

Trodimenzionalni anatomski model srca dobrog dupina (*Tursiops truncatus*)

Three-dimensional anatomical heart model of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*)



Došen, S.^{1*}, M. Kolenc², K. Korpes², T. Trbojević Vukičević², T. Gomerčić³, M. Đuras²

Sažetak

Digitalni i ispisani trodimenzionalni (3D) anatomski modeli sve se više primjenjuju u obrazovanju. S ciljem unapređenja nastave i predstavljanja novih metoda prikaza organa domaćih i divljih životinja izrađen je digitalni i ispisani 3D model srca dobrog dupina (*Tursiops truncatus*). U tu je svrhu upotrijebljeno srce dobrog dupina koje je 2017. pohranjeno u zbirci Zavoda za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Srce dobrog dupina snimljeno je CT uređajem i izrađen je njegov digitalni 3D model u računalnom programu 3D Slicer, koji je potom ispisan metodom (engl. *fused deposition modeling*, FDM). Digitalni model obrađen je računalnim programom FinalMesh u kojemu su označene anatomske strukture dupinova srca te je dostupan na mrežnoj stranici Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (<http://wwwi.vef.hr/3datlas/srce/>).

Abstract

Digital and printed three-dimensional (3D) anatomical models are increasingly used in education. The aim of this study was to improve the teaching and to introduce new methods of organ representation of domestic and wild animals. To create a digital and printed 3D model of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), we used the heart of bottlenose dolphin from a collection held by the Department of Anatomy, Histology and Embryology at the Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb. CT scan of a heart was needed to create a digital 3D model by using the „3D Slicer” program. Afterwards, the model was printed using the Fused Deposition Modeling (FDM) method. The digital model was processed in a computer program FinalMesh, what allowed us to label anatomical structures of the heart. The model can be seen free of charge on the website of the Faculty of the Veterinary Medicine, University of Zagreb (<http://wwwi.vef.hr/3datlas/srce/>).

UVOD

Digitalne metode učenja u posljednjem su desetljeću sve više implementirane u obrazovni sustav. Uz digitalne trodimenzionalne (3D) modele izrađuju se i 3D tiskani modeli. Oni se na veterinarskim fakultetima koriste u različite svrhe, od učenja anatomije (Preece i sur., 2013.; Wilhite i Wölfel, 2019.), patologije (Quinn-Gorham i Khan, 2016.) pa do primjene u kirurškim

zahvatima (Hayes i sur., 2019.). Izučavanje anatomije domaćih i divljih životinja na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu zasniva se na teorijskom učenju iz udžbenika i atlasa (Popesko, 2004.; König i Liebich, 2009.) te anatomskej sekciji preparata koja je nužna za usvajanje znanja o građi pojedinih dijelova tijela i organa. Uz to, studentima su dostupni i digitalni 3D modeli privjesnog kostura konja (Gomerčić i

¹Sara Došen, dr. med. vet.
²Magdalena Kolenc, dr. med. vet., Kim Korpes, dr. med. vet., prof. dr. sc. Tajana Trbojević Vukičević, izv. prof. dr. sc. Martina Đuras, Zavod za anatomiju, histologiju i embriologiju, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
³izv. prof. dr. sc. Tomislav Gomerčić, Zavod za veterinarsku biologiju, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

*e-adresa: dosensara.vef@gmail.com

Ključne riječi: dobri dupin (*Tursiops truncatus*), srce, trodimenzionalni model, 3D tisak

Key words: bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), heart, three-dimensional model, 3D printing

sur., 2016.) i lubanje psa (Marić, 2020.) pomoću kojih mogu učiti i ponavljati gradivo osteologije usvojeno na vježbama. Većina anatomskih preparata koji se seciraju na vježbama, tradicionalno se konzervira formaldehidom, zbog čega su često predmet rasprava i zbog štetnosti za ljudsko zdravlje i zbog specijalnog načina pohrane i održavanja. Alternativni preparati, koji mogu smanjiti primjenu formaldehida, jesu i plastični modeli dobiveni 3D ispisom kvalitetnih digitalnih modela čime se osigurava velik broj dugotrajnih preparata (McMenamin i sur. 2014.; Thomas i sur., 2016.).

Trodimenzionalni tiskani modeli izrađuju se naslojavanjem materijala pomoću 3D pisača. Ovaj se postupak naziva i aditivna proizvodnja ili 3D tisak (Quinn-Gorham i Khan, 2016.). U svrhu izrade tiskanog modela potrebno je uređajem za snimanje pomoću računalne tomografije (engl. *computed tomography*, CT), magnetske rezonancije (MR) ili ultrazvuka (UZ) izraditi snimku organa. Snimke se prvotno nalaze u formatu Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) koji treba prevesti u format pogodan za očitavanje na 3D pisaču. To se postiže njihovom obradom u specijaliziranim računalnim programima u kojima se razvija digitalni model organa.

Nakon obrade snimaka slijedi 3D ispis digitalnog modela za koji se danas najčešće primjenjuje jedna od pet metoda (Wei i sur., 2017.): stereolitografija (SLA), modeliranje topljenim depozitima (engl. *fused decomposition melting*, FDM), MultiJet, metoda ColorJet i Selective Laser Sintering (SLS). SLA kao materijal koristi se tekućom smolom koja se stvrdnjava nakon izlaganja ultraljubičastim (UV) laserskim zrakama, ispis je brz, materijal može biti transparentan, a model je točan i detaljan. Pri FDM metodi upotrebljava se plastični filament koji se zagrijava pri prolasku kroz mlaznice i stvrdne se odmah nakon naslojavanja. Za ispis kompleksnih struktura potrebna je primjena potpornog materijala. Ova je metoda ekonomski isplativa, modeli su kompaktni te je metoda izbora za 3D ispis kostiju. Nedostaci FDM metode su što je za ispis potrebno više vremena, nije najtočnija pri ispisu detalja i teško se uklanjaju potporne strukture. Isto tako, pri FDM metodi nije moguć ispis modela u različitim bojama. Kod metode MultiJet

primjenjuje se kompaktna smola koja se otapa pod utjecajem ultraljubičastih (UV) zraka. Moguć je ispis modela različitih boja i materijala. Materijali prikazuju konzistenciju organa, a modeli su odlične rezolucije. Ova se metoda najčešće primjenjuje pri ispisu anatomskih modela organa. Za metode ColorJet i SLS upotrebljava se praškasti materijal koji se u kruti oblik prevodi pomoću adhezivne otopine i djelovanjem CO₂ lasera. Pisač i materijal koji omogućuju primjenu ovakvog ispisa vrlo su skupi, no modeli su detaljni i kvalitetni.

Iznimno kvalitetan anatomski model srca mačke izradili su Wilhite i Wölfel (2019.). Ovaj je model izraden suradnjom anatoma i grafičkih dizajnera u svrhu izrade detaljnog, točnog i realističkog modela. Isto tako, uspješno je prikazano srce u stadiju dijastole i sistole. Također, važan je anatomski model ljudskoga srca koji su izradili Radzi i suradnici (2020.). Obradom digitalnog modela i primjenom MultiJet metode ispisa, ispisani su gornja šuplja vena i plućno deblo koji su mekše konzistencije i drugačije boje od ostatka modela.

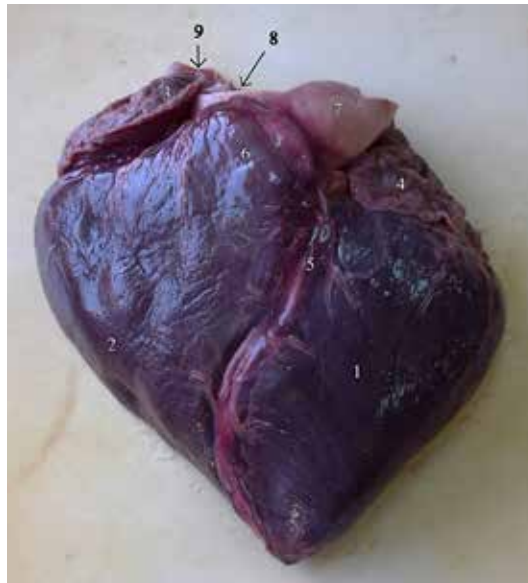
Studenti tijekom studija veterinarske medicine na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu uče i o anatomiji i fiziologiji zaštićenih životinjskih vrsta. Jedna od tih zaštićenih životinja jest dobri dupin (*Tursiops truncatus*). Dobri dupin pripada podredu kitova zubana (Odontoceti) i stalno obitava u Jadranskom moru (Gomerčić i sur., 1998.). Anatomske preparate zaštićenih životinjskih vrsta rijetki su i teško dostupni, što je bio poticaj za izradu digitalnog 3D modela srca dobrog dupina i njegovo ispisivanje 3D pisačem. Isto tako, cilj je upoznati studente i nastavnike s mogućnostima koje pruža primjena digitalne tehnologije i 3D ispisa u obrazovnom procesu.

MATERIJALI I METODE

Za izradu 3D modela srca dobrog dupina upotrijebljeno je srce mladunčeta dimenzija 15 x 15 x 5 cm i mase 400 g, koje je izuzeto 2017. prilikom razudbe te je pohranjeno u zamrzivaču u Zavodu za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Početkom rujna 2019. srce je odmrznuto te je uklonjeno osrčje i manji ostaci plućnog tkiva (slika 1).

Postupak pripreme srca proveden je na temelju podataka o fiksaciji tkiva prije CT snimanja prema Gignacu i suradnicima (2016.). U svrhu fiksacije i pripreme za CT snimanje srce je temeljito isprano običnom vodom i otvorena je aortna lukovica (*bulbus aortae*) kako bi se olakšao pristup koronarnim arterijama. Komore srca i koronarne arterije dodatno su isprane otopinom puferiranom sulfatom (engl. *phosphate buffered saline*, PBS) kako bi se uklonili ostaci krvnih ugrušaka. Za ispiranje je iskorišteno 700 mL navedene otopine, koja je izrađena miješanjem određenih koncentracija NaCl (80 g), KCl (2 g), Na₂HPO₄ (14,4 g) i KH₂PO₄ (2,4 g) u 800 mL destilirane vode te je dodavanjem klorovodične kiseline pH prilagođen na vrijednost 7,4. Nakon toga dodana je destilirana voda kako bi ukupan volumen bio jedna litra. Tako pripremljena otopina autoklavirana je. Klijetke i pretklijetke srca ispunjene su gazom kako bi se zadržao izvorni oblik tijekom šest dana fiksacije u 1,5 L 10 %-tne vodene otopine formaldehida. Nakon fiksacije gaze su uklonjene te je slijedila obrada srca 10 %-tnom Lugolovom otopinom (5 % joda + 10 % kalijeva jodida + 85 % destilirane vode), koja difuzijom ulazi u tkiva i vezanjem za lipide služi kao pojačivač kontrasta mekih tkiva pri CT snimanju. Lugolova otopina aplicirana je u obje koronarne arterije intravenskim kateterom, a srce je nakon toga potpuno uronjeno u navedenu otopinu, u kojoj je ostavljeno 14 dana.

Tako pripremljeno srce otpremljeno je na Institute of Diagnostic and Radiation Therapy, Kaposvár University u Mađarskoj. Pod vodstvom dr. sc. Őrsa Petnehazyja srce je snimljeno CT uređajem Siemens SOMATOM Definition AS. Nakon snimanja izrađen je digitalni 3D model u programu 3D Slicer 4.10.2. U svrhu označavanja struktura srca izrađen je popis anatomskih naziva prema 6. izdanju *Nomina anatomica veterinaria* (Anonimus, 2017.) i određene su boje kojima će te strukture biti označene kako bi se dobio jasniji prikaz struktura i njihovih granica. Pomoću modula Segment editor detaljno su označene sve vidljive anatomske strukture. U programu PrusaSlicer digitalni 3D model je prije ispisivanja podijeljen u dorzalni i ventralni u ravnini ventralnog ruba lijeve uške. Ova je podjela napravljena radi lakšeg ispisa i kako bi na ispisanom modelu bila vidljiva unutrašnjost klijetki i pretklijetki. Za ispis je primijenjena FDM



Slika 1. Svježe srce dobrog dupina nakon uklanjanja osrčja, facies auricularis: ventriculus sinister (1), ventriculus dexter (2), auricula dextra (3), auricula sinistra (4), r. interventricularis paraconalis (5), truncus pulmonalis (6), a. pulmonalis sinistra (7), aorta (8), v. cava cranialis (9).

metoda pomoću pisača Original Prusa i3 MK3S 3D printer i polilaktične kiseline (Prusament PLA Galaxy Silver), bez dodatnog potpornog materijala. Digitalni 3D model također je obrađen u programu FinalMesh kako bi se izradio model za potrebe nastave pogodan za postavljanje i pretraživanje na mrežnim stranicama Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

REZULTATI

Nakon snimanja srca CT uređajem iz dobivenih snimki u DICOM formatu izrađen je digitalni 3D model pogodan za ispis na 3D pisaču. Označavanje anatomskih struktura na digitalnom 3D modelu učinjeno je u računalnom programu 3D Slicer pomoću modula Segment editor. Prvo su označene vanjske, a zatim unutarnje strukture srca. Na digitalnom 3D modelu označene su sljedeće anatomske strukture: lijeva i desna klijetka, obje pretklijetke i uške, bikuspidni (mitralni) i trikuspidni zalisci, plućno deblo s plućnim zaliscima te lijevom i desnom plućnom arterijom, aorta s aortnim zaliscima, lijeva i desna koronarna arterija te kranijalna i kaudalna šuplja vena. Dobiveni digitalni model spremljen je u STL format kako bi ga 3D pisač mogao očitati. Zbog karakteristika programa 3D Slicer i metode ispisa model je spremljen i ispisan FDM metodom u sivoj boji. Kao rezultat na ispisanom modelu vidljive su sljedeće vanjske anatomske strukture srca (slika 2): lijeva i desna klijetka,

lijeva i desna pretkljetka s uškama, plućno deбло, lijeva i desna plućna arterija, aorta te otvori kranijalne i kaudalne šuplje vene. Također, vidljiv je i tok lijeve i desne koronarne arterije.

Radi lakšeg ispisa model je u računalnom programu prerezan na dorzalnu i ventralnu polovicu te su tako vidljivi grebenasti mišići u unutrašnjosti pretkljetki i mesnate gredice koje se nalaze u šupljinama kljetki. Iako su na digitalnom modelu zalisci bili označeni, njihova je struktura bila predetaljna za ispis navedenom metodom (slika 3). Dorzalni i ventralni dio ispisanog srca spojeni su magnetima i čine jedinstveni model koji je moguće razdvojiti i pregledati unutrašnjost. Trodimenzionalni model teži 210 g, a dimenzije su ostale nepromijenjene u odnosu na preparat srca dobrog dupina koji je upotrijebljen za izradu ovog preparata.

Slika 2. Ispisani model srca dobrog dupina, *facies auricularis*: *ventriculus sinister* (1), *ventriculus dexter* (2), *auricula sinistra* (3), *auricula dextra* (4), *truncus pulmonalis* (5), *a. pulmonalis sinistra* (6), *aorta* (7), *v. cava cranialis* (8), *a. coronaria sinistra – r. interventricularis paraconalis* (9).



Slika 3. Dorzalni dio ispisanog modela srca dupina: *ventriculus sinister* (1), *ventriculus dexter* (2), *ostium aortae* (3), *mm. pectinati* (4), magneti ugrađeni u stijenkama (5a, 5b).

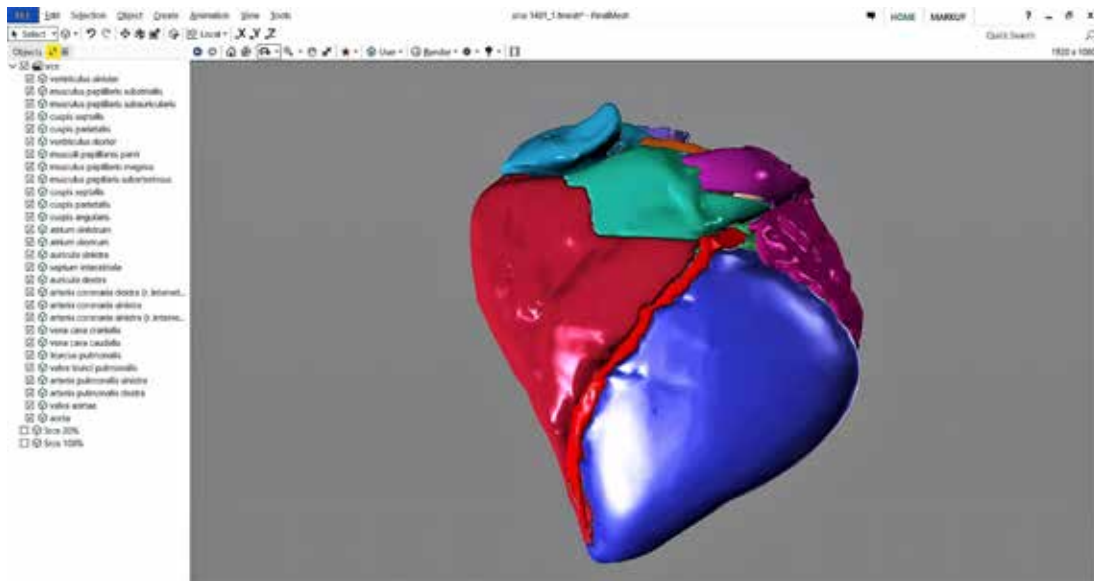


Pomoću programa FinalMesh označeno je 28 anatomskih struktura srca (slika 4). Svi su anatomski nazivi navedeni na latinskom jeziku. U internetskom pregledniku korisnik može pregledavati pojedine dijelove digitalnog 3D modela uvećavanjem i okretanjem u svim smjerovima. Kako bi prikaz bio jasniji, strukture se ističu u različitim bojama, a moguće ih je tražiti i prema nazivu. Ovaj je digitalni model postavljen na mrežnu stranicu Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (<http://wwwi.vetf.h/3d-atlas/srce/>).

RASPRAVA

Novе tehnike slikovne dijagnostike i pripadajući računalni programi imaju velik potencijal u izučavanju anatomije domaćih i divljih životinja. Bilo koji organ može biti snimljen uređajem za slikovnu dijagnostiku, pohranjen u digitalnom obliku i ispisan na 3D pisaču. Pritom je dovoljan jedan organ koji se zatim može ispisati u neograničenom broju primjeraka. Na ovaj je način snimljeno srce dobrog dupina i uspješno izrađen digitalni 3D model koji je ispisan FDM metodom. Također je pokazano kako snimanje organa zaštićenih i rijetkih životinja, prije uzorkovanja tkiva, omogućuje pohranu snimki u digitalnom obliku kako bi se poslije izradili modeli za izučavanje anatomske građe. Anatomske modeli srca, čija je izrada opisana u dostupnim publikacijama, visoke su kvalitete.

Ispisani 3D modeli dugotrajni su, detaljni, lako se proizvode, nema opasnosti za zdravlje i troškovi su mali nakon početnih ulaganja. Unatoč svemu ovakvi modeli ne mogu potpuno zamijeniti prave anatomske preparate, već su samo dodatak za provođenje nastave u nedostatku lešina (McMenamin i sur., 2014.).



Slika 4. Trodimenzionalni digitalni model srca dobrog dupina s pripadajućim anatomskim nazivljem dostupan na <http://wwwi.vet.hr/3datlas/srce/>.

U humanojoj medicini metoda 3D ispisa vrlo je razvijena te je u širokoj primjeni. U obrazovanju doktora medicine u primjeni su 3D modeli ljudskih kostiju (AbouHasem i sur., 2015.), ali i drugih organa, primjerice ljudskog srca (Radzi i sur., 2020.). Nakon dobivenih CT snimki ljudskoga srca, digitalni model obrađuje se u programu 3D Slicer 4.8.1., kako bi se istaknule pojedine anatomske strukture. Zatim se sprema u STL format kako bi se u programu Materialise Magic obradila površina digitalnog modela. Prije ispisivanja model se u programu Object Studio pripremi tako da se kombinacijom fotopolimera i elastomera odredi različita konzistencija pojedinih struktura. Obradom digitalnog modela i primjenom metode ispisa MultiJet ispisuju se i gornja šuplja vena i plućno deblo koji su mekše konzistencije i drukčije boje od ostatka modela. U odnosu na model srca dobrog dupina, uz ispis u dvije boje i različitu konzistenciju pojedinih dijelova, površina modela ljudskoga srca glatka je te se koronarne arterije vrlo dobro ističu, a izrezivanjem dijela stijenke aorte prikazuju se aortni zalisci.

U veterinarskoj se medicini za ispis anatomskih modela koji služe kao dodatna nastavna pomagala za sada najčešće primjenjuje 3D tisak. Tako su izrađeni modeli govedih kostiju (Li i sur., 2017.), konjskog kopita (Preece i sur., 2013.), psećeg želuca (Hackmann i sur., 2019.) i kostiju prsnog uda konja (Dos Reis i sur., 2019.).

Isto tako, ispisani su patološki promijenjena nadlaktična kost psa i pripadajuća ortopedska pločica za planiranje kirurškog zahvata (Quinn-Gorham i Khan, 2016.) te dio lubanje psa nakon kraniotomije zbog tumora mozga (Hayes i sur., 2019.).

Na modelu srca mačke (Wilhite i Wölfel, 2019.) uspješno su prikazane vanjšina i unutrašnjost srca, uključujući krvne žile i zaliske, a ispisan je u dvije faze rada srca: u fazi sistole i dijastole. Digitalni model obrađen je u programu Autodesk Maya, a za ispis je primijenjena metoda ColorJet, koja se smatra idealnom za modele organa, te pišač ProJet CJP 660Pro. Digitalni model može se pregledavati pomoću 3D preglednika kao što je Microsoft 3D Modeling. Ovaj je model grafički kvalitetniji od modela srca dobrog dupina zbog specijalizirane obrade površine i pogodnije metode ispisa.

Postojeći modeli srca pokazuju važnost naknadne obrade površine digitalnog modela i utjecaj odabira metode tiskanja na izgled krajnjeg modela.

Iako digitalni model srca dobrog dupina prikazuje atrioventrikularne, aortne i pulmonalne zaliske, nije ih bilo moguće prikazati na ispisanom modelu. Zbog primjene FDM metode ispis, unutrašnjost je bila predetaljna za ispis, a dodatak potpornog materijala poslije bilo bi teško ukloniti zbog delikatnih struktura. Ispisani model srca dobrog dupina jednolične je sive boje

zbog nemogućnosti primjene više raznobojnih filamenata pri ovom načinu ispisa. Što se tiče digitalnog modela kao nedostatak programa 3D Slicer pokazalo se to što se model ne može pohraniti s bojama koje služe za označivanje pojedinih dijelova. Zbog toga je digitalni model dodatno obrađen programom FinalMesh, pomoću kojeg je izrađen model pogodan za postavljanje na mrežne stranice Veterinarskog fakulteta.

Usporedbom 3D tiskanog modela s izvornim organom vidljivo je da su vanjske strukture jasno istaknute kao i tok glavnih ogranaka koronarnih arterija. U unutrašnjosti tiskanog modela jasno se raspoznaju mesnate gredice i grebenasti mišići koji grade miokard, a unutarnju stijenu srčanih komora čine neravnom. Vanjske dimenzije srca ostale su iste kao na izvornom organu, dok je masa upola manja. Trodimenzionalni tiskani modeli dobro su nastavno pomagalo, no i dalje ne mogu zamijeniti anatomske preparate.

Tiskani model srca dobrog dupina dostupan je na Zavodu za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i koristit će se u nastavi iz predmeta koji obuhvaćaju anatomiju domaćih i divljih životinja. Digitalnom modelu srca može se besplatno pristupiti i pregledavati ga na mrežnoj stranici Veterinarskog fakulteta. Ovaj model može poslužiti kao poticaj svim zainteresiranim nastavnicima za izradu anatomske modele digitalnim tehnikama.

Članak je napisan prema diplomskom radu Sare Došen, pod imenom „Izrada trodimenzionalnog anatomske modela srca dupina“. *Anatomski model srca dobrog dupina izrađen je u okviru aktivnosti projekta „Razvoj visokoobrazovnih standarda zanimanja, standarda kvalifikacija i unapređenje integriranog preddiplomskog i diplomskog studija veterinarske medicine uz primjenu HKO-a na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu“.*

LITERATURA

- ABOUHACHEM, Y., M. DAYAL, S. SAVANAH, G. ŠTKRALJ (2015): The application of 3D printing in anatomy education. *Med. Educ. Online* 20, 1-3.
- ANONIMUS (2017): *Nomina anatomica veterinaria*, 6th ed., Editorial Committee Hannover, Ghent, Columbia, MO, Rio de Janeiro. str. 73-75.
- DOS REIS, L. D. A., B. L. R. GOUVEIA, J. C. R. JÚNIOR, A. C. DE ASSIS NETO (2019): Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing. *3D Print. Med.* 5, Article 13.
- GIGNAC, P. M., N. J. KLEY, J. A. CLARKE, M. W. COLBERT, A. C. MORHARDT, D. CERIO, I. N. COST, P. G. COX, J. D. DAZA, C. M. EARLY, M. S. ECHOLS, R. M. HENKELMAN, A. N. HERDINA, C. M. HOLLIDAY, Z. LI, K. MAHLOW, S. MERCHANT, J. MULLER, C. P. ORSBON, D. J. PALUH, M. L. THIES, H. P. TSAI, L. M. WITMER (2016): Diffusible iodine-based contrast-enhanced computed tomography (diceCT): an emerging tool for rapid, high-resolution, 3-D imaging of metazoan soft tissues. *J. Anat.* 228, 889-909.
- GOMERČIĆ, H., Đ. HUBER, T. GOMERČIĆ, H. LUCIĆ, D. MIHELJIĆ, M. ĐURAS (1998): Estimation of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) population in the Croatian part of the Adriatic Sea. Report conducted for the Regional Activity Centre for Specially Protected Areas. (UNEP- Mediterranean Action Plan) and The Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb. Zagreb, 44.
- GOMERČIĆ, T., M. ĐURAS, T. TRBOJEVIĆ VUKIČEVIĆ, S. KUŽIR, I. ALIĆ, V. ŠIMUNOVIĆ (2016): 3D atlas privjesnog aparata konja, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb. URL: <http://intranet.vef.unizg.hr/3datlas>. (4.3.2021.)
- HACKMANN, C. H., L. D. A. DOS REIS, A. C. DE ASSIS NETO (2019): Digital revolution in veterinary anatomy: confection of anatomical models of canine stomach by scanning and three-dimensional printing (3D). *Int. J. Morphol.* 37, 486-490.
- HAYES, G. M., E. A. DEMETER, E. CHOI, M. OBLAK (2019): Single-stage craniectomy and cranioplasty for multilobular osteochondrosarcoma managed with a custom additive manufactured titanium plate in a dog. *Case Reports in Veterinary Medicine*. Volume 2019, Article ID 6383591, 7 pages.
- KÖNIG, H. E., H. G. LIEBICH (2009): *Anatomija domaćih sisavaca*. Naklada Slap. Zagreb.

- LI, F., C. LIU, X. SONG, Y. HUAN, S. GAO, Z. JIANG (2017): Production of Accurate Skeletal Models of Domestic Animals Using Three-Dimensional Scanning and Printing Technology. *Anat. Sci. Educ.* 11, 73-80.
- MARIĆ, M. (2020): Digitalni anatomski model lubanje psa. Diplomski rad. Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, Hrvatska.
- MCMENAMIN, P. G., M. R. QUAYLE, C. R. MCHENRY, J. W. ADAMS (2014): The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat. Sci. Educ.* 7, 479-486.
- POPESKO, P. (2004): Atlas topografske anatomije domaćih životinja, Medicinska naklada. Zagreb.
- PREECE, D., S. B. WILLIAMS, R. LAM, R. WELLER (2013): "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anat. Sci. Educ.* 6, 216-224.
- QUINN-GORHAM, D. M., J. M. KHAN (2016): Thinking outside of the box: the potential of 3D printing in veterinary medicine. *J. Vet. Sci. Technol.* 7. URL: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/thinking-outside-of-the-box-the-potential-of-3d-printing-in-veterinarymedicine-2157-7579-1000360.pdf>. (4.3.2021.)
- RADZI, S., H. K. JOEL TAN, G. J. SHEN TAN, W. Y. YEONG, M. A. FERENCZI, N. LOW BEER, S. R. MOGALI (2020): Development of a three-dimensional printed heart from computed tomography images of a plastinated specimen for learning anatomy. *Anat. Cell Biol.* 53, 48-57.
- THOMAS, D. B., J. D. HISCOX, B. J. DIXON, J. POTGIETER (2016): 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education. *J. Anat.* 229, 473-481.
- WEI, X., L. ZENG, Z. PEI (2017): 3D printing of medical models: a literature review. Proceedings of the ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2017, 3-9 November. Tampa, USA. URL: <https://asmedigitalcollection.asme.org/IMECE/proceedings-abstract/IMECE2017/58493/V014T07A005/264532>. (4.3.2021.)
- WILHITE, J., I. WÖLFEL (2019): 3D Printing for veterinary anatomy: an overview. *Anat. Histol. Embryol.* 48, 609-620.