeluje na poboljšanje kondicije mišića i zglobova. Izuzetak su žene sportašice kod kojih ipak dolazi do smanjenja koštane mase pod hormonalnim utjecajem (FELSENBERG i GOWIN, 1998), ali je ono znatno slabije izraženo nego kod netreniranih žena, pri čemu opseg tih promjena ponovno ovisi o vrsti tjelesne aktivnosti kojom se osoba intenzivno bavi (RYAN i ELAHI, 1998). Pri tome nisu utvrđene razlike u parametrima kosti između lijevih i desnih ekstremiteta, naročito nogu (FRANCK i sur., 1997).

Mineralna gustoća kosti direktan je pokazatelj pregradnje koštanog tkiva tijekom života jedinke, a posljednjih godina spoznati su brojni čimbenici iz samog organizma koji reguliraju ili mogu sudjelovati u tom procesu, kao što su razni čimbenici rasta, ali i hormoni koji imaju znatan utjecaj.

Gotovo sve tehnike mjerenja mineralne gustoće kosti pokazuju smanjivanje mase i gustoće kosti tijekom starenja u oba spola, iako je taj proces u žena svih dobi intenzivniji i brži. Ti intenzivniji procesi gubitka mase i gustoće kosti su izraženiji u trabekularnoj kosti nego u kortikalnoj, jer je trabekularno koštano tkivo ispunjeno jako vaskulariziranom koštanom srži te je zbog toga podložnije unutarnjim čimbenicima metabolizma kosti. Istraživanja na životinjama obavljaju se gotovo isključivo sa svrhom razvijanja životinjskog modela za praćenje promjena koštane mase i njegove primjene na ljudima. Tijekom rasta povećava se tjelesna masa što je u visokoj korelaciji s rastom mineralne gustoće kosti kako kod ljudi, tako i kod životinja (BLAKE, i sur., 2000), ali ne treba zanemariti i brojne čimbenike koji utječu na promjene mineralne gustoće kosti čovjeka i životinja tijekom njihovog života.

2.3.1. Mjerenje mineralne gustoće kosti

Postoji šest standardiziranih metoda mjerenja (ALMEIDA i SCHEMITSCH, 2002.), koje se zasnivaju na različitim fizikalnim principima, ali se najviše primjenjuje metoda apsorpcije dvostrukih X-zraka, tzv. DEXA metoda (od engl., *dual energy X-ray absorptiometry*). DEXA metoda mjeri sadržaj minerala (BMC, o engl., *bone mineral content*) u zadanom području kosti koji se izražava u gramima hidroksiapatita ili nekog drugog mineralnog ekvivalenta kosti. Mineralna gustoća kosti (BMD) se izražava kao površinska gustoća u g/cm^2 , a predstavlja sadržaj minerala (BMC) u jedinici mase (g) na zadanom području kosti (BA, od engl. *Bone area*), izražena u jedinici površine (cm^2) (TOTHILL i AVENELL, 1998; THOMAKOS i LIAKATOS, 2000). Metoda se zasniva na fizici dvostrukih X-zraka različite energije koje se apsorbiraju u tkivima različite gustoće, mekim tkivima i kosti. Predstavlja jednu od metoda kvantitativne radiologije kostura, odnosno objektivne, kvantitativne analize rendgenske slike (ŠEHIĆ, 2000). Osim DEXA metode koriste se još metode temeljene na perifernoj apsorpciji dvostrukih X-zraka, tzv. P-DEXA (od engl. *peripheral dual energy X-ray absorptiometry*), dvostrukoj apsorpciji fotona (DPA, od engl. *dua photon absorptiometry*), ultrazvuk (US, od engl. *ultrasound*), kvantitativna kompjuterska tomografija (QCT, od engl. *quantitative computed tomography*) i radiografska apsorpcija (RA, od engl. *radiographic absorptiometry*) (LUCIĆ, 2006).

Kako bi mjerenje mineralne gustoće kosti bilo uspješno, važno je dobro poznavanje građe i metabolizma kosti, razumijevanje fizike rendgenskih zraka, posebno njihove apsorpcije, sposobnost kvalitetne analize denzitometrijske slike u smislu ispravnog položaja pacijenta ili objekta, obilježavanja područja interesa, artefakata ili anatomskih abnormalnosti, te poznavanje zaštite od zračenja. Različiti položaji kosti mogu utjecati na rezultate izmjerene mineralne gustoće zbog razlika u konfiguraciji i građi pojedinih dijelova kosti koja se izlaže zračenju. Kada se obavljaju mjerenja više uzoraka u nizu, strogo se preporučuje upotreba istog instrumenta, poštivanje iste procedure mjerenja te obavljanje cijelog postupka od strane iste osobe (KHAN i sur., 2002).

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Životinje

Za potrebe ovog istraživanja korišteni su podaci od ukupno 27 ženki dobrog dupina (*Tursiops truncatus*) koje su pronađene uginule na hrvatskoj obali Jadranskog mora u rasponu od 1997. do 2002. godine. Dobri dupin je vrsta koja je najstrože zaštićena prema Pravilniku o zaštiti pojedinih vrsta sisavaca (Mammalia) Zakona o zaštiti prirode Republike Hrvatske, donesenom 17. svibnja 1995. godine. Istražene ženke su u dobnom rasponu od 0,2 godine do 21 godine, procijenjeno mjerenjem godišnjih zona prirasta zubnog dentina.

3.1.1. Podaci o istraženim ženkama dobrih dupina

D016 je ženka dobrog dupina stara oko 7 godina, ukupne tjelesne dužine od 275 cm, a pronađena je na dnu mora pokraj luke u Martinšćici na otoku Cresu.

D017 je ženka dobrog dupina stara oko 13 godina, ukupne tjelesne dužine od 274 cm, a pronađena je 30. srpnja 1997. godine na otoku Unije.

D025 je ženka dobrog dupina stara oko 12 godina, ukupne tjelesne dužine od 278 cm i mase 228 kg. Pronađena je 27. veljače 1999. godine u moru pokraj Nina.

D035 je ženka dobrog dupina stara oko 14 godina, ukupne tjelesne dužine od 258 cm i mase 163 kg. Pronađena je 24. studenog 1999. godine na obali između Vrboske i Jelse na otoku Hvaru.

D041 je ženka dobrog dupina stara oko 12 godina, ukupne tjelesne dužine od 261 cm i mase 224 kg. Pronađena je 27. travnja 2000. godine na obali u mjestu Milna na otoku Hvaru.

D046 je ženka dobrog dupina mlađa od godine dana ili novorođenče, ukupne tjelesne dužine od 122 cm, a mase 23,46 kg. Pronađena je 3. srpnja 2000. godine na obali južno od Miholašćice na otoku Cresu.

D051 je ženka dobrog dupina stara oko 21 godine, ukupne tjelesne dužine od 275 cm. Pronađena je 15. veljače 2001. godine na obali u Ugljanu na otoku Ugljanu.

D054 je ženka dobrog dupina stara oko 17 godina, ukupne tjelesne dužine od 281 cm i mase 263 kg. Pronađena je 18. ožujka 2001. godine u moru kanala između Plavnika i Cresa.

D057 je ženka dobrog dupina stara oko 7 godina, ukupne tjelesne dužine od 246 cm. Pronađena je na obali između Novigrada i Podgradine.

D063 je ženka dobrog dupina stara oko 2 godine, ukupne tjelesne dužine od 200 cm, a pronađena je 25. travnja 2002. godine u uvali Viševica u blizini Zatona.

D055 je ženka dobrog dupina stara oko 2 godine, ukupne tjelesne dužine od 165 cm i mase 62 kg. Pronađena je 23. ožujka 2001. godine na obali kod grada Hvara.

D066 je ženka dobrog dupina stara oko 11 godina, ukupne tjelesne dužine od 283 cm i mase 199 kg. Pronađena je 6. studenog 2001. godine na obali u Bačvicama kod grada Splita.

D083 je ženka dobrog dupina stara oko 11 godina, ukupne tjelesne dužine od 266 cm i mase 180 kg. Pronađena je 25. travnja 2001. godine u uvali Viševica, između Petrčana i Zatona kod Zadra.

D087 je ženka dobrog dupina stara oko 5 godina, ukupne tjelesne dužine od 188 cm i mase 79 kg. Pronađena je 16. lipnja 2002. godine na obali Žrnovske Banje na otoku Korčuli.

D091 je ženka dobrog dupina stara oko 13 godina, ukupne tjelesne dužine od 280 cm i mase 246 kg. Pronađena je 22. srpnja 2002. godine u uvali Dalje, sjeverno od Novigrada.

D092 je ženka dobrog dupina stara manje od godine dana, ukupne tjelesne dužine od 134 cm i mase 32 kg. Pronađena je 2. kolovoza 2002. godine na otoku Školjić, ispred Jezera na otoku Murteru.

D096 je ženka dobrog dupina stara oko 12 godina, ukupne tjelesne dužine od 268 cm i mase 169 kg. Pronađena je 22. kolovoza 2002. godine u marini Červar kod Poreča.

D097 je ženka dobrog dupina stara oko 4 godine, ukupne tjelesne dužine od 192 cm i mase 66 kg. Pronađena je 10. rujna 2002. godine na obali vojne lučice Vargarola kod Pule.

D102 je ženka dobrog dupina stara oko 20 godina, ukupne tjelesne dužine od 262 cm i mase 216 kg. Pronađena je 24. prosinca 2002. godine u Tarskoj uvali na ušću rijeke Mirne u Istri.

D107 je ženka dobrog dupina stara oko 3 godine, ukupne tjelesne dužine od 172 cm i mase 57 kg. Pronađena je 24. rujna 2003. godine u Malostonskom kanalu u blizini Neuma.

D108 je ženka dobrog dupina stara oko 17 godina, ukupne tjelesne dužine od 277 cm i mase 209 kg. Pronađena je 6. listopada 2003. godine u uvali Makrina pokraj Pirovca.

D111 je ženka dobrog dupina stara oko 10 godina, ukupne tjelesne dužine od 251 cm i mase 130 kg. Pronađena je 30. studenog 2003. godine kod mjesta Preko na otoku Ugljanu.

D114 je ženka dobrog dupina stara oko 19 godina, ukupne tjelesne dužine od 277 cm. Pronađena je 16. veljače 2004. godine kod rta Savudrija.

D117 je ženka dobrog dupina stara oko 16 godina, ukupne tjelesne dužine od 279 cm. Pronađena je 24. travnja 2004. godine u uvali Zamošće kod Kučišća na Pelješcu.

D120 je ženka dobrog dupina stara oko 15 godina, ukupne tjelesne dužine od 284 cm i mase 206 kg. Pronađena je 28. svibnja 2004. godine u Pružarskoj luci na otoku Mljetu.

D127 je ženka dobrog dupina stara oko 7 godina, ukupne tjelesne dužine od 231 cm i mase 130 kg. Pronađena je 20. rujna 2004. godine u blizini Savudrije.

D128 je ženka dobrog dupina stara oko 4 godine, ukupne tjelesne dužine od 190 cm i mase 60 kg. Pronađena je 22. rujna 2004. godine u moru zapadno od Pule.

3.2. Uzimanje uzoraka i metode obrade

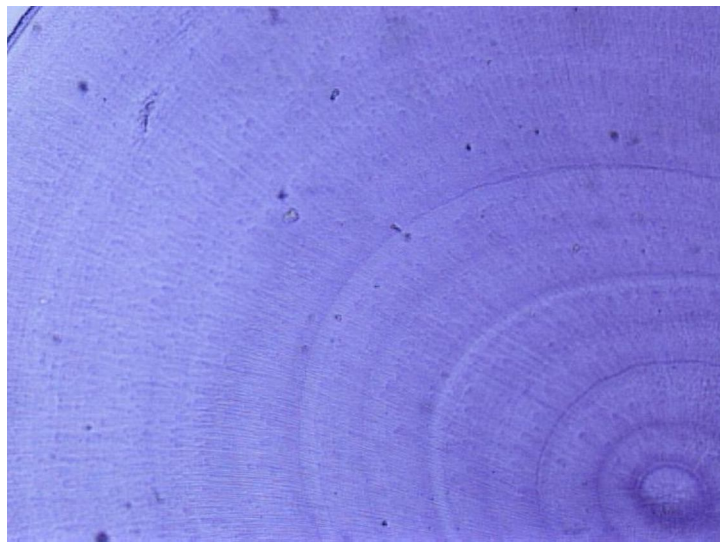
Za potrebe ovog istraživanja korišteni su koštani preparati desne peraje svakog istraženog dupina, na kojima je mjerena mineralna gustoća kosti. Detaljnim vanjskim pregledom lešine dobiveni su podaci o dužini i masi uzorkovanih životinja, a tijekom razudbe, osim kosti, uzeti su uzorci tkiva i organa za potrebe istraživanja i dijagnostike. Svi podaci su upisani u istraživački protokol u kojem je svaka životinja zavedena pod svojim brojem. Svi uzorci tkiva i organa kao i kosturi dupina čuvaju se u Zavodu za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u sustavu znanstveno-istraživačkog projekta "Zdravstvene i ostale biološke osobitosti sisavaca Jadranskog mora" (voditelj: Prof. dr. sc. Hrvoje Gomerčić), Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Prije razudbe, svakom su dupinu određene ukupno 22 vanjske tjelesne mjere prema PERRINU (1975), a za potrebu ovog istraživanja uzete su mjere ukupne tjelesne dužine koja se mjeri od vrha gornje čeljusti i dna medijane usjekline repne peraje. Nakon razudbe od prsne peraje svake istražene životinje odvojeno je meko tkivo i pripremljen koštani preparat (slika 1).

Dob dupina određivana je GLG metodom (od engl. *growth layer group*), (MYRICK, 1990) odnosno brojanjem godišnjih zona prirasta zubnog dentina. Obraden je po jedan zub od ukupnog broja istraženih životinja. Nakon mehaničkog čišćenja zub je dekalificiran u 5%-tnoj otopini dušične kiseline te je ispran u destiliranoj vodi zatim smrznut na -20°C i rezan na odsječke debljine 20-30 mikrometara. Nakon bojanja i ispiranja, uklopljeni su u glicerol želatinu te je tako dobiven trajni histološki preparat. Dobiveni preparati su gledani pod mikroskopom (Nikon Microphot FXA) pod povećanjem od 40 – 100x te fotografirani digitalnom kamerom (Sony – CCD – IRIS/RGB Color Video Camera) i obrađeni računalnim programom (Adobe Photoshop 4.0). Godišnje zone prirasta zuba brojala su tri istraživača

neovisno jedan o drugome, a usporedbom dobivenih rezultata utvrđena je starost životinje temeljem najčešće dobivenog broja ili srednje vrijednosti (slika 2).



Slika 1. Palmarni prikaz desne prsne peraje dobrog dupina (D120, ženka stara oko 15 godina).

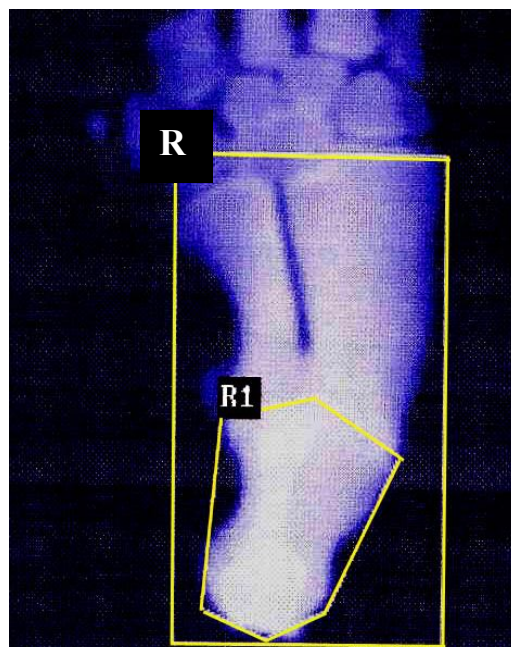


Slika 2. Prikaz slojeva zubnog dentina na poprečnom presjeku zuba dobrog dupina (D120, ženka stara oko 15 godina).

3.3. Mjerenje mineralne gustoće kosti istraženih dupina

Mineralna gustoća nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju desnih prsnih peraja na svim istraženim životinjama mjerena je denzimetrijskom metodom (DEXA, od engl. *dual-energy X-ray absorptiometry*). Korišten je Hologic QDR-4000 osteodenzitometar (S/N 55428; Hologic Inc., Waltham, MA, USA), smješten u Zavodu za anatomiju Medicinskog fakulteta

Sveučilišta u Zagrebu. Osteodenzimetar je opremljen s računalnim programom za mjerenje i analiziranje gustoće pojedinih dijelova ljudskih kosti kao što su slabinska kralježnica, bedrena kost, ramena kost, cijela dječja kralježnica, femoralnih proteza te neke kosti malih životinja (laboratorijskih životinja te pasa i mačaka). Meka tkiva peraja simulirana su upotrebom specijalno dizajniranih ploča, lexan-ploče (*Acrylic Scan Platform*, Hologic Inc., Waltham, MA, USA), u kojim je apsorbicija X-zraka jednaka onoj u mekim tkivima pa ih simulira tijekom ozračivanja koštanog uzorka. Prije mjerenja, koštani preparat desne prsne peraje postavljen je u dorzoplantarni položaj na lexan-ploču, zatim je označeno mjesto mjerenja. Ovisno o veličini uzorka, mjerenje je trajalo po 10 minuta. Na osteodenzimetrijskoj slici svake peraje preko računalnog programa određeno je područje mjerenja koje odgovara nadlaktičnoj kosti i označeno je kao ROI (od engl., *region of interest*). ROI je podijeljen na GROI (od engl., *global region of interest*) kao šire područje mjerenja koje obuhvaća nadlaktičnu i podlaktične kosti i SROI (od engl., *subregion of interest*) kao uže područje mjerenja koje obuhvaća samo nadlaktičnu kost. Uz BMD (od engl., *bone mineral density*), uređaj mjeri i sadržaj minerala odabranog područja kao BMC (od engl., *bone mineral content*). Podaci su analizirani standardnim statističkim programom "Statistics for Windows 7.1".



Slika 3. Osteodenzitometrijska slika desne prsne peraje (D035, ženka starosti oko 14 godina). R, šire područje mjerenja (GROI) i R1, uže područje mjerenja (SROI).

4. REZULTATI

4.1. Ukupna dužina tijela i dob istraženih dupina

Vanjske tjelesne mjere su izmjerene prije razudbe životinje i upisane su u istraživački protokol svake životinje zajedno sa ostalim podacima o životinji, a nakon histološke obrade zuba i brojanja godičnjih slojeva prirasta dentina dobivena je dob istraženih životinja. Ukupno je obrađeno 27 ženki dobrih dupina, a dobivene vrijednosti su prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Ukupna dužina tijela i dob ženki dobrih dupina

Redni broj	Oznaka dupina u bazi podataka	Ukupna dužina tijela /cm	Dob /godine
1.	D046	122	0,2
2.	D092	134	0,4
3.	D055	165	2
4.	D063	200	2
5.	D107	172	3
6.	D097	192	4
7.	D128	190	4
8.	D087	188	5
9.	D057	246	7
10.	D016	275	7
11.	D127	231	7
12.	D111	251	10
13.	D066	283	11
14.	D083	266	11
15.	D025	278	12
16.	D041	261	12
17.	D096	268	12
18.	D017	279	13
19.	D091	280	13
20.	D035	258	14
21.	D120	284	15
22.	D117	279	16
23.	D054	281	17
24.	D108	277	17
25.	D114	277	19
26.	D102	262	20
27.	D051	275	21

4.2. Mineralna gustoća kosti istraženih dupina

Na desnim prsnim perajama istraženih životinja izmjerene su vrijednosti sadržaja minerala (BMC) i mineralne gustoće kosti (BMD). Oba parametra mjerena su u području šireg (Groi) i užeg (Sroi) interesa. Osteodenzimetrijske vrijednosti dobivene PSS-analizom nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju dobrih dupina ženskog spola prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Osteodenzimetrijske vrijednosti ženki dobrih dupina (BMC, sadržaj minerala; BMD, mineralna gustoća kosti; Groi, šire područje interesa; Sroi, uže područje interesa) navedene slijedom porasta dobi životinja.

R. broj	Oznaka dupina	Dob	BMC Groi g	BMC Sroi g	BMD Groi g/cm²	BMD Sroi g/cm²
1.	D046	0,2	9,53	3,06	0,443	0,524
2.	D092	0,4	8,14	2,64	0,462	0,551
3.	D063	2	35,91	17,01	0,677	0,920
4.	D055	2	21,5	8,80	0,611	0,795
5.	D107	3	17,7	7,07	0,494	0,661
6.	D128	4	37,04	17,83	0,671	0,908
7.	D097	4	33,84	15,95	0,668	0,913
8.	D087	5	26,8	11,05	0,585	0,762
9.	D127	7	52,16	23,36	0,774	1,115
10.	D057	7	62,53	30,32	0,818	1,138
11.	D016	7	58,32	25,93	0,730	0,991
12.	D111	10	63,36	30,24	0,835	1,170
13.	D083	11	71,08	32,89	0,842	1,171
14.	D066	11	93,99	44,69	0,988	1,432
15.	D096	12	74,97	34,57	0,873	1,235
16.	D041	12	79,09	35,94	0,878	1,303
17.	D025	12	99,88	45,74	1,016	1,478
18.	D091	13	82,55	37,09	0,885	1,257
19.	D017	13	102,87	48,36	1,080	1,606
20.	D035	14	64,38	31,78	0,843	1,181
21.	D120	15	93,57	41,97	1,108	1,452
22.	D117	16	104,36	44,63	1,068	1,508
23.	D108	17	83,76	35,11	0,919	1,282
24.	D054	17	83,64	38,99	0,860	1,218
25.	D114	19	85,88	39,97	0,973	1,387
26.	D102	20	80,25	38,59	0,883	1,305
27.	D051	21	76,61	35,22	0,919	1,282

4.3. Statistička obrada podataka

Sve izmjerene vrijednosti na uzorkovanim dobrim dupinima testirane su primjenom osnovnih metoda deskriptivne statistike. Kao statističke varijable prikazani su dob životinja u godinama, ukupna tjelesna dužina životinja u centimetrima i parametri mineralne gustoće kosti, a to su sadržaj minerala šireg (BMCGroi) i užeg područja mjerenja (BMCSroi) u gramima (g), te mineralna gustoća šireg (BMDGroi) i užeg područja mjerenja (BMDSroi) izražena u gramima po centimetru površine kosti (g/cm^2).

Tablica 3. Osnovne deskriptivne statističke vrijednosti svih istraženih varijabli

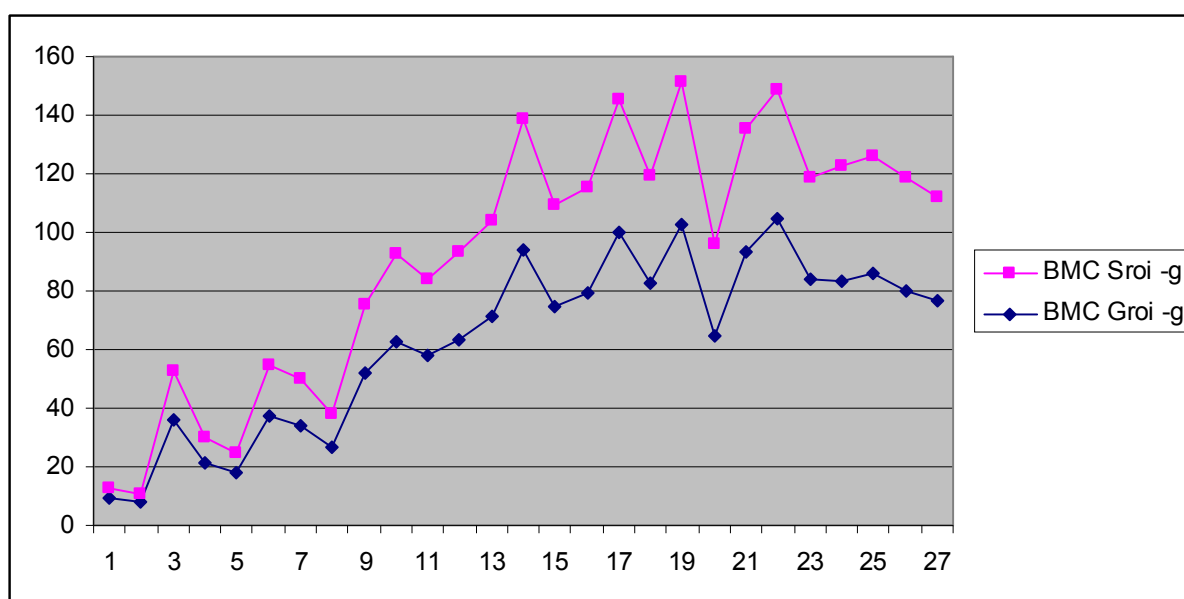
Deskriptivna statistika svih varijabli:							
	Broj	Srednja vrijednost	Median	Raspon -min.	Raspon -max.	Stand. devijacija	Stand. pogreška
Dob	27	10,1	11	0,2	21	6,19	1,19
Dužina cm	27	239,59	262	122	284	49,54	9,53
BMC Groi -g	27	63,10	71,08	8,14	104	29,49	5,67
BMC Sroi -g	27	28,84	32,89	2,64	48,36	13,77	2,65
BMD Groi -g/cm²	27	0,81	0,843	0,443	1,108	0,184	0,0355
BMD Sroi -g/cm²	27	1,13	1,181	0,524	1,606	0,292	0,0563

Tablica 4. Koeficijenti korelacije sadržaja minerala (BMCGroi i BMCSroi) i mineralne gustoće kosti (BMDGroi i BMDSroi) s dobi i dužinom tijela unutar skupine istraženih životinja

	Dob	Dužina cm
Dob	1,00	0,85
Dužina cm	0,85	1,00
BMC Groi -g	0,85	0,95
BMC Sroi -g	0,85	0,95
BMD Groi -g/cm²	0,82	0,92
BMD Sroi -g/cm²	0,83	0,92

Koeficijenti korelacije pokazuju visoku povezanost porasta sadržaja minerala mineralne gustoće kosti šireg (Groi) i užeg (Sroi) područja mjerenja s dobi i dužinom tijela životinje.

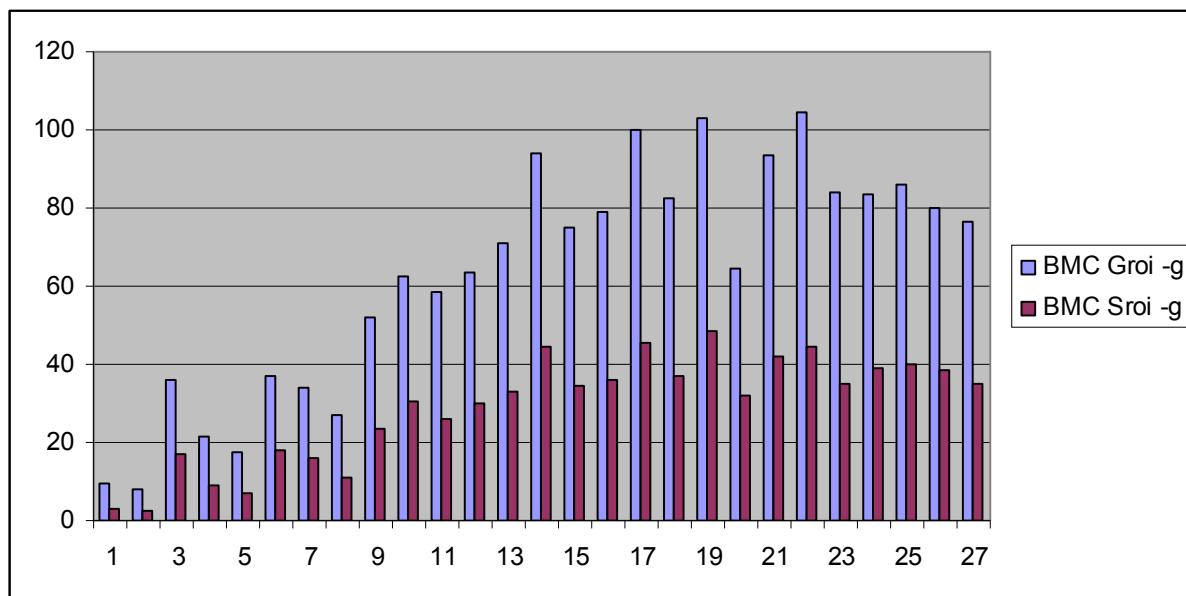
Promjene linije rasta parametara sadržaja minerala šireg (BMCGroi) i užeg (BMCSroi) područja mjerenja u obrađenih jedinki, složenih u niz prema rastu njihove dobi, prikazan je na sljedećem grafikonu (slika 4).



Slika 4. Linija rasta sadržaja minerala šireg (BMCGroi) i užeg (BMCSroi) područja mjerenja u svih istraženih ženki dobrih dupina, složenih u nizu prema porastu životne dobi (dupin 1 = 0,2 godine; dupin 15 = 12 godina; dupin 23 = 17 godina; dupin 27 = 21 godina)

Na prikazanom grafikonu razvidno je da linija rasta sadržaja minerala šireg i užeg područja mjerenja unutar istražene skupine ženki dobrih dupina pokazuje trend porasta sve do dobi od 17 godina (dupin 23), a nakon toga počinje blago opadati do dobi od 21 godine (dupin 27). Pri tome najniža izmjerena vrijednost sadržaja minerala šireg područja mjerenja (BMCGroi) iznosi 8,14 g, a najviša 104 g u životinje stare 16 godina, u najstarije životinje dobi od 21 godine izmjereno je 76,61 g mineralne tvari.

Isti trend promjene sadržaja minerala šireg (BMCGroi) i užeg (BMCSroi) područja mjerenja unutar istražene skupine ženki dobrih dupina prikazani su i pomoću histograma na slici 5.

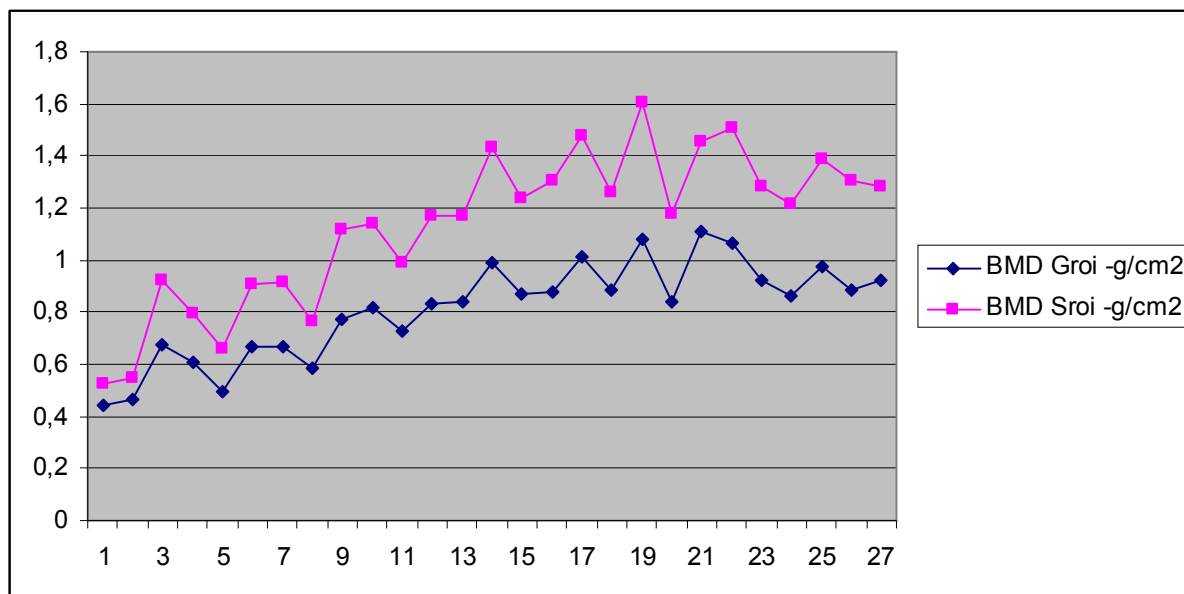


Slika 5. Histogrami sadržaja minerala šireg (BMCGroi) i užeg (BMCSroi) područja mjerenja u svih istraženih ženki dobrih dupina, složenih u nizu prema porastu životne dobi (dupin 1 = 0,2 godine; dupin 15 = 12 godina; dupin 23 = 17 godina; dupin 27 = 21 godina)

U grafikonu i histogramu na slikama 4 i 5, kod pojedinih jedinki su vidljiva i određena odstupanja izmjenjenih vrijednosti sadržaja minerala prikazanih linijom rasta kako sadržaja minerala šireg područja mjerenja (BMCGroi) tako i liniji rasta sadržaja minerala užeg područja mjerenja (BMCSroi).

U istim grafičkim prikazima razvidno je da izmjerena vrijednost sadržaja minerala šireg područja mjerenja (BMCGroi) prati izmjerenu vrijednost sadržaja minerala užeg područja mjerenja (BMCSroi) kako u svake promatrane jedinke, tako i u cijelom uzorku istraženih životinja.

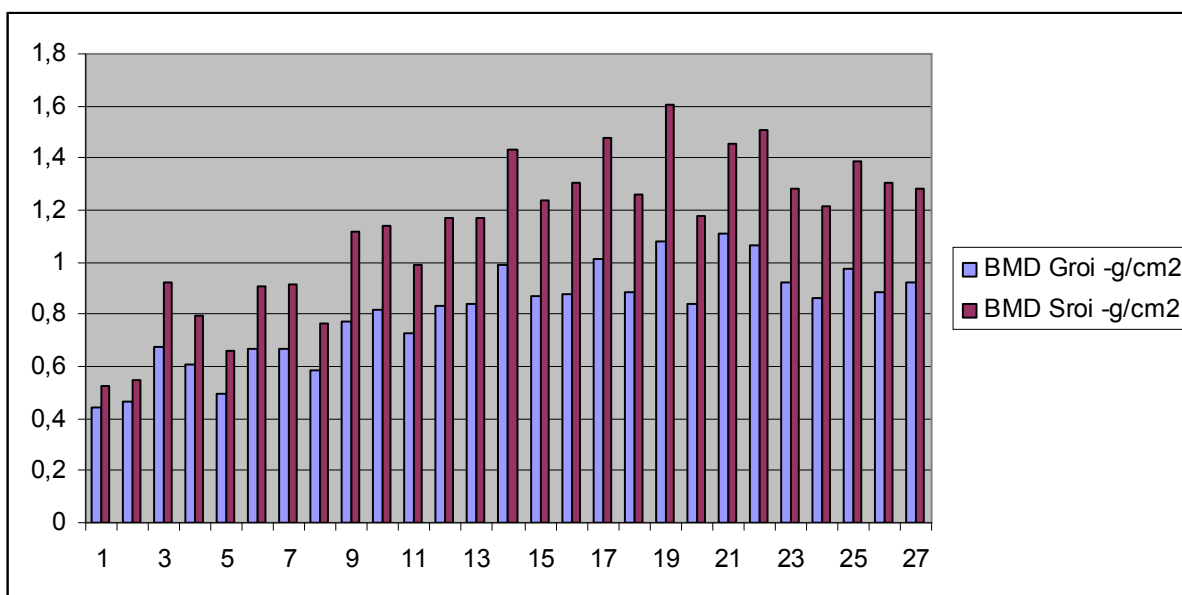
Promjene linije rasta parametara mineralne gustoće kosti šireg (BMDGroi) i užeg (BMDSroi) područja mjerenja u obrađenih jedinki, složenih u niz prema rastu njihove dobi, prikazan je na sljedećem grafikonu (slika 6).



Slika 6. Linija rasta mineralne gustoće kosti šireg (BMDGroi) i užeg (BMDSroi) područja mjerenja u svih istraženih ženki dobrih dupina, složenih u nizu prema porastu životne dobi (dupin 1 = 0,2 godine; dupin 15 = 12 godina; dupin 23 = 17 godina; dupin 27 = 21 godina).

Na prikazanom grafikonu razvidno je da linija rasta mineralne gustoće kosti šireg i užeg područja mjerenja unutar istražene skupine ženki dobrih dupina pokazuje trend porasta sve do dobi od 15 godina (dupin 21), a nakon toga počinje blago opadati do dobi od 21 godine (dupin 27). Pri tome najniža izmjerena vrijednost mineralne gustoće kosti šireg područja mjerenja (BMDGroi) iznosi 0,443 g/cm², a najviša 1,108 g/cm² u životinje stare 15 godina, u najstarije životinje dobi od 21 godine izmjereno je 0,919 g/cm².

Isti trend promjene mineralne gustoće kosti šireg (BMCGroi) i užeg (BMCSroi) područja mjerenja unutar istražene skupine ženki dobrih dupina prikazani su i pomoću histograma na slici 7.



Slika 7. Histogrami mineralne gustoće kosti šireg (BMDGroi) i užeg (BMDSroi) područja mjerenja u svih istraženih ženki dobrih dupina, složenih u nizu prema porastu životne dobi (dupin 1 = 0,2 godine; dupin 15 = 12 godina; dupin 23 = 17 godina; dupin 27 = 21 godina).

U grafikonu i histogramu na slikama 6 i 7, kod pojedinih jedinki su vidljiva i određena odstupanja izmjerenih vrijednosti mineralne gustoće kosti prikazanih linijom rasta kako mineralne gustoće kosti šireg područja mjerenja (BMDGroi) tako i liniji rasta mineralne gustoće kosti užeg područja mjerenja (BMDSroi).

U istim grafičkim prikazima razvidno je da izmjerena vrijednost mineralne gustoće kosti šireg područja mjerenja (BMDGroi) prati izmjerenu vrijednost mineralne gustoće kosti užeg područja mjerenja (BMDSroi) kako u svake promatrane jedinice, tako i u cijelom uzorku istraženih životinja.

5. RASPRAVA

Mjerenje mineralne gustoće kosti u dupina je još uvijek u stadiju istraživanja i ne primjenjuje se u druge svrhe osim znanstvenih. Do sada je svega nekoliko znanstvenih radova opisivalo slična mjerenja na dupinima i to isključivo na prsnim perajama jer je taj dio kostura s jedne strane najdostupniji pretrazi, a s druge strane kosti prsne peraje dupina su slične mikrostrukture i arhitekture kao i kosti ljudske kralježnice ili glava bedrene kosti prema kojima je standardiziran protokol mjerenja mineralne gustoće kosti ljudi. Zbog toga je mjerenje mineralne gustoće kosti moguće izvoditi na uređajima za osteodenzitometriju čovjeka, bez potrebe prethodne prilagodbe (GUGLIELMINI i sur., 2002; LUCIĆ i sur., 2010). Slična mjerenja moguće je kako na uređaju standardiziranom za različite dijelove ljudskog kostura, provoditi i uređajem standardiziranom za male životinje. Uspoređujući rezultate dobivene mjerenjem mineralne gustoće kosti na različitim uređajima, uočljiva je razlika u osnovnim statističkim vrijednostima. Unatoč tome, rezultati su pravilno grupirani prema vrsti osteodenzitometra i ovise o njegovim tehničkim svojstvima vezano uz količinu X-zraka koje spomenuti uređaj proizvodi (LUCIĆ i sur., 2010).

Dosadašnja mjerenja mineralne gustoće u dupina osim navedenog istraživanja u smislu primjene različitih metoda mjerenja, obavljana su sa svrhom utvrđivanja osteodenzitometrijske metode određivanja dobi dupina (GUGLIELMINI i sur., 2002; LUCIĆ, 2006; BUTTI i sur., 2007). Utvrđeno je da se kod dupina tijekom starenja mijenjaju parametri mineralne gustoće kosti. Tijekom postupka mjerenja, osteodenzitometar mjeri količinu mineralne tvari u zadanom području i vrijednost mineralne gustoće kosti u istom području. Navedene dvije vrijednosti su u vrlo visokoj korelaciji te povećanje sadržaja minerala u pravilu prati povećanje mineralne gustoće kosti što je testirano i potvrđeno na početku statističke analize i ovog istraživanja. Promjene parametara mineralne gustoće kosti u odnosu na dob ljudi ili životinja predmet su brojnih istraživanja. Praćenje tih promjena na uzorku populacije ljudi pokazalo je da se mineralna gustoća kosti mijenja cijeloga života, a sva mjerenja na ljudima pokazala su da je ta promjena intenzivnija u žena nego u muškaraca. Osim toga, mineralna gustoća kostiju u žena pokazuje niže vrijednosti nego u muškaraca svih dobnih skupina (EBBESEN i sur., 1998). Isti odnosi dobi i mineralne gustoće kosti opisani su i u populaciji rebus majmuna (BLACK i sur., 2001; CERRONI i sur., 2003). Rezultati dobiveni na rebus majmunima su vrlo su bliski rezultatima dobivenim na ljudima jer obje vrste pripadaju modelu primata te veće razlike ni nisu očekivane.

Osim primata, ljudi i rezus majmuna, slična istraživanja provedena su na psima pasmina beagle i bokser (MARTIN i sur., 1981; ZOTTI i sur., 2004) te su potvrđeni trendovi promjena mineralne gustoće kosti različitih dobnih skupina, kakvi su opisani i na modelu primata. Utjecaj dobi i spola na vrijednosti parametara mineralne gustoće nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju dupina utvrđen je i opisan u dvije vrste dupina, plavobijelog dupina (GUGLIELMINI i sur. 2002, BUTTI i sur. 2007; LUCIĆ i sur., 2010) i dobrog dupina (LUCIĆ, 2006; LUCIĆ i sur., 2010).

Utjecaj spola na vrijednost mineralne gustoće kosti dupina, izraženiji je u dobrim dupina nego u plavobijelih. Ženke plavobijelih dupina, općenito pokazuju vrlo slabi spolni dimorfizam kako u tjelesnim proporcijama (DiMEGLIO i sur., 1996), tako i u parametrima mineralne gustoće kosti (GUGLIELMINI i sur., 2002). Ženke dobrih dupina pokazuju nešto niže vrijednosti mineralne gustoće kosti nego mužjaci (LUCIĆ, 2006). Promjene mineralne gustoće kosti u ženki dupina različite životne dobi do sada nisu posebno istraživane te su zbog toga predmet ovog istraživanja. Opisano je da se porastom dobi ženke dobrog dupina povećava odlaganje mineralne tvari u kosti, a to slijedi i povećanje mineralne gustoće kosti. Promjene mineralne gustoće kosti u ženki dupina starije životne dobi, kakve su utvrđene u starijih žena, do sada nisu opisane. Uzorak ženki dobrih dupina, istražen u ovom radu, pokazuje takav trend. Statističke analize izmjerenih vrijednosti ukazuju na intenzivno odlaganje mineralne tvari u kosti jedinke sve do 17 godine života. Vrijednosti prikazane linijom rasta parametara mineralne gustoće kosti jasno potvrđuju navedeno opažanje. Nakon 17 godine života razvidan je trend opadanja parametara mineralne gustoće kosti u ženki dobrog dupina. Vrijednosti spomenutih parametara dobivene su mjerenjem u dva područja prsne peraje. Šire područje pretrage (Groi) uključuje nadlaktičnu i podlaktične kosti, a uže područje pretrage (Sroi) uključuje samo nadlaktičnu kost. Odabirom i uspoređivanjem dvaju područja postignuta je kontrola rezultata s očekivanim sličnim trendovima izmjerenih vrijednosti što se tijekom cijelog istraživanja može pratiti. Promjene sadržaja minerala i mineralne gustoće nadlaktične i podlaktičnih kostiju neprestano je u ravnomjernom odnosu s istim vrijednostima dobivenim mjerenjem samo nadlaktične kosti. Mineralna gustoća kosti ženki u dobi od 17 do 21 godine pokazuje blagi pad vrijednosti, ali je on evidentan i događa se kontinuirano. Apsolutne vrijednosti mineralne gustoće starijih ženki još uvijek su velike u usporedbi s mladim ženkama ili ženkama srednje životne dobi (12 – 13 godina) pa vjerojatno bitnije ne utječu na biološki ciklus jedinke i njene životne aktivnosti. Nameće se pitanje vezano uz te vrijednosti kod ženki koje su starije od dobne granice uzorka ženki ovog istraživanja.

Tijekom statističke analize utvrđeno je da u pojedinim jedinki unutar svih dobnih kategorija, odstupanje od linije rasta mineralne gustoće kosti porastom dobi životinja. U pojedinim slučajevim odstupanja su i znatna u smislu smanjenja mineralne gustoće kosti. Ta pojava bi se mogla tumačiti utjecajem specifičnih stanja životinje tijekom života koja mogu biti vezana uz fiziologiju ili specifičnu patologiju. Metabolizam minerala u ženki posebno je podložan promjenama u vrijeme gravidnosti, pogotovo u periodu intenzivne mineralizacije kostura fetusa, kao i u vrijeme dojenja što bi se moglo odraziti na mineralnu gustoću kostiju majke. Takva pojava opisana je u rezus majmuna (CERRONI i sur., 2003) i ženki zelenog afričkog majmuna (HIYAOKA i sur., 1996). Kostii dupina su spužvaste građe s kompaktom koja je smještena samo u kortikalnim područjima kosti, a spužvaste kosti, bogato vaskularizirane, podložne su intenzivnoj pregradnji te su prvenstveno izložene mobilizaciji minerala u stanjima kada je to organizmu potrebno. Osim osteopenije povezane s reprodukcijским ciklusima ženki dupina, gubitak minerala može biti povezan i s patološkim promjenama koje se manifestiraju povećanom razgradnjom kostura bez obzira da li se radi o specifičnim bolestima koštanog sustava ili nespecifičnim promjenama kod kojih je demineralizacija kostiju popratno stanje neke druge primarne bolesti.

Rezultati ovog istraživanja idu u prilog pretpostavci da su ženke dobrih dupina podložne promjenama mineralne gustoće kosti u starijoj životnoj dobi slično kao i žene postmenopauzalne dobi te ženke životinja na kojima je do sada opisano slično stanje (majmuni, psi). Opisani pad mineralne gustoće kosti ženki dobrih dupina starije životne dobi, iako dobro vidljiv, blag je i vjerojatno bitnije ne utječe na uobičajene životne aktivnosti životinje. Svakako se otvara mogućnost daljeg istraživanja tog zanimljivog područja. Na velikom uzorku ženki možda bi se mogla utvrditi čak i granica između osteopenije (smanjenog odlaganja minerala u kost) i osteoporoze (patološkog stanja demineralizacije kostiju) kakvo je utvrđeno i u populaciji žena.

6. ZAKLJUČCI

1. U skupini istraženih ženki dobrog dupina jaka je povezanost dobi životinja sa sadržajem minerala i mineralnom gustoćom nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju, što je izraženo visokim koeficijentima korelacije testiranih varijabli.
2. U skupini istraženih ženki dobrog dupina vidi se porast sadržaja minerala u nadlaktičnoj kosti i podlaktičnim kostima sve do dobi od 17 godina, a do dobi od 21 godine uočen je blagi pad navedene vrijednosti.
3. Vrijednost mineralne gustoće nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju u skupini istraženih ženki dobrih dupina, raste do dobi od 15 godina, a do dobi od 21 godine navedena vrijednost lagano opada.
4. Unutar skupine istraženih ženki dobrog dupina vide se odstupanja od linije rasta izmjerenih vrijednosti u pojedinim jedinki što je najvjerojatnije povezano s biološkim životnim ciklusima koje prati privremeni pad minerala u kostima (gravidnost, razne bolesti) ili su povezani s nepreciznošću metode određivanja dobi životinja.
5. Trend smanjenja mineralne gustoće kosti u starijih ženki dobrog dupina odgovara sličnom stanju opisanom u žena postmenopauzalne dobi, zatim starijih ženki majmuna i predstavlja prvo takvo zapažanje opisano u dupina i kitova uopće.

7. POPIS LITERATURE

- ALMEIDA, J. DE, E. SCHEMITSCH (2002): Osteoporosis: An approach to diagnosis and treatment. *University of Toronto Medical Journal*; 80 (1): 28-33.
- BEARZI, G., G. NOTOBARTOLO DI SCIARA, E. POLITI, G. LAURIANO (1994): Ecology and behavior of the bottlenosed dolphins near the islands of Lošinj and Cres (Croatia). U: *Proceedings of the 5th Congress of Croatian Biologists* (Urednik: H. Gomerčić) Hrvatsko biološko društvo. Zagreb, str. 401-402.
- BEJDER, L., B. K. HALL (2002): Limbs in whales and limblessness in other vertebrates: mechanism of evolutionary and developmental transformation and loss. *Evolution and Development*; 4 (6): 445-458.
- BLACK, A., E. M. TILMONT, A. M. HANDY, W. W. SCOT, S. A. SHAPSES, D. K. INGRAM, G. S. ROTH, M. A. LANE (2001): A nonhuman primate model of age-related bone loss: A longitudinal study in male and premenopausal female Rhesus monkeys. *Bone* 8 (3): 295-302.
- BLAKE, G. M., R. J. M. HERD, R. PATEL, I. FOGELMAN (2000): The effect of weight change on total body dual-energy X-ray absorptiometry: Results from a clinical trial. *Osteoporosis Int.*; 11: 832-839.
- BLOOM, W., D. W. FAWCETT (1994): *A Textbook of Histology*. 12th ed. W. B. Saunders Company. Philadelphia.
- BOSZCZYK, B. M., A. A. BOSZCZYK, R. PUTZ (2001): Comparative and functional anatomy of the mammalian lumbar spine. *Anat. Rec.*, 264: 157-168.
- BRUSINA, S. (1889): Sisavci Jadranskoga mora. Gradja za faunu Hrvatsku uz obzir na ostale sisavce Sredozemnoga mora. *Rad JAZU* 95, 76-176.

- BUFFRENIL, V. DE, D. SCHOEVAERT (1988): On how the periosteal bone of the delphinid humerus becomes cancellous: ontogeny of a histological specialisation. *J. Morphol.*; 198 (2): 149-164.
- BUTTI, C., L. CORAIN, B. COZZI, M. PODESTA, A. PIRONE, M. AFFRONTI, A. ZOTTI (2007): Age estimation in the Mediterranean bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) by bone density of the thoracic limb. *J. Anat.* 211, 639 – 646.
- CARWARDINE, M. (1995): Whales, Dolphins and Porpoises. A Dorling Kindersley Book. London, New York, Delhi, Johannesburg, Munich Sydney.
- CERRONI, A. M., G. A. TOMLINSON, J. E. TURNQUIST, M. D. GRYPAS (2003): Effect of parity on bone mineral density in female Rhesus Macaques from Cayo antiago. *Am. J. Phys. Anthropol.* 121: 252-269.
- COCKCROFT, V. G., G. J. B. ROSS (1989): Age, growth, and reproduction of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, from the east coast of Southern Africa. *Fishery Bulletin U.S.* 88; 289-302.
- DI-MÉGLIO, N., R. ROMERO-ALVAREZ, A. COLLET (1996): Growth comparison in striped dolphins, *Stenella coeruleoalba*, from the Atlantic and Mediterranean coasts of France. *Aquatic Mammals* 22; 11-21.
- EBBESEN, E. N., J. S. THOMSEN, H. BECK-NIELSEN, H. J. NEPPER-RASMUSSEN, L. MOSEKILDE (1999): Age- and gender-related differences in vertebral bone mass, density and strength. *J. Bone Min. Res.*; 14 (8): 1394-1403.
- FELTS, W. J. L., F. A. SPURREL (1965): Structural orientation and density in cetacean humeri. *Am. J. Anat.*; 116: 171-204.
- FELSENBERG, D., W. GOWINI (1998): Bone densitometry: applications in sport medicine. *Eur. J. Radiol.*; 28: 150-154.

- FRANCK, H., M. MUNZ, M. SCHERRER (1997): Bone mineral density of opposing hips using dual energy X-ray absorptiometry in single beam and fan-beam design. *Calcif. Tissue Int.*; 61: 445-447.
- GOL'DIN, P. E. (2003): Bone of lower jaw of harbour porpoise (*Phocoena phocoena relicta* Abel, 1905) as a registering structure. *Uchenye zapiski TNU. Series: Biology*; 16 (55): 61-69.
- GOMERČIĆ, H., Đ. HUBER, D. MIHELIĆ, H. LUCIĆ, T. GOMERČIĆ, M. ĐURAS (1998): Procjena veličine populacije dobrog dupina u hrvatskom dijelu Jadrana. U: Zbornik sažetaka priopćenja 7. Hrvatskog biološkog kongresa; str. 229-230.
- GREEN, R.F. (1972): Observation on the anatomy of some cetaceans and pinnipeds. U: *Mammals of the Sea-Biology and Medicine* (Urednik: S. H. Ridgway). Charles C. Thomas Publisher. Springfield 247-274.
- GUGLIELMINI, C. A. ZOTTI, D. BERNARDINI, M. PIETRA, M. PODESTA, B. COZZI (2002): Bone density of the arm and forearm as an age indicator in specimens of stranded Striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*). *Anat. Rec.*; 267: 225-230.
- HIYAOKA, A., T. YOSHIDA, F. CHO, Y. YOSHIKAWA (1996): Changes in bone mineral density of lumbar vertebrae after parturition in African green monkeys (*Cercopithecus aethiops*). *Exp. Anim.*; 45 (3): 257-259.
- JEFFERSON, T. A., S. LEATHERWOOD, M. A. WEBBER (1993): *FAO species identifications guide: Marine mammals of the world*. United Nations Environment Programme Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- KHAN, A. A., J. BROWN, K. FAULKNER, D. KENDLER, B. LENTLE, W. LESLIE, P. D. MILLER, L. NICHOLSON, W. P. OLSZYNSKI, N. B. WATTS (2002): Standards and guidelines for performing central dual X-ray densitometry from the canadian panel of international society for clinical densitometry. *J. Clin. Densitometry*; 5 (4): 435-445.

- KLIMA, M., H. A. OELSCHLÄGER, D. WUNST (1980): Morphology of the pectoral girdle in the Amazon dolphin *Inia geoffrensis* with special reference to the shoulder joint and the movements of the flippers. *Z. Säugetierkunde* 45: 288-309.
- LEATHERWOOD, S., R. REEVES, L. FOSTER (1983): *The Sierra Club Handbook of Whales and Dolphins*. Sierra Club Books. San Francisco.
- LIM, S, H. JOUNG, C. S. SHIN, H. K. LEE, K. S. KIM, E. K. SHIN, H-Y. KIM, S-I. CHO (2004): Body composition changes with age have gender-specific impacts on bone mineral density. *Bone*; 35: 792-798.
- LONG, J. H., D. A. PABST, W. R. SHEPERD, W. A. MCLELLAN (1997): Locomotor design of dolphin vertebral columns: Bending mechanics and morphology of *Delphinus delphis*. *J. Exp. Biol.*, 200: 65-81.
- LUCIĆ, H. (2006): Dobne i spolne razlike u mineralnoj gustoći nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju dobrog dupina (*Tursiops truncatus*) i plavobijelog dupina (*Stenella coeruleoalba*) iz Jadranskog mora. Disertacija. Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, Croatia.
- LUCIĆ, H., S. VUKOVIĆ, V. POSAVAC, M. ĐURAS GOMERČIĆ, T. GOMERČIĆ, A. GALOV, D. ŠKRTIĆ, S. ĆURKOVIĆ, H. GOMERČIĆ (2010): Application of dual energy X-ray absorptiometry method for small animals in measuring of bone mineral density of the humerus of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the Adriatic Sea. *Vet Arhiv* 80 (2); 299-310.
- MAAS, M. (2002): Histology of bones and teeth. U: *Marine Mammals Encyclopedia*. Urednik: W. F. Perrin, B. Würsig, J. G. M. Thewissen. Academic Press. San Diego, California, USA.
- MARTIN, R. K., J. P. ALBRIGHT, W. S. S. JEE, G. N. TAYLOR, W. R. CLARKE (1981): Bone loss in the beagle tibia: Influence of age, weight, and sex. *Calcif. Tissue Int.* 33; 233-238.

- MYRICK, A.C. JR, L.H. CORNELL (1990): Calibrating dental layers in captive bottlenosed dolphins from serial tetracycline labels and tooth extractions. U: The Bottlenosed Dolphin (Urednik: S. Leatherwood). Academic Press, Inc. Str. 587-608.
- NISHIWAKI, M. (1972): General biology. U: Mammals of the Sea – Biology and Medicine (Urednik: S. H. Ridgway). Charles C. Thomas Publisher. Springfield. Str. 80-98.
- PERRIN, W. F. (1975): Variation on spotted and spinner porpoise (gen.: *Stenella*) in the Eastern tropical pacific and Hawaii. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London.
- PERRIN, W. F. (1984): Patterns of geographical variation in small cetaceans. Acta Zool. Fennica 172; 137-140.
- ROBECK, T. R., B. E. CURRY, J.F. MCBAIN, D. C. KRAEMER (1994): Reproductive biology of bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) and potential application of advanced reproductive technologies. J. Zoo. Wildlife Med. 25; 321-336.
- ROMMEL, S. A., J. E. REYNOLDS III (2002): Skeletal anatomy. U: Marine Mammals Encyclopedia. Urednik: W. F. Perrin, B. Würsig, J. G. M. Thewissen. Academic Press. San Diego, California, USA.
- RYAN, A. S., D. ELAHI (1998): Loss of bone mineral density in women athletes during aging. Calcif. Tissue Int.; 63: 287-292.
- SEDMERA, D., I. MISEK, M. KLIMA (1997): On the development of cetacean extremities: II: Morphogenesis and histogenesis of the flippers in the Spotted dolphin (*Stenella attenuata*). Europ. J. Morphol.; 35 (2): 117-123.
- ŠEHIĆ, M. (2000): Osteoartropatije u domaćih životinja: Klinička rentgenologija. Scanner studio. Zagreb; 49-52.
- THOMAKOS, N., T. LIAKATOS (2000): Diagnostic methods in osteoporosis. Arch. Hellen. Med.; 17 (2): 146-151.

- TOTHILL, P., A. AVENELL (1998): Anomalies in the measurement of changes in bone mineral density of the spine by dual-energy X-ray absorptiometry. *Calcif. Tissue Int.*; 63: 126-133.
- URIAN, K. W., D. A. DUFFIELD, A. J. READ, R. S. WELLS, E. D. SHELL (1996): Seasonality of reproduction in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *J. Mammal.* 77; 394-403.
- ZOTTI, A., P. SELLERI, P. CARNIER, M. MORGANTE, D. BERNARDINI (2004): Relationship between metabolic bone disease and bone mineral density measured by dual-energy X-ray absorptiometry in the green iguana (*Iguana iguana*) *Vet. Radiol. Ultrasound*; 45 (1): 10-16.

8. SAŽETAK

Značajke mineralne gustoće nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju u ženki dobrog dupina (*Tursiops truncatus*) različite životne dobi

Cilj rada bio je istražiti i opisati smanjenje mineralne gustoće kostiju starijih ženki dupina kakvo je opisano u žena i ženki nekih životinja. Istraženo je 27 desnih prsnih peraja ženki dobrih dupina DEXA metodom mjerenja mineralne gustoće kosti. U skupini istraženih ženki dobrog dupina jaka je povezanost dobi životinja sa sadržajem minerala i mineralnom gustoćom nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju, što je izraženo visokim koeficijentima korelacije testiranih varijabli. Uočen je porast sadržaja minerala u nadlaktičnoj kosti i podlaktičnim kostima do dobi od 17 godina, a zatim je do dobi od 21 godine uočen blagi pad navedene vrijednosti. Vrijednost mineralne gustoće nadlaktične kosti i podlaktičnih kostiju u istraženih ženki dupina, raste do dobi od 15 godina, a do dobi od 21 godine, lagano opada. Uočena su odstupanja od linije rasta izmjerenih vrijednosti u pojedinim jedinki što je najvjerojatnije povezano s biološkim ciklusima koje prati privremeni pad minerala u kostima tijekom života (gravidnost, razne bolesti) ili su povezani s nepreciznošću metode određivanja dobi životinja. Trend smanjenja mineralne gustoće kosti u starijih ženki dobrog dupina odgovara sličnom stanju opisanom u žena postmenopauzalne dobi, starijih ženki majmuna i nekih drugih životinja.

ključne riječi: dobri dupin, prsna peraja, mineralna gustoća kosti, DEXA

9. SUMMARY

Characteristic of the bone mineral density of humerus and antebrachial bones of the females bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) of the different ages

The aim of this study was to examine and describe the decrease of bone mineral density that happens in older female bottlenose dolphins which has been found in researches on humans and some other mammals. The research was done on 27 right pectoral flippers of female bottlenose dolphins using DEXA method which measures the bone mineral density. There is strong correlation in age in the controlled animals with the bone mineral content and bone mineral density, which is expressed in high correlation coefficients of the tested variables. There is an increase in bone mineral content of the humeral and antebrachial bones in dolphins until the age of 17 years and after that there is a mild decrease in the mentioned values in dolphins older than 21 years. The values of bone mineral density of the humerus and antebrachial bones in the age of 15 year old dolphins and up to 21 years of age mildly decreases. There are deviations detected in the line of growth of measured values in some individuals which is most likely associated with the biological cycles by the temporarily decrease in bone mineral density (pregnancy, some diseases) or they are associated with the inaccurate method of age determination in animals. The trend of decreasing bone mineral density in older female bottlenose dolphins is similar to that described in women of postmenopausal age, older female monkeys and some other animals.

key words: bottlenose dolphin, flipper, bone mineral density, DEXA

14. ŽIVOTOPIS

Rođen sam u Zagrebu 4. ožujka 1984. godine. Pohađao sam osnovnu školu u Kopenhagenu, Londonu i Zagrebu te ju završio u O.Š. Dugave u Zagrebu. Pohađao sam i završio Funkcionalnu muzičku pedagogiju u Zagrebu (preimenovanu u Glazbeno učilište "Elly Bašić"), osnovnu školu, program glazbenik gitarist (1994.-2000.). Godine 1998. upisao sam IX. opću gimnaziju koju sam završio 2002. godine.

Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao sam 2003. godine. Tijekom studiranja volontirao sam na Klinici za kirurgiju, ortopediju i oftalmologiju te na Klinici za unutarnje bolesti, a u rujnu 2010. pohađao jednomjesečnu vježbeničku praksu (externship program) u bolnici *Animal Medical Center* u New Yorku.