

SZENT ISTVÁN EGYETEM
ÁLLATORVOS-TUDOMÁNYI KAR
Anatómiai és Szövettani Tanszék

A szív anatómiájának bemutatása MRI alapú 3D rekonstrukciós technikával

Készítette:

Prevics Dávid, V. évf.

Témavezető:

Dr. Reinitz László Zoltán
tanszéki állatorvos



Budapest
2014

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	2
2.	Irodalmi áttekintés	3
3.	Anyag és módszer.....	9
3.1.	Előkészítés.....	9
3.2.	Képalkotás	11
3.3.	Számítógépes feldolgozás	12
4.	Eredmények	15
5.	Megvitatás	21
5.1.	Módszerválasztás.....	21
5.2.	Előtanulmányok:	21
5.3.	Tartósítás és beágyazás:	25
5.4.	Képalkotás:.....	26
5.5.	Modellezés.....	28
6.	Összefoglalás	30
7.	Summary.....	31
8.	Irodalomjegyzék	32
9.	Köszönetnyilvánítás.....	35

1. Bevezetés

Az anatómiai ismeretek megfelelő mértékű elsajátítása mindig is elengedhetetlen feltétele volt az állatorvosképzésnek. A tárgy és az oktatott anyag jellegéből adódóan, az ismereteknek a hallgatóság felé történő átadásában mindenkor nagy szerepe volt a vizuális megjeleníthetőségnek. Napjainkban, a széles körű multimédiás eszközhasználat jelentős segítséget nyújt a diákságnak a tananyag megismerésében, megértésében.

A számítástechnika gyors fejlődése révén lehetővé vált a különböző alkalmazásokban a szabad térbeli tájékozódás, ezen eszközök kiváló lehetőséget adnak az anatómiai képletek virtuális ábrázolására. Az egyes képletek alakja, egymáshoz viszonyított helyzete és mérete a 21. században rohamosan teret hódító virtuális technikákkal jól láttatható. Több különböző feldolgozási eljárás is rendelkezésünkre áll, amik által a valós struktúrákat végül digitálisan ábrázolhatjuk. Szinte mindegyik módszerben közös, hogy különböző eszközökkel készült felvételsorozatok jelentik a számítógépes munka alapját. Az ily módon megjelenített képleteknek legtöbbször egy általános vagy idealizált képét tanulmányozhatjuk, többek közt a könnyebb értelmezhetőség, valamint a modellező programok használata során kötött kompromisszumos megoldások miatt. Az oktatásban, otthoni felkészülésben, ismétlésben és akár a praxis körülmények közti gyors áttekintésben azonban képesek ellátni feladatukat.

A technika adta lehetőségeken túl napjainkra az igény is kialakult a hallgatóság részéről egy interaktívan kezelhető oktatási csatornára. Hazai kutatási eredmények is azt mutatják, hogy az anatómiai curriculumban a gyakorlati oktatási formák eredményesebbek lehetnek az elméleti előadásokkal szemben, illetve hogy a modern képalkotó eljárások a komplex 3D-s struktúrák megértéséhez nagy segítséget nyújthatnak (KOLOSSVÁRY és SZÉKELY, 2013).

Munkánk célja, egy, a későbbiekben esetlegesen az oktatásba is bevonható virtuális 3D-s szívmodell készítése volt. A szerv eredményes térbeli megjelenítése mellett törekedtünk a felvételek készítéséhez legmegfelelőbb rögzítési módot megtalálni. Ehhez a szakirodalmi források mellett, saját előtanulmányaink során szerzett tapasztalatokra is támaszkodhattunk. A TDK dolgozatom témájának aktualitásán kívül nagy előnye, hogy a kutatás a jövőben rengeteg irányba kiterjeszthető, a vizsgált képletek száma nagymértékben növelhető, és ezáltal az egész tudományos tevékenység továbbfejleszthető.

2. Irodalmi áttekintés

A hagyományos oktatás módszereinek segítésére hivatott számítógépes eszközök fejlesztése már az 1990-es években megkezdődött, mind konzultációs céllal, mind a hallgatóság képzése érdekében (ASHWELL & HALASZ, 2004). Mára számtalan programmal találkozhatunk, melyet a gyártók klinikai vagy didaktikai felhasználásra készítettek és forgalmaznak. Egyes, gyorsan fejlődő diszciplínák nyomtatott könyvek helyett szinte kizárólag digitális anyagra támaszkodnak az oktatásban. Kijelenthetjük, hogy a computeres eszközök használata az oktatásban jelentősen felerősödött, lényegében általános gyakorlattá vált.

Annak köszönhetően, hogy az oktatási eszközök és módszerek együtt tudtak fejlődni a modern számítógépes programokkal, a hagyományos személyi számítógépek egy magas minőségű, kreatív multimédiás eszközzé váltak. Mi több, a diákok számítástechnikai ismeretei, illetve eszközhasználati képességeik párhuzamosan fejlődtek, és bontakoztak ki a számítástechnika folyamatos újításainak térnyerésével. Nem csak erősebb igény lépett föl részükről azokkal az eszközökkel szemben, amik az általuk legjobban megszokott módon prezentálhatnak számukra, hanem megszokták, hogy az információt legegyszerűbben az interneten, illetve számítógépen keresztül érik el, és tudják, hogyan kell azt megkeresni. Ezáltal bármikor készen állnak tananyag elsajátítására a világháló segítségével. A modern diákság kiválóan tudja adoptálni a technika adta új lehetőségek révén létrejött vívmányokat, s ezek használatát nem csak az oktatási módszerek aktuális divatossága indokolja, hanem az a tény is, hogy a tanulók eredményességét pozitívan befolyásolja az igényeiknek megfelelő oktatási eszközök beemelése a tanítási rutinba (GREENHALGH, 2001; REIDENBERG & LAITMAN, 2002).

A hagyományos oktatás és az ún. *non attendance-based teaching* (nem a hallgatók jelenlétére alapuló oktatás) módszereinek ötvözete (*blended learning*), a csak kizárólagosan hagyományos oktatási stratégiák használatával szemben egyértelműen fejleszti a tudományos teljesítményt, és növeli azon diákok százalékos arányát, akik megfelelnek a vizsgán (PEREIRA, et al., 2007).

Patológiás elváltozások terén is segítséget nyújthatnak a 3D-s vizualizációs technikák, és segíthetnek az elváltozások pontos diagnosztizálásában és lokalizációjában (JURGAITIS, et al., 2008). Az alapozó tantárgyak mellett ezért a klinikumba való bevezetéskor is nagy szerepe lehet a 3D-s ábrázoló technikáknak, hiszen a kevesebb rutinnal rendelkező hallgatók számára könnyítést jelenthet a vizualizáció során a térbeli modellek tanulmányozása.

A képkalkotó diagnosztika anatómiai alapjainak oktatása a Semmelweis Egyetem képzésében is fontos szerepet kap. Egy ott készült felmérés alapján nem csak az anatómiai ismeretanyag szignifikánsan jobb elsajátíthatósága érvényesült a gyakorlati bonctermi vagy gyakorlati digitális technikai segítségével, hanem az új technikákkal történő bemutatóra a hallgatóság igénye is nagyobb volt az elméleti előadáshoz viszonyítva (KOLOSSVÁRY és SZÉKELY, 2013).

A magyar orvosi és állatorvosi anatómia tanszékek is készítettek a digitális oktatási eszközök kialakulásának kezdetén kiváló minőségű alkalmazásokat. Az egyik ezek közül Dr. Hajós Ferenc és Dr. Szalay Ferenc által készített állat-, és humánanatómiai képleteket bemutató, grafikus alapú oktatási program (HAJÓS és SZALAY, 1992). A SZIE-ÁOTK Anatómiai és Szövetani Tanszékének munkái közül kiemelkedik a kutya mellső és hátsó végtagjának boncolását bemutató video alapú CD-ROM, mely tematikusan összerendezve ismerteti az egyes izmok, erek, csontos képletek helyét, egymáshoz viszonyított helyeződését, és mutatja be az elérésükhöz szükséges bonctechinikát (SÓTONYI, 1999). A programban szabadon használhatók a lejátszás, megállítás, előretekerés funkciók, kiegészítve a képletek feliratozásával (RUDAS, 1999). Bár ez is biztosít felhasználójának bizonyos mértékű egyénhez igazított eszközhasználatot, azonban a teljes szabadságot, mely az anatómiai struktúrák tetszőleges nézőpontból való tanulmányozását, illetve ezek eltüntetését vagy láttatását is jelenti, nem adja meg.

Ehhez már három dimenziós megjelenítés szükséges, aminek egyik kezdeti, ugyanakkor talán leghíresebb képviselője a „Glasshorse” háromdimenziós állatorvosi projekt, mely az University of Georgia-n készült. A 2001-ben megjelent első kiadás a ló gastrointestinalis rendszerének anatómiáját és a klinikai szempontból legfontosabb helyzetváltozásokat mutatja be, virtuális modellekről készült képek és animációk segítségével. Ezek egy úgynevezett Quick Time Virtual Reality (QTVR) technika felhasználásával készültek (MOORE, 2008).

QTVR egy foto-realisztikus software technológia, ami segítségével egy átlagos teljesítményű számítógépre is készülhet olyan látvány, mely a tárgy 3D-s mozgásának illúzióját kelti. A QTVR technika egyszerűsített változata a „QT” eljárás, ami csak a lineáris irányú videók, vagy animációk létrejöttét teszi lehetővé, ezért a QTVR-t az angol irodalom a *virtual reality-oriented* jelzővel illeti (TRELEASE, et al., 2000).

Általánosságban azon elv mentén működnek, hogy a kívánt képletről video felvételt készítenek a vízszintes és a függőleges sík mentén egyenletesen mozogni képes kamerával, majd az erre a célra kidolgozott szoftver a két képsor összegzésével elkészíti a 3D-ben mozgatható ábrát. A dinamikus ábrázolás alapjául szolgálhatnak például a manapság már szinte

kizárólag digitálisan készült képek, de e mellett videók, animációk, orvosi képalkotó eljárásokkal készült képsorozatok, vagy akár 3D-s modellező software-ekből kiragadott képek is. Végeredményképp az átlagos felhasználó számára is egyszerűen kezelhető programok készülhetnek.

QTVR kezdetben a különböző szövetféleségekből készült mikroszkópos metszetek feldolgozására volt használatos, majd egyre nagyobb szerepet kapott a makroszkópos anatómiai képletek virtuális megalkotásában. A segítségével készült alkalmazásokban nagy előnyt jelent a szabad pozicionálás, és a folyamatok visszafordíthatósága, mely a komplex anatómiai részletek tanulása esetén alapvető szükséglet.

A kész alkalmazások eszközei közt már megtalálható általában az adott képlet körüljárhatósága, akár 360°-os szögváltásokkal mind a horizontális, mind a vertikális síkokban, visszavonhatóság, ismételhetőség, a közelítés-távolítás funkciók (TRELEASE, et al., 2000).

Ez a 2D-s anatómia atlaszokhoz képest valószerűbben, és dinamikusabban képes bemutatni a fotó minőségű képekkel az egyes anatómiai struktúrákat. Ezt a technikát használták fel a „Yorick-the VR Skull” program alkotói is. Az emberi koponya csontjait külön képezték le, majd importálták egy első éves orvostanhallgatóknak készült oktató programba. A hallgatóság véleménye alapján, ezen program használata hatékony tanulást tett lehetővé, és általánosságban elfogadott lett a diákok körében (NIEDER, et al., 2000). Állati koponyák digitalizálására QTVR technika révén találunk példát az Állatorvos-tudományi Karon (SZIE-ÁOTK) született munkákban is. A szerzők ily módon feldolgozták az Anatómiai és Szövettani Tanszék Anatómia Múzeumának preparátumgyűjteményében található koponyák jelentős részét (LÉNÁRT, 2003).

Léteznek egyéb, interaktív térhatással bíró, fotósorozatok megfelelő összerendezésére alapozott technikák is. Egy magyar innováció, a „4D Anatomy” a boncolás szimulációját hivatott megjeleníteni. Ennek segítségével, a felhasználó 5 %-os formalinban fixált preparátumról készült képsorozaton tanulmányozhatja a fej-nyak régió anatómiáját a számítógépen. A program alapjául szolgáló felvételeket egy olyan speciális tartószerkezethez rögzített objektívvel készítették, mely mozgás közben tetszőleges utat képes leírni egy félgömb alakú pályán („térskennelés”). A boncolási folyamat minden egyes fázisát a helyzetében fixált preparátumon végezték el, több száz munkaórát fektetve a pontos anatómiai feltárássá. A képanyagot számítógépes program segítségével térhatásban, fotográfias környezetben modulokba szerkesztették. A technológia segítségével a felhasználó a számítógépen virtuális anatómiai boncolásokat végezhet, tanulmányozhatja a régió komplex felépítését (MOLNÁR, et al., 2013). Ezen vívmány, sok QTVR technikával készült programhoz hasonlóan működik,

azonban - az egyes szövetszintek, anatómiai struktúrák eltávolításával kapott, - az időben változó preparátumról nyert helyzetképekkel, mint egy negyedik dimenzióban tud a felhasználó szabadon mozogni a test mélységében, s ezáltal nem csak a felszín vizsgálatára alkalmas. A módszer nagy előnye továbbá, hogy a felhasználó eredeti fotó minőségű képeket tanulmányozhat, mely a preparátumhoz hűen mutatja az egyes képleteket. Meg kell említenünk ugyanakkor, hogy a tartósítás folyamata során a valódi sebészeti élmény valamelyest csorbul, hiszen óriási különbség van az élő szövetek és a formalinos készítmények látványa közt.

A virtuális modellek egy része teljesen más technikával készül. A kérdéses régióról készült különböző keresztmetszeti felvételeket részben automatikusan értelmezni tudó alkalmazások a megjeleníteni kívánt struktúrákat a számítógép számára is értelmezhető modellekké alakítják („rekonstrukció”). Erre a célra az egyik legelterjedtebb program a 3D Slicer.

A 3D Slicer egy ingyenes, nyílt forrással rendelkező software csomag, mely képelemzésre, és vizualizálásra hivatott. 3D Slicer eredendően sokféle platformon elérhetőnek készült, így a Windows, Linux és Mac Os X rendszerekkel is kompatibilis (FEDOROV et al., 2012).

Maga a Slicer csoport egy olyan közösség, mely felhasználóinak biztosítani kívánja:

- a multi-modalitást, vagyis az MRI, CT, ultrahang, nukleáris medicina, és mikroszkóp által létrehozott képek értelmezését,
- a tetszőleges szerv feldolgozhatóságot,
- széleskörű eszközhasználatot,
- DICOM¹ felhasználhatóságot,
- valamint ezek mellett a hangsúly a könnyű szelet kezelhetőségre, modell renderelésre, és a folyamatok időbeli ábrázolására („4D-s képkezelés”-re) helyeződik.

A 3D Slicer ingyenessége, és a képalkotó eljárásokkal való kompatibilitása nagy előnyt jelent használatában, hiszen lehetővé teszi mind a klasszikus szeptanatómia, mind a CT/MRI képeinek importálását.

Ezekkel kapcsolatosan, hazai állatorvosi vonatkozásban is találunk több szeptanatómiai tanulmányt. Közülük is kiemelkednek a karunkon született atlaszok: például Dr. Sótonyi Péter a sertés teljes transversalis szeptelével készített anatómiai albuma (HORN et al., 2005).

¹ A DICOM; Digital Imaging and COmmunications in Medicine, azaz digitális képkezelés és kommunikáció az orvostudományban, szabványok átfogó halmaza információ kezelésére, tárolására és továbbítására orvosi képekben.

Számos olyan munka is akad, mely nem, vagy nem csak a mechanikus úton való szeletelés révén feltárt metszések anatómiájával foglalkozik, hanem CT és MRI felvételek eredményeit tárgyalja (TÓTH, 2000; VASS, 2002).

Rév László Z. munkája, mely során fagyasztott kutya mellkasának 0,5 cm-es távolságokra lévő síkjairól készült felvételekből modellezte a mellkasi főbb erek, légcső és a nyelőcső morfológiáját, szépen mutatja a klasszikus szeletanatómia felhasználhatóságát a virtuális ábrázolásban, a hosszanti morfológiájú szervek esetén (RÉV, 2006).

A külföldi szakirodalomban találunk említést a mechanikus, szalagfűrész szeletelés vékonyabb szegmenteket eredményező kivitelezésére (SUI & HENRY, 2007). A -70°C-ra, ultra hideg mélyhűtéssel lefagyasztott testet hűthető vezérszállal, és hűthető munkalappal rendelkező speciális fűrészsel dolgozták fel. Ennek eredményeként 2-3 mm szeletvastagsággal rendelkező, általában semi-transparens szeleteket kaptak. A Dalian Medical University munkatársai ezek után a plasztinációs eljárásokat² bevezető, előkészítő lépéseket (fixálást, fehérítést, majd dehidratációt és mosást) végezték el. A plasztináció ezek után következett, az erőltetett impregnáció, és a meleg fürdetős eljárás lépésein keresztül.

Ezen eljárás valóban képes jól tartósítani és fixálni a lágyszerveket. Használatának velejárója azonban a költségigénye, és a speciális eszközök szükségessége. Ki kell emelnünk, hogy a számítógépes modellezhetőség szempontjából fontos teljes helyben maradást sem bizonyos, hogy tudná garantálni a módszer, hisz a szeletek a feldolgozási eljárás során elmozdulhatnak egymástól.

Napjainkra még vékonyabb szeletvastagság, és ezáltal még részletesebb modellezhetőség érhető el a modern képalkotó diagnosztika eszközei révén. A CT/MRI felvételek másik nagy előnye a QTVR alapú technológiákhoz képest, hogy a vizsgált szervek adott síkjának teljes metszése révén betekintésünk nyílik üreges szervek esetén a lumenbe, tömör képleteknél pedig a szöveti állományba. A felvételek ráadásul nem roncsolják a testet vagy preparátumot, így a szalagfűrészre alapozott technikákkal ellentétben nem kell a vágás mentén anyagvesztéssel vagy roncsolódással számolnunk.

CT-s felvételsorozatból készült modellekre is találunk példát az irodalomban. Zhu és munkatársai infarktusos sertésszíveket vizsgáltak 3D Slicerrel. A klinikai szempontok által

² A plasztináció, Gunther von Hagens által bevezetett, és mára nagy népszerűségnek örvendő, erőteljesen fejlődő eljáráscsalád. Ezzel a technikával készülő preparátumok, nem csak az anatómiaoktatásban segíthetnek, hanem általuk, általánosan fejleszthető a diákok befogadóképessége ahogy tananyaggal, úgy más összetett fizikai rendszerekkel kapcsolatban is (VALDECASAS et al., 2009).

ösztönzött kutatás szerint, a szívkamrák esetében a myocardium automatikus ill. kézzel történő körülhatárolása hasonló eredményeket hozott, mind a sertés, mind a humán szervek esetében (ZHU, et al., 2013). Bár a szerzők a szív térfogatának becslése, és ezáltal a stenosis kockázatának elemzése végett vizsgáldtak, munkájuk a CT képek használhatóságát az anatómiai modellezés területén is igazolta, valamint az automatikus körülhatárolás funkciók kiaknázása révén lehetővé tette egyes munkafolyamatok gyorsítását.

A szerzők egy másik munkájában MRI képek felhasználásáról is olvashattunk, a szintén klinikai okokból vizsgált bal pitvari morfológia kapcsán. A módszerük a *salient feature*, és *contour evolution* eszközökön alapultak (ZHU, et al., 2012).

Macska szívének háromdimenziós ábrázolását Cordula Poulsen Nautrup és munkatársai végezték el. A modell megalkotásához, a szerv morfológiájáról több módon is gyűjtöttek információt. Vizsgálatukhoz használtak CT és UH keresztmetszeti képeket, digitális panoráma felvételeket, valamint a macskaszív általános morfológiáját bemutató anatómia atlaszokat is. A modellezés viszont nem a felvételekre alapult, ezek csak segítségül szolgáltak a grafikai alapú, virtuális megszerkesztéshez (NAUTRUP, 2014).

3. Anyag és módszer

3.1. Előkészítés

A vizsgálathoz, egy az Anatómia és Szövettani Tanszékre érkezett, keverék fajtájú 36 kg tömegű, hím ivarú kutya hűtött, friss hulláját használtuk, amelyből a szívet kiemeltük. A szív kiemelésénél vigyáztunk a v. cava caudalis, v. cava cranialis értörzsekre és az aorta kezdeti szakasznak épségére. A pericardiumot nagy részben eltávolítottuk, a szívbázison azonban kis részletekben rajta hagytuk a szervet. A mellkasból való eltávolítást követően gondos külső és belső mosást hajtottunk végre a szíven (csapvízzel), ezután formalin 10%-os oldatába helyeztünk. A helyzetében való lehető legpontosabb rögzítéshez hazai szerzők javaslatai alapján (FEHÉR, 1971) a műgyantába öntést választottuk a korszerűbb Distitron 3501S (Sztírol, Polynt S. p. A., San Giovanni Valdarno, Olaszország) poliészter használatával, melynek tulajdonságai lehetővé teszik biológiai eredetű szövet tartósítását is. A Distitron 3501 S egy víztiszta öntő, UV stabil, előgyorsított poliészter gyanta (1. táblázat).

Szilárdulási folyamat beindításához egy ún. B komponensre van szükség, mely a reakcióban, mint katalizátor van jelen. Erre a célra mi a Butanox M50 vulkanizálószer használtuk (metil-etil-ke-ton-peroxid³, Akzo Nobel N.V., Amszterdam, Hollandia). A poliészter

1. táblázat: A Distitron 3501 S fizikai jellemzői.	
Fizikai állapot	Folyadék
Forráspont	Legalacsonyabb ismert érték: 145°C (293°F) (Sztírol).
Olvaspont	Elkezdhet megszilárdulni a következő hőmérsékleten: -31°C (-23°F) Ez a következő összetevőkre vonatkozó adatokon alapul: Sztírol.
Sűrűség	1.07 - 1.15 g/cm ³
Lobbanáspont	Zárttéri (CC): 30-33°C
Gőznyomás	0.6 kPa (4.5 mm Hg) (20°C fokon)
Oldhatóság	Oldhatatlan a következő anyagokban: hideg víz.
Viszkozitás	Dinamikai: 1200 cP

³ A B komponens kémiai összetételét tekintve metil-etil-ke-ton (1-5%(V/V)) peroxid (30-37%(V/V)) oldat dimetil ftálsavas sóban (55-70 %(V/V)).

műgyanta a katalizátor (mely aktiválja a polimerizációs folyamatot) hozzáadásával (1-4%), szobahőmérsékleten, nyomás alkalmazása nélkül térhálósodik.

Az öntés folyamatához 10x10x15cm-es élekkel, hasáb alakúra készítettünk egy üvegedényt, melynek négyzet alakú fed és alaplapja nem volt az oldallapokhoz rögzítve a preparátum későbbi könnyebb kiemelése végett. A tartálynak a gyantával érintkező belső felületeit szerves oldószerrel, Trennmittel S-el (etanol: 42,8%(V/V) és metanol: 0,25%(V/V), Surface Specialties Austria GmbH, Werndorf bei Graz, Ausztria) kezeltük, megelőzve az üveglapok műgyantával történő végleges egyesülését. A szerv felületét szintén kezeltük a hő fejlődés következtében kialakuló vízgőz buborékok ellen, hiszen ezek, mint melléktermékek, üreges képletekként lettek volna jelen a preparátumban. Erre a célra acetont használtunk, amely 5:4 arányban volt az etil-alkohol mellett az oldatban (FEHÉR, 1971). Ebbe szívet 3 percig belemerítettük, majd alaposan, de alacsony hőmérsékleten („kíméletes szárítás”) megszárazítottuk. A szív külső felületét szárazra törölve, valamint meleg levegővel fújva, míg a lumen felőli részeket kicsepegtetve, és az üregbe szintén meleg levegőt vezetve óvatosan, de gyorsan eltávolítottuk a rajta maradt oldatot.

Így a szívet előkészítettünk a fixálásra. A műgyantába ágyazáshoz a szervet a számára készült üvegedénybe kedvező pozícióba kellett állítani. Mivel célunk az volt, hogy a metszetek a legjellemzőbb irányú keresztmetszeti képeket eredményezzék, a szív tengelyét merőlegesen állítottuk a vízszintes síkra, tehát az üvegedény alaplapjára. Ehhez a szerv felfüggesztésére volt szükség, hiszen a szív szívcsúcsra állítva nem tartotta meg a beállított megfelelő pozíciót. Az műgyanta öntése a két komponens lehető leghomogénebb elkeverésével kezdődött, és a jelentős reakcióhő képződése miatt előre eltervezetten



1. ábra: A tartósított szív feltöltés közben a szilárduló poliészter műgyantában, második szakasz.

három szakaszban történt (1. ábra). A két komponens alacsony százalékos aránya (2%) is ezt a célt, a preparátum hőtől való védelmét volt hivatott szolgálni. A szilárduló műgyanta szakaszok nyugalma is alapvető feltétele volt a megfelelő preparátum készítésének. Egy szakasz kb. 80-90%-os szilárdságának eléréséhez négy óra volt szükséges.

3.2. Képalkotás

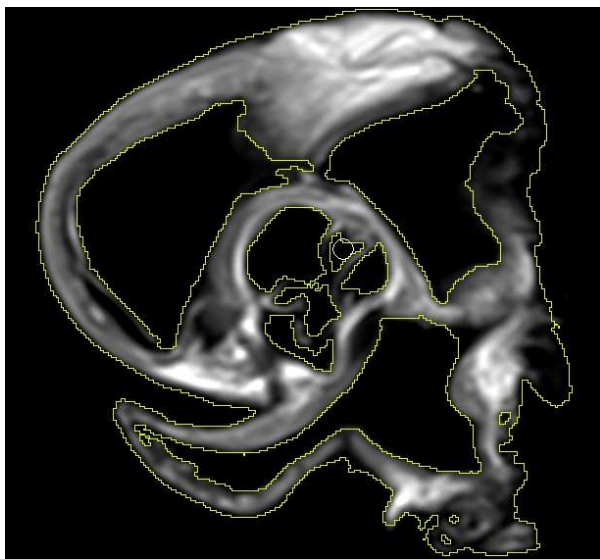
A kész preparátum víztiszta, szilárd közegbe zárva alkalmassá vált egy adott pillanatban lévő térbeli helyzetének vizsgálatára, a szeletelésre, és a keresztmetszeti képek elkészítésére. Ez utóbbi két lépés egymásba olvadva egy lépcsőben történt meg, egy 1,5T mágneses térerejű, zárt MRI berendezésen (Siemens Magnetom Avanto, Siemens AG, Erlangen, Németország) a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében. A többszöri kísérletek alapján tapasztalt, későbbi adatfeldolgozás szempontjából a legmegfelelőbbnek ítélt beállításokkal, T1 súlyozással készítettük a szívtengelyre merőleges keresztmetszeti felvételeket. Az általunk megtartott beállításokat a 2. táblázat tartalmazza. Technikai okok miatt a kb. 1 cm. nem került feldolgozásra a preparátum legfelső rétegéből (az aortatörzs magasságában).

2. táblázat: MRI beállítások a szívpreparátum
leképezéséhez

Vizsgálati mező	206 x 300 mm
Matrix	640 x 640
Alapfelbontás	310x320
Szeletvastagság	0,8 mm
Ismétlési idő	292 ms
Echo idő	1.63 ms

3.3. Számítógépes feldolgozás

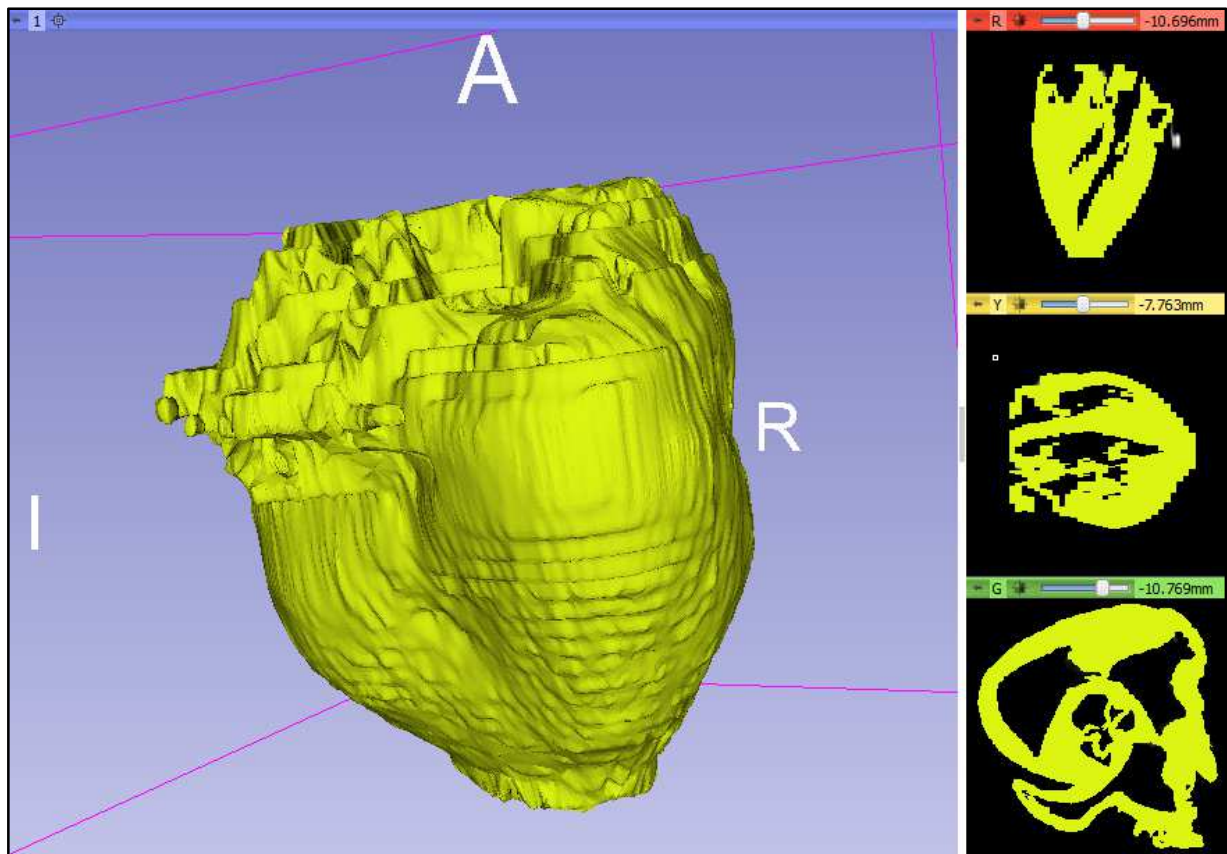
A szövet és a műgyanta jól elkülönül a kapott képeken, és ez teszi lehetővé, hogy a 3D Slicer program segítségével képletesen szólva kivágjuk a szürke árnyalataiból álló szerv keresztmetszetét a fekete színű háttérből, az *Editor* modul eszközeivel. A képletek körbejelölésénél a *GrowCut* eszközt használtuk. A program nem fedezi fel az összes műterméket, és egyes helyeken, ahol egy bizonyos érték alá esik a kontrasztosság, ott rosszul értelmezhet képleteket, anatómiai struktúrákat. Ezért az általunk használt eljárás esetén nélkülözhetetlen az emberi ellenőrzés, és javítás, egyes részek kiegészítése, vagy a jobb értelmezhetőség érdekében bizonyos struktúrák egyszerűsítése. Utóbbi munkát a *Change Label*, *Threshold Effect* és a *PaintEffect* eszközök segítségével végeztük (2a. és 2b. ábra). A javítások tökéletesítése érdekében, a 3D Slicer a *Zoom* eszköz révén az egyes részleteket olyan mértékben képes felnagyítani, hogy a pixelek szintjén tudtuk a körvonalakat a szervhez igazítani. A program lehetőséget nyújt a szerkesztőpanel menüjén belül az ecsetkészlet méreteinek széles skálán való változtatására.



2a. ábra: Szerkesztés és javítás a *PaintEffect* segítségével.



2b. ábra: A kivágás ellenőrzése a *ThresholdEffect* használata közben.



3. ábra: Kijelölések ellenőrzése 3D-s modell segítségével, a 3D Slicer-ben.

Ebben a szakaszban a számítógépes munka párhuzamosan folyt a preparátum tanulmányozásával, hisz az egyes síkon lévő struktúrák térben való értelmezéséhez jó támpontot nyújtott az eredeti szerv. Az így elkészített keresztmetszet-képsorozat kijelölt részeiből a *Make Model* eszköz használatával elkészítettük a szív virtuális, 3D-s modelljét (3. ábra). Ez önmagában is tanulmányozható, forgatható képlet, melyet a *Label* menüben beállított színnel ábrázol a program. A kamerával *Zoom* funkció révén a modell esetében akár a lumenbe is behatolhatunk, és tanulmányozhatjuk a megformált belső képleteket. A modell megfigyelésével ellenőriztük a kijelölésnél esetlegesen elmulasztott hibák meglétét, melyeket a kijelölés fázisához visszatérve, visszamenőleg is megpróbáltunk kijavítani.

A modellt ezután „.stl” kiterjesztésű fájlformátumban mentettük el. Ezt importáltuk a 3DS Max 2015 programba, ahol tovább folytattuk a vizuális megjelenés tökéletesítését (DERAKHSHANI, 2011). *Editable mesh* –ben tölttük be, amelynek a 3D-s pixeleit („vertex”) szükség szerint csoportosan vagy egyesével módosítottuk. A betekintés megkönnyítése végett, manuális kijelölés után, a *Detach* funkcióval, a szívtengelyre párhuzamos síkban félbe vágtuk a szívet. Így lehetőségünk volt betekinteni a modell üregébe, ahol elvégezhattük a szükséges javításokat, valamint az MRI-n nem elkülönült képleteket (ínhúrok, a septumra lapult vitorlás

és zsebes billentyűk, aorta kezdeti szakasza, stb.) polimer modellezési eljárással újra rajzoltuk. Ugyancsak a fent említett *Detach* eszközzel szeleteket készítettünk több metszési síkban.

A késznek tekintett modellről, illetve különböző részeiről ezután képeket készítettünk. Az ezeken szereplő képleteket az állatorvosi anatómia oktatásában használt tankönyvek és atlaszok alapján feliratokkal láttuk el (BUDRAS, 2007; CONSTANTINESCU & SCHALLER, 2012; DYCE, 2009; FEHÉR, 2000; KÖNIG & LIEBICH, 2009; NICKEL ET AL., 2004).

4. Eredmények

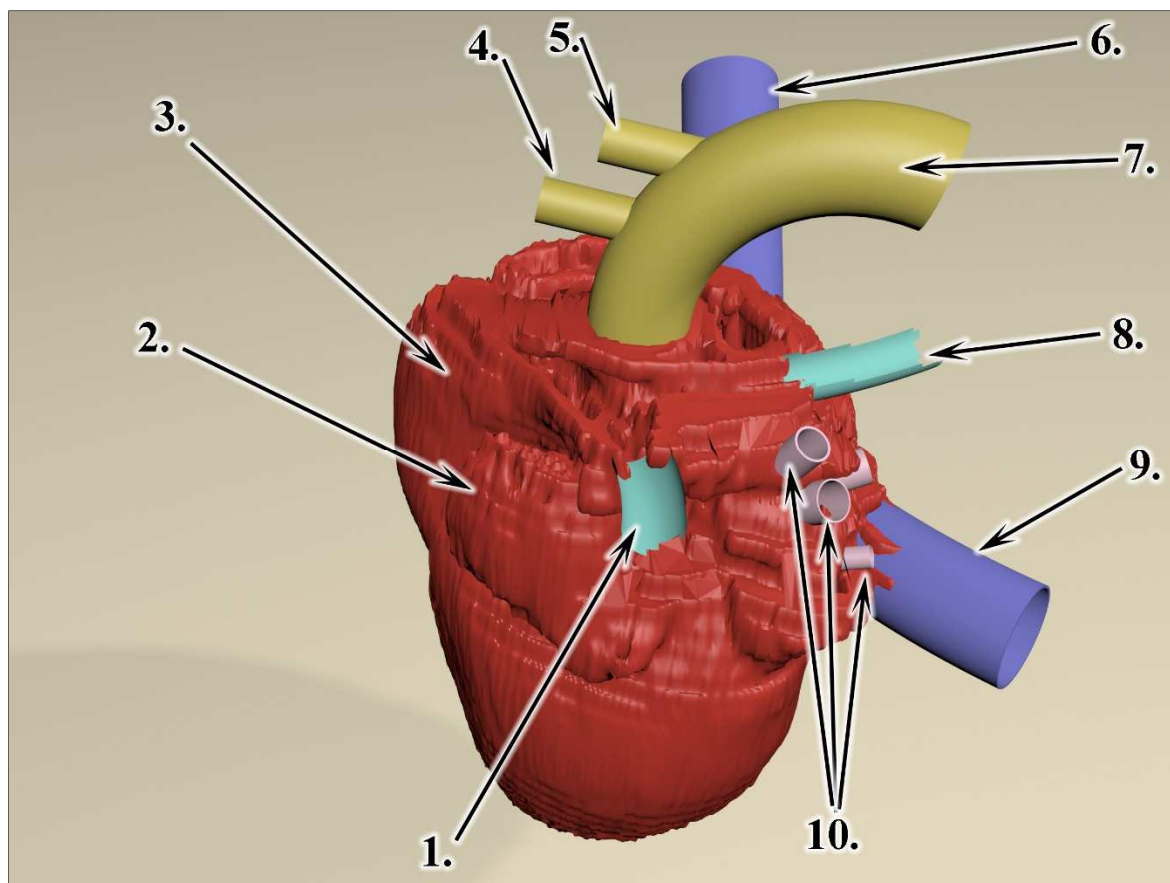
A dolgozat célja egy a szív anatómiájának megértését és megtanulását segítő 3D-s, virtuális modell létrehozása volt. Előzetes vizsgálataink azt is érintették, hogy az ábrázolás, valamint a modell készítéséhez szükséges jól kezelhető és értelmezhető keresztmetszeti képek felvétele, a rendelkezésre álló eszközeink révén milyen módon lehetséges.

A kapott preparátum egy állandó helyzetben, szabad szemmel is vizsgálható szívkészítmény lett (4. ábra).



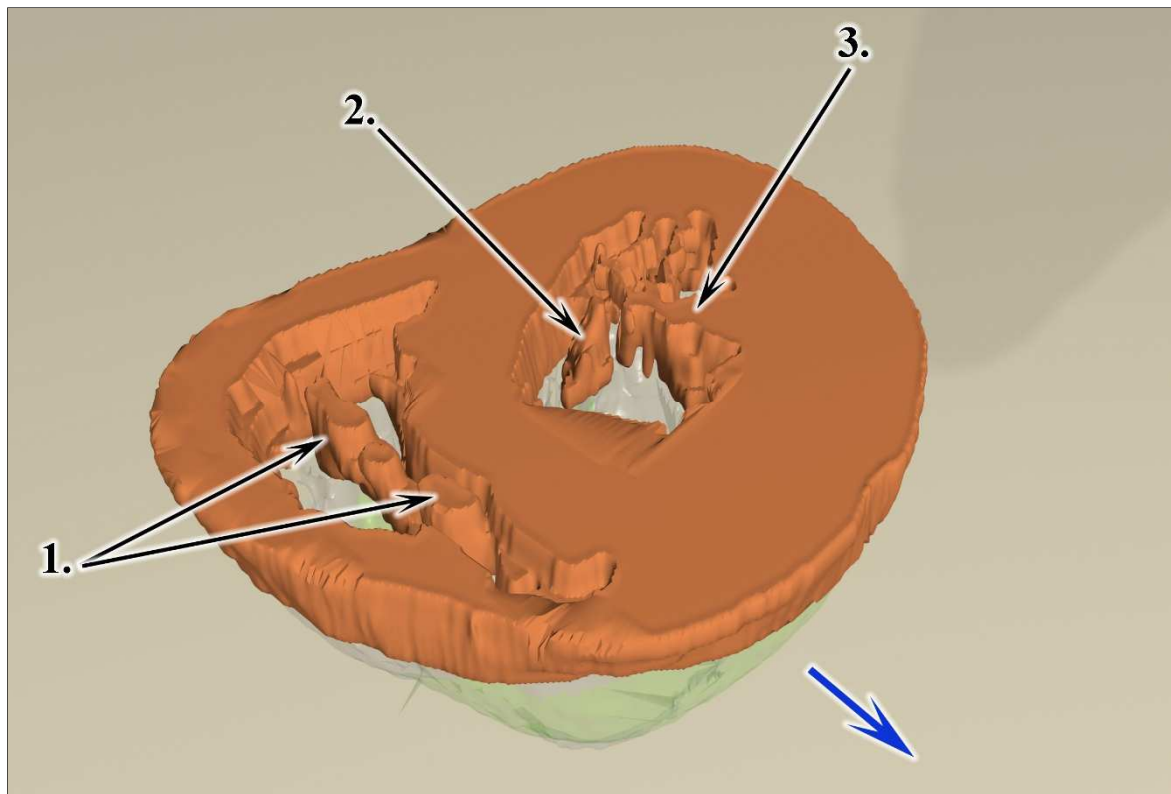
4. ábra: Az MRI vizsgálatához használt, fixált és műgyantával helyzetében rögzített szívkészítmény cranialis nézetben.

Az elkészült modell realisztikus, tehát az egyes képletek egymáshoz viszonyított helyzete a valóságot tükrözi, de a képalkotó eljárások korlátai miatt egyes képleteket idealizált formában, utólag kellett ábrázolnunk. A nagyobb értörzseket a könnyebb értelmezhetőség, és egységesebb megjelenítés érdekében, szintén utólag, *Tube* sablonok beszúrásával tűntettük fel (5. ábra). Térbeli kiterjedéssel bíró szeleteket is láttathatunk a virtuális térben, melyek a hagyományos 2D-s keresztmetszeti képeknél szemléletesebben mutatják be a metszett képletek morfológiáját. Az egyes 3D-s szegmentek önmagukban is jól tájékoztatnak a térbeli elhelyezkedésről (6. és 7a. ábra). A vertikális irányú hosszmetzeti szegmenst ábrázoló kép mellé feltűntettünk a 3D Slicer munkafolyamatai során készült keresztmetszeti képek közül hármat (7b., 7c., 7d. ábrák), melyek az egyes képletek jellemző metszeteinek magasságában lettek megörökítve. Ezek segítségével könnyebben értelmezhetőek a csonkolt modellen különböző színnel ábrázolt anatómiai struktúrák.



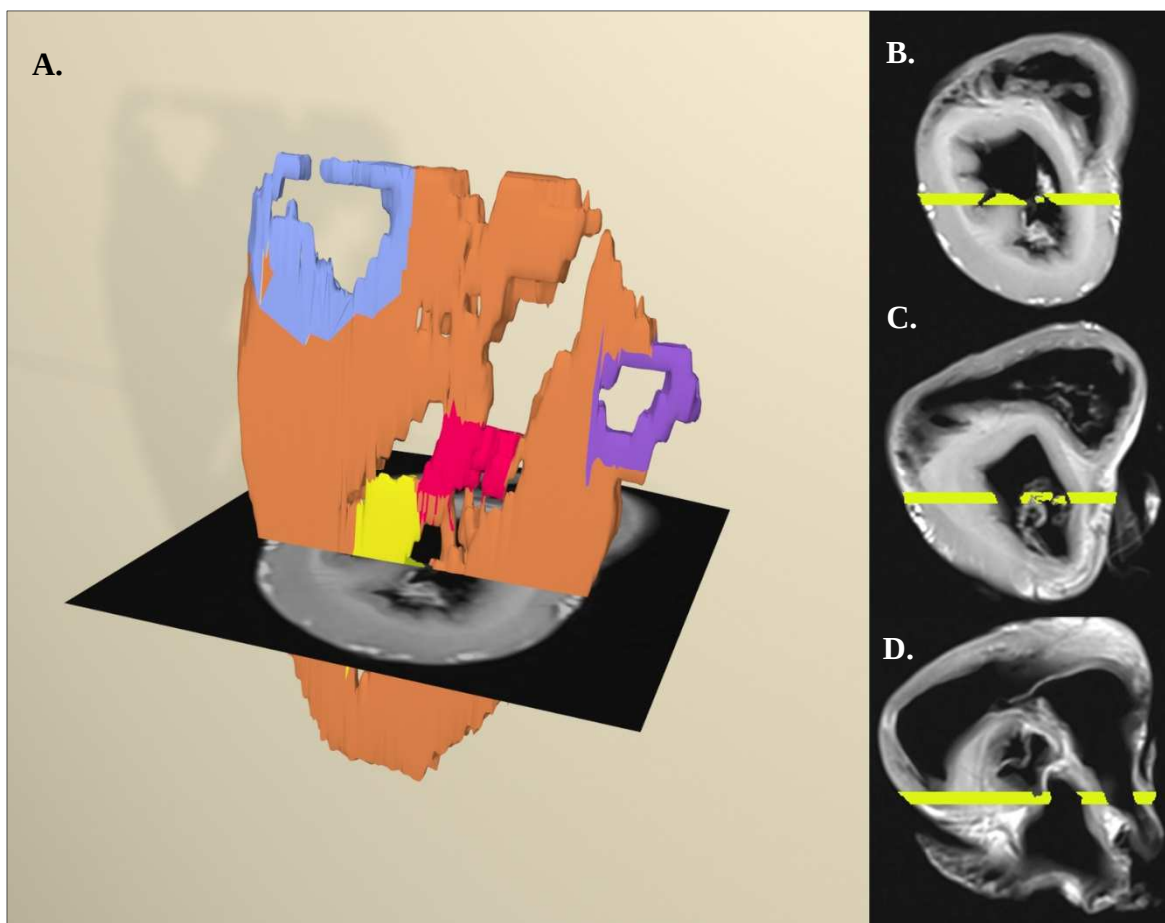
5. ábra: A teljes szívmodell bal caudo-dorso-lateralis nézetben.

1.: *a. pulmonalis sinister*; 2.: *auricula sinistra*; 3.: *conus arteriosus*; 4.: *truncus brachiocephalicus*; 5.: *a. subclavia sinistra*; 6.: *v. cava cranialis*; 7.: *aorta*;
8.: *a. pulmonalis dextra*; 9.: *v. cava caudalis*; 10.: *vv. pulmonales*



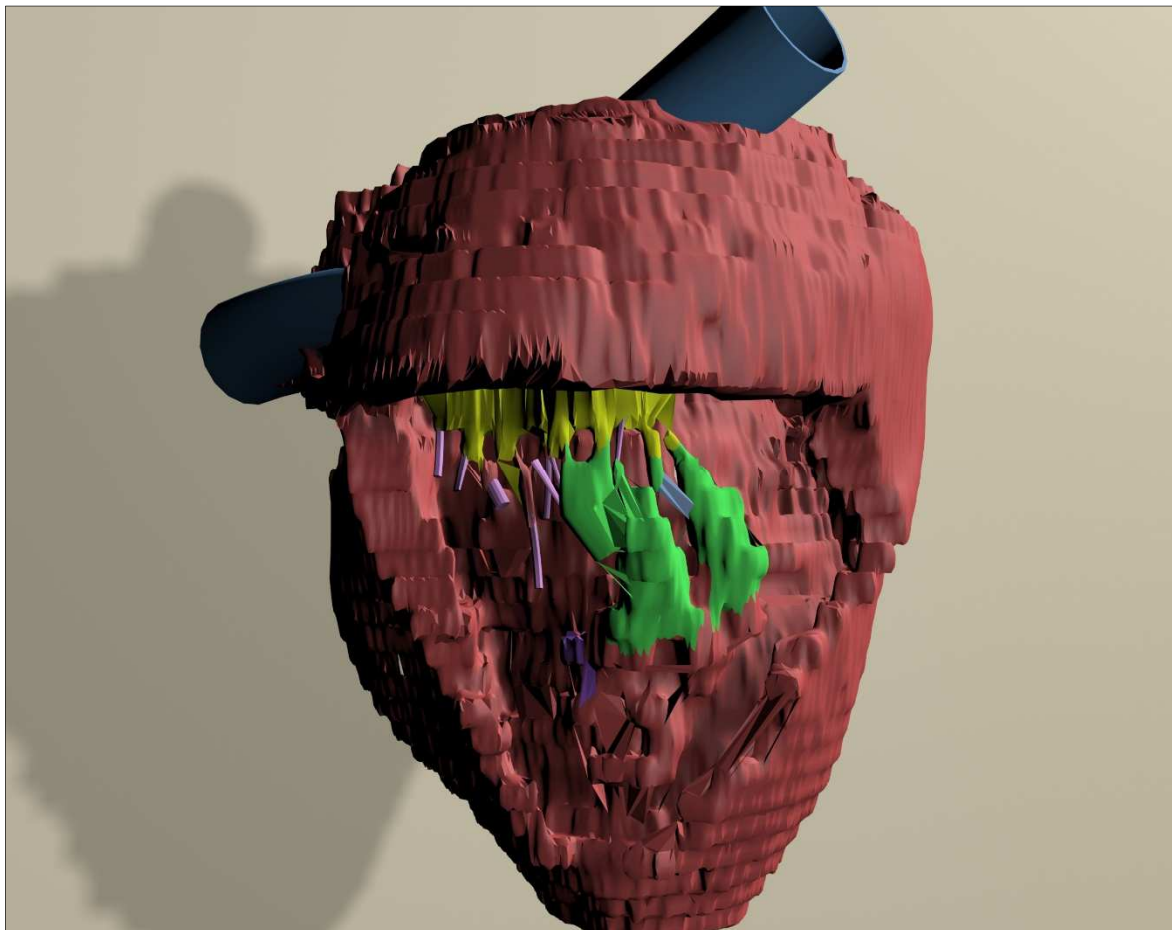
6. ábra: 2,4 mm vastag keresztmetszet a szívmodellről a bal atrioventricularis szájadék alatt, dorsalis nézetben. A kék nyíl caudo-cranialis irányba mutat.
 1.: *m. papillaris magnus*; 2.: *m. papillaris subatrialis*; 3.: *m. papillaris subauricularis*

A belső struktúrák megjelenítésére több féle módszert is alkalmaztunk. A szemölcs izmok, a róluk kiinduló ínhúrok, és vitorlás billentyűk bemutatásának szemléletes módja a jobb kamra falának részleges eltávolítása (8. ábra). Az *ostium aortae*-ban elhelyezkedő zsebes billentyűkön az Arantius-féle csomókat a *Sphere* sablonokkal hoztuk létre, a billentyűk elhelyezkedésének bemutatásához a szív bázis kezdeti szakaszát eltávolítottuk (9. ábra). A feltüntetett az aortagyök vonaláig láttatva a szervet, az aorta zsebes billentyűi (*valvula semilunaris septalis, dextra et sinistra*), félig zárt állapotban, megfigyelhetők. Az ábrán, a *truncus pulmonalis* eredésénél a metszési sík csak egy teljes billentyű (*valvula semilunaris intermedia*) ábrázolását tette lehetővé.

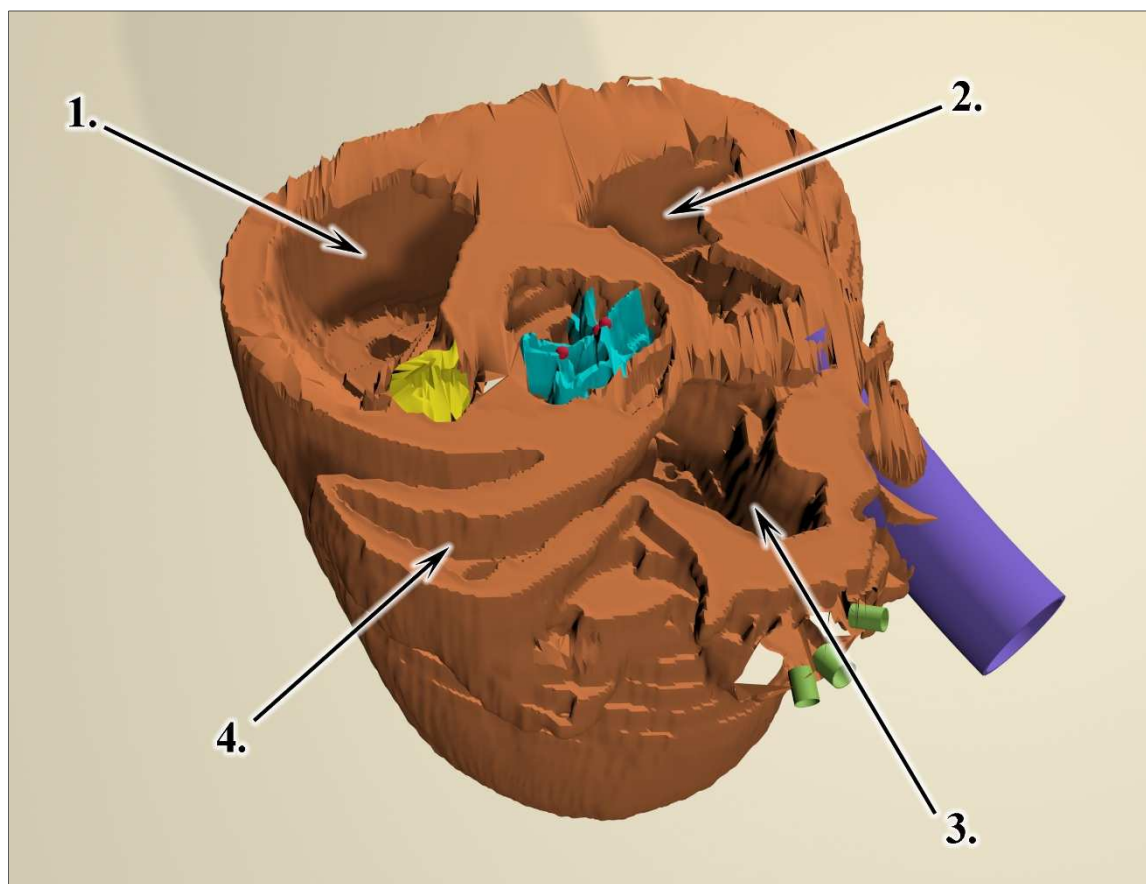


7. ábra: A.: Keresztmetszeti MRI felvételek elhelyezkedése a modell hosszmetsetéből kiemelt rétegen. B.: az ábrázolt keresztmetszet. C.: keresztmetszet a bal atrioventricularis szájadék magasságában. D.: keresztmetszet a v. cava caudalis közepén.

A modellen alkalmazott jelölések: **Piros:** *ostium atrioventriculare sin.*; **Sárga:** *m. papillaris subauricularis*; **Kék:** *conus arteriosus*; **Lila:** *v. cava caudalis*



8. ábra: A szívmodell jobb lateralis nézetben a jobb oldali kamrafal eltávolítását követően. A modellen alkalmazott jelölések: Zöld: *m. papillaris magnus*; Sárga: *tricuspidalis billentyű*; Kék: *v. cava cranialis*; Világos lila: *chordae tendineae*; Sötét lila: *m papillaris parvi*; Fekete: *v. cava cranialis*



9. ábra: A szívmodell bal oldali dorso-caudo-lateralis nézetben, a szívbázis eltávolítását követően. 1.: *conus arteriosus*; 2.: jobb pitvar ürege; 3.: bal pitvar ürege; 4.: *auricula sinistra*. Zöld: *vv. pulmonales*; Sárga: *valvula semilunalis intermedia*; Kék: *aorta zsebes billentyűi*; Piros: *Arantius-féle csomók*; Lila: *v. cava caudalis*

Munkánk eredményeként született egy alkalmazásba ültetett 3D-s virtuális szív modell, és a róla készült bemutató videók, melyekből a dolgozatban igyekeztünk a legjellemzőbb és leginformatívabb pillanatképeket megmutatni, a teljesség igény nélkül. A kész modellen az egyes kiválasztott képletek a gyakorlatban elkülöníthetőek, elemezhetőek, kielégítő vizuális élményt adnak. A modelltől tetszőleges irányú felvétel, illetve tetszőleges beállítású mozgókép készíthető, amelyeken az egyes képletek tetszőleges megjeleníthetőek, elhalványíthatóak illetve eltüntethetőek.

5. Megvitatás

5.1. Módszerválasztás

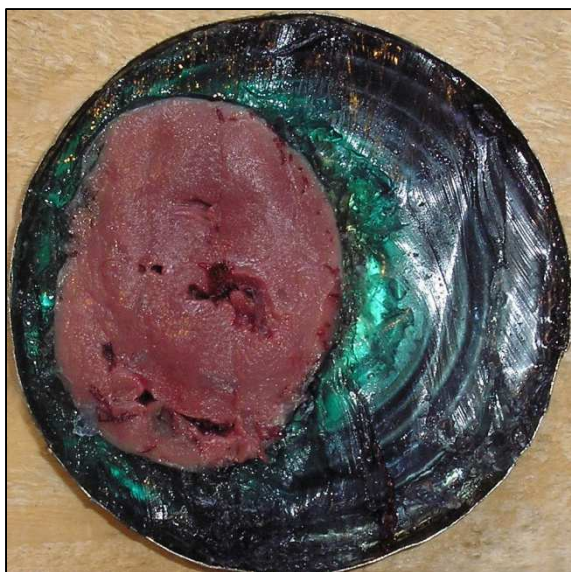
Az irodalmi összefoglalóban említett plasztinációs alapú eljárásokat, bár valóban képesek jól tartósítani és fixálni a légyszerveket, elvetettük igen magas fokú költségessége, és kifinomult eszközigénye miatt. Továbbá a modellezhetőség szempontjából fontos teljes helyben maradást sem bizonyos hogy tudná garantálni a módszer, hisz a szeletek készítése a feldolgozási eljárás előtt található a munkafolyamatban.

A 3D-s anatómia területén kiemelkedően fontos a preparátumok megfelelő rögzítése, s ez igaz az irodalmi áttekintésben felsorolt különböző elven működő technológiákra is, például a QTVR, 4D Anatomy vagy éppen a szeletanatómiára alapozott módszerek esetében. Ezek kivitelezésekor a képletekről készült felvételsorozatokról van szó, melyeknek egy meghatározott sorrendben való beolvasásából, és összegzéséből születik meg a képletről készült modell. A tárgy vagy a kamera mozgatásával készült felvételsorozatokkal nem kaphatunk azonban betekintést egy intakt üreges képlet belsejébe. A lumennel rendelkező preparátumok esetén, melyek belső felépítése releváns didaktikai és klinikai szempontból is, előnyösebbnek tartottuk a teljes keresztmetszetekből készült modell készítését.

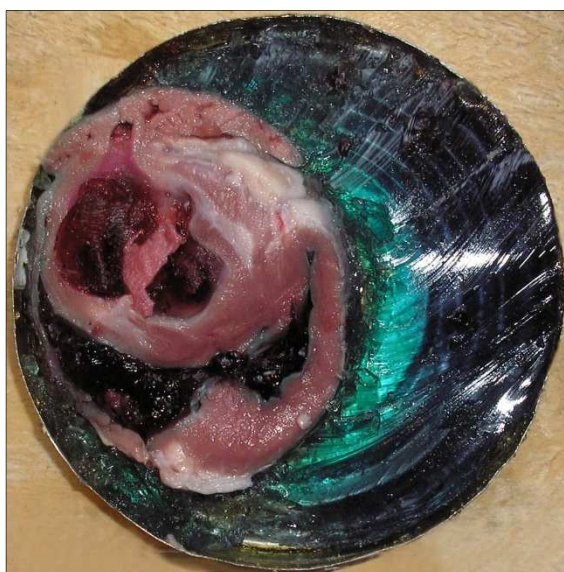
Az öntőgyanta használata a saját tapasztalataink alapján, ebben a tekintetben, és a szerv megfelelő rögzítésében is előnyösnek tűnt.

5.2. Előtanulmányok:

Előzetesen, a komoly diagnosztikai készülékeket mellőzendő, olyan közeget kerestünk a szív fixálására, mely később lehetővé teszi a készítmény mechanikai módon való tényleges felszeletelését. A szeletek készítésének legegyszerűbb formájának a mechanikai metszés tűnt. A kész öntvény fizikai szeleteléséhez ipari szalagfűrészst használtunk, melyet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszék tulajdonában lévő hallgatói műhely bocsátott rendelkezésünkre.



10a. ábra: A zselatinkészítmény egy metszete, a bal kamra középmagasságában.



10b. ábra: Egy másik metszet képe a szív bázis magasságában.

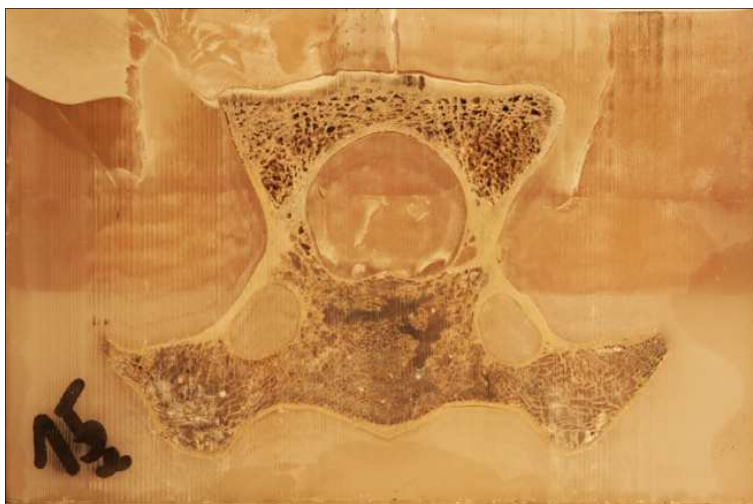
Előtanulmányként, egy másik, előzetes kísérletezésre szívet egyszerű zselatinba öntöttünk. Színtartó készítmények beágyazásához korábban is használatos volt a 40%-os zselatin (FEHÉR, 1971). A kapott preparátum viszonylagosan jól rögzítette helyzetében a szervet, de a szeletelés során produkálható rétegvastagságot nem tudtuk kellően alacsony szintre levinni (kb. 1 cm volt), így az ezen metszéslapokról készült digitális fényképeket (10a. és 10b., ábra) feldolgozva, a szív üregeinek egy idealizált képét tudtuk csak megjeleníteni.

Ezt a módszert ezért elvettettük, és érdeklődésünk egy szilárdabb rögzítési mód, a műgyanta öntés irányába fordult. Poliészter típusú öntőgyantát választottunk, melyeknek előnye hogy kevésbé érzékenyek a szervek víztartalmára, mint például az akrilátok. A poliészter használata során a zsugorodás és a deformáció ritkábban fordul elő, az esetlegesen létrejövő színváltozások pedig a mi kísérleteink szempontjából irrelevánsnak tekinthetők voltak. A műgyanta öntést a vonatkozó szakirodalom széles körben javasolja: korróziós-, és Spalteholz-készítmények beágyazására egyaránt, és szinte bármely nagyságú preparátum feldolgozásához bátran ajánlja, az emberi torzótól, egészen az ízeltlábú blokköntéséig (FEHÉR, 1971)

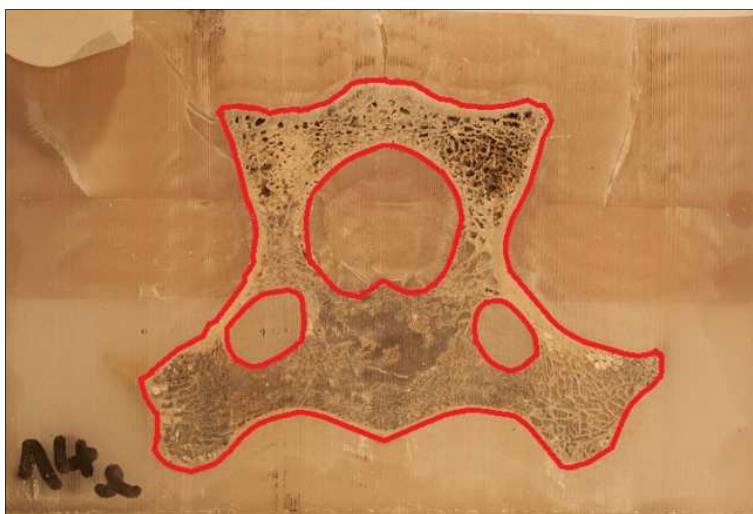
A beágyazás ezen módszerének tesztelésére, egy kellően komplex, azonban viszonylagosan nagy részletekkel bíró, tartósítást nem igénylő szervet választottunk, egy ló negyedik nyakcsigolyáját fixáltuk önthető műgyantában. A csont anyagú test („Száras készítmény”) azért is tűnt jó választásnak, mert elenyésző nedvességtartalma nem fenyegette a szilárdulás folyamatát, amelynek során hő szabadul fel a preparátumból, ami vizet párologtathat el, s így buborékokkal terheli a gyanta állományát. Nedves, víztartalmú készítmények előkészítése nehezebb feladat, hosszadalmasabb előkészítést igényelnek, mint a száraz, kemény

anyagok. Szintén Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszékének tulajdonában lévő hallgatói műhelyben készítettük el a szegmenteket, melyek kb. 5 mm vastagságúak lettek, azonban a szalagfűrész működése következtében, mintegy 1-1,5 mm vágási veszteséggel kellett számolnunk. Ezt úgy használtuk fel az eredmények javítására, hogy az egyes szegmentek mindkét oldaláról/metszészlapjáról készítettünk digitális képeket, de minden caudalis irányból készített képet digitális utómunka révén tükröztünk a függőleges tengelyére (RÉV, 2006).

A képeket sorrendbe állítottuk egymás mögé, s így a szervet átszelő síkokból kivágott körvonalakat egymástól 5, illetve 1,5 mm-es távolságokra váltakozva helyeztük el (11a. és 11b. ábra). Az ezekből kialakított modell az élek finomításával kapott veszteségektől eltekintve az eredeti csigolya alakját mutatja meg számunkra (12. ábra).



11a. ábra: A műgyantába ágyazott csigolya egyik keresztmetszeti képe.



11b. ábra: Egy csigolya szegment, számítógépes feldolgozás közben.



12. ábra: A formába öntött csigolya virtuális modellje egy pillanatfelvételen.

Ez a módszer jól alkalmazható a csontok esetén, hiszen megfelelő szilárdságot mutatnak önmagukban, a műgyanta közeggel pedig kiválóan egyesülnek. Hozzá kell azonban tennünk, hogy a CT-os diagnosztika eszközei rendelkeznek már a legtöbb esetben olyan software-rel, mely egy lépcsőben képes nekünk elvégezni a kapott keresztmetszeti képfájl-okból a virtuális modellé alakítást, mely a klinikum számára volt hivatott létrejönni, míg a modellezésre különböző felszínletapogatási eljárások, 3D lézerszkennerek is a rendelkezésre állnak. Ez a kísérlet számunkra azonban megmutatta, hogy a számítógépes feldolgozó technikánk bonyolult térbeli morfológiájú tárgyakat is képes leképezni, azonban kisebb szervek esetében, az arányaiban finomabb részletekkel bíró szerveket a vágási veszteségek, valamint az (általunk) elérhető legkisebb szeletvastagság mérete miatt, a mechanikus daraboló módszer nem kivitelezhető.

5.3. Tartósítás és beágyazás:

A beágyazás előtt mind higiéniai okokból, mind pedig a későbbi hosszadalmas felhasználásra való tekintettel mindenképp indokolt volt a szív tartósítása. Ezt hagyományos úton, formaldehid 10%-os vizes oldatával végeztük. A teljes penetráció érdekében a szervet a beágyazás előtt 2 napig a formalin fürdőben hagytuk.

Az acetonos felszíni kezelést az irodalmi forrásra támaszkodva végeztük el (FEHÉR, 1971). Az öntvény esztétikai megjelenésének minőségét, és azáltal a szerv értelmezhetőségét hivatott az eljárás megőrizni, és javítani. A preparátum felszínén jelen lévő víz ködfátyol szerű melléktermékeket okozhat a műgyanta állományában, ami akár felhő szerűen képes elrejteni a láttatni kívánt szervet. Ezt megelőzendő, a kereskedelembe beszerezhető FLORIN körömlakklemosó terméket használtuk, (aceton 50%(V/V), etil-alkohol 39%(V/V), Florin Zrt, Szeged, Magyarország) melybe bele mártottuk a szívet, és a fürdőből kiemelve szárazra töröltünk. Ennek a módszernek a gyors elvégzésére azért volt szükség, mert az aceton feltehetőleg képes lenne hosszabb idő alatt a szervet morfológiájában károsítani, hidroszkópos tulajdonságai révén számottevően kiszáritani. Három perces időegység alatt, amíg az acetonos fürdőbe mártottuk, csak a preparátum külső, visceralis és belső, lumen felőli felszíneinek felületi rétege itatódott át a ketonanyaggal.

A műgyanta öntését az üvegedény belső felszíneinek szerves oldószerrel való kezelése előzte meg. Ennek szükségességére az öntőanyagok forgalmazója hívta fel figyelmünket. Gyakorlati tapasztalatai alapján e nélkül, a poliészter műgyanta erősen rögzült volna az üvegedény falához, ami lehetetlenné tette volna számunkra a preparátum kiemelését az edényből. Az etanol alapú oldószer előzetes alkalmazásának köszönhetően, később könnyedén elváltak az üveglapok a készítmény oldalairól.

A viszonylag magas reakcióhő hatékonyabb elvezetése, illetve nagyobb időegységre való elosztása miatt, a formába öntését az előkészületek után három szakaszban valósítottuk meg. A Distitron 3501 S öntőgyanta akár 140-170°C maximális hőmérsékletre melegedhet a szilárdulás során, mely a készítményre és az üvegedényre is egyaránt veszélyes lehet. A katalizátorként használt Butanox M50 mennyisége befolyásolja a reakcióidőt, és éppen ezért pontos mennyiségi adagolásával az egy időpontban fejlődő hőmennyiséget is szabályozni tudjuk. Ezért a B komponens százalékos arányát 2%-ban határoztuk meg, a termék gyártója által kiadott használati útmutatóban szereplő 1-4%-os tartományt alapul véve. Ezen felül hűtővizet készítettünk elő, biztonsági okokból, arra az esetre, ha mindezek ellenére a reakció

alatt a túlzott hőfejlődés következtében elindulna a vízgőzképződés a szerv állományából. Ennek használatára a későbbiek során nem volt szükség.

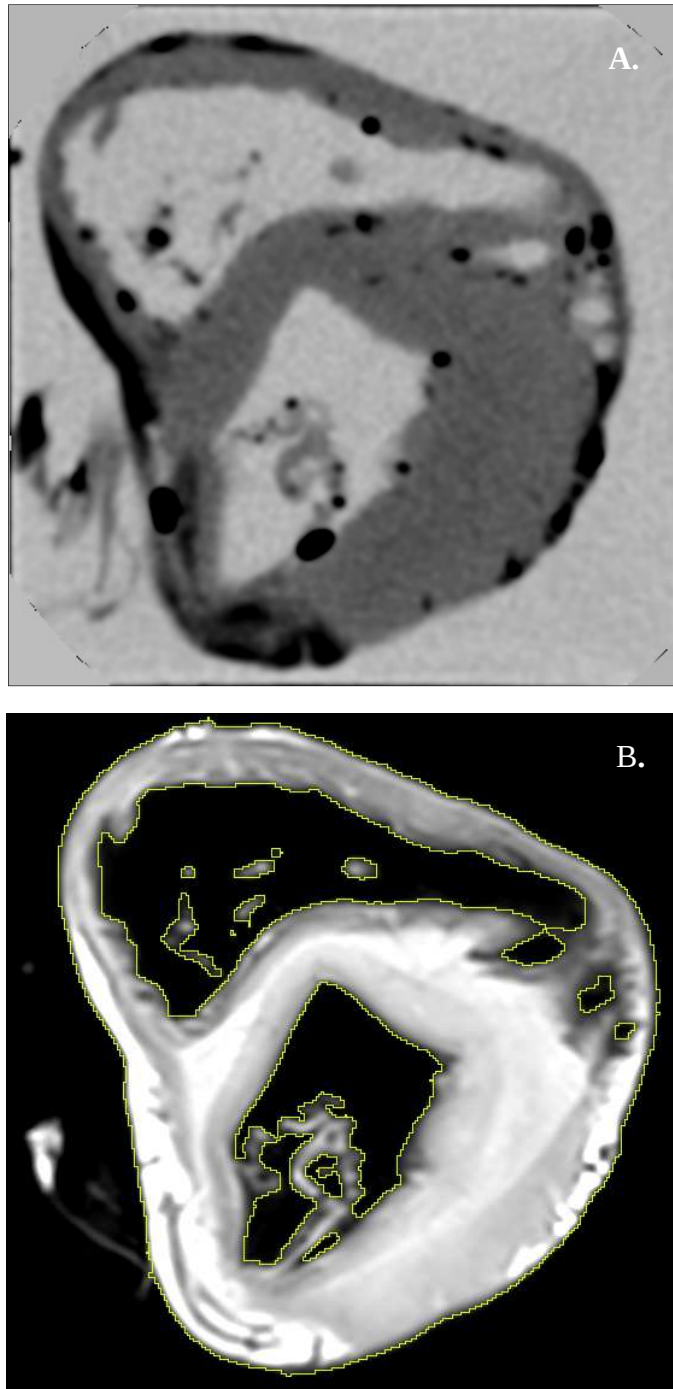
A két komponens kimérésére és egymással való elkeverésére kézzel került sor. Érdekes, hogy a gyártó által leírt minimális 32 perces szilárdulási időhöz képest, kísérletünk során mi több órás időtartamot tapasztaltunk. Minden egyes szakasz tökéletesen egyesült a rá épülővel, a szintek közötti határvonal csak alapos vizsgálattal fedezhető fel első látásra, tehát nem csökkenti a vizuális élményt. A folyamat végére tehát valóban egy tartósított, szilárd, a magába foglalt szervet jól láttató öntött preparátumot kaptunk.

5.4. Képalkotás:

A szív ábrázolásához szükséges keresztmetszeti képek, egymástól kellően kis távolságokra való kinyerhetőségét, a kísérleti előzmények, és az irodalomba való betekintés után a modern képalkotó diagnosztika eszközeivel vizsgáltuk tovább. Ezen módszerek használatával, a valós daraboláshoz képest vékonyabb szeletvastagsággal járó szegmentekeket kaptunk, és a vizsgálatok számának korlátlan növelésének előnyeit is élvezhettük. Fontos megemlíteni, hogy a keresztmetszetek irányát is változtathatjuk a CT/MRI gépek használatakor, ha a preparátumot 90°-kal elforgatjuk, mindhárom térbeli tengely mentén (x,y,z) kaphatunk képsorokat.

A Sebészeti és Szemészeti Tanszék és Klinika (Szent István Egyetem, Állatorvos-Tudományi Kar) Computer-tomograph (GE CT-e; GE Healthcare, Little Chalfont, Egyesült Királyság) készülékével felvételsorozatot készítettünk a preparátumról. Az eredményeket a 3D Slicer program használatán keresztül vizsgáltuk. Több keresztmetszeti képen, a műgyanta és a szerv állománya a feldolgozás során használt program számára nem kellő mértékben különült el színében. A kontrasztosság nem volt elégséges minden szelet esetén a pontos körülrajzoláshoz, vagy csak igen jelentős mennyiségű kézzel való korrigálás után használhattuk volna a képeket. A később készült MRI felvételek felbontása is jobbnak bizonyult a CT képeknél.

Ezért a szív szegmentjeinek még eredményesebb megjelenítése érdekében MRI vizsgálatnak is alávetettük a preparátumot. Ezeken a felvételeken, a műgyanta sötét hátteret biztosít a szerv keresztmetszeteinek, melyek egymástól így jól elkülönülnek, mind a szabad szemmel vizsgáló, mind pedig a 3D Slicer számára. Elmondhatjuk azt is, hogy CT-os vizsgálatokhoz képest részletgazdagabb képeket nyertünk az MRI készülék használata során (13a. és 13b. ábra). Jól látszik a hasonló magasságban készült felvételeken, hogy a CT képeken



13. ábra: CT (A.) és MRI (B.) felvételek összehasonlítása, a bal pitvar-kamrai szájadék magasságában készült metszési síkban

zavaró melléktermékként jelen lévő radiolucens, fekete színnel előtűnő területek az MRI felvételeken már a körülrajzolást negatívan nem befolyásolják, a szerv állományához hasonló árnyalattal tűnnek elő.

Összehasonlítva a képalkotó diagnosztika ezen két konstrukciója által kapott felvételeket, az MRI képfájlok feldolgozása mellett döntöttünk. Megjegyzendő azonban, hogy a műgyantában fixált szerveket használva, pontosan ugyanabban a pozícióban vizsgálhatók a

preparátumok az MRI, és a CT készülékek esetében is. Ez nagyobb szerepet adhat a CT-os felvételeknek, radiodenzebb képleteket, például csontokat tartalmazó testrészek feldolgozásában. Ötvözve a két képalkotó eljárást mind a lágyrészekről, mind a csontokról lehetőség nyílt modellek készítésére, melyek a virtuális térben teljesen egymáshoz illeszthetők lehetnének, egymáshoz képest helyes helyzetben, és méretben.

5.5. Modellezés

Három dimenziós modellezés nélkül a hagyományos keresztmetszeti ábrákról a térbeli elrendeződés csak sorozatba rendezés után, jó vizualizációs képesség segítségével értelmezhető.

A számítógépes feldolgozáshoz szükséges programok kiválasztásában nagy szerepe volt az Anatómiai és Szövettani Tanszéken készült eddigi munkáknak. A 3D Slicer és az 3DS Max programok sikeres használatát mutatja be például, a ló légzacskójának anatómiáját prezentáló poszter, és TDK dolgozat is, melyben a CT felvételek és a fent említett alkalmazások segítségével virtuális modell született (BILGER, 2013). A 3D Slicerrel kapcsolatos hazai, és azon belül a karon született tapasztalatokon kívül, külföldi eredményes felhasználásairól is értesültünk. A program széles tudásbázissal, és rengeteg supportal rendelkezik, teljesen ingyenes, nyílt forrással rendelkező *software* csomag. E tulajdonsága miatt is rendkívül népszerű, sokak használják szerte a világban, s a visszajelzésekkel együtt ez nagyban segíti a hibák kiszűrését, a program tökéletesítését és az új fejlesztések létrejöttét. Ezen kívül, számunkra program használatát a megfelelő formátumban való elmentés lehetősége is indokolta, mely a „.stl” kiterjesztés révén biztosítja a modell importálhatóságát a 3DS Max-ba.

A széles körű szerkesztő funkcióknak hála, néhány szeleten található egyes képletektől eltekintve, a részletek körbejelölésénél támaszkodhattunk a *GrowCut* eszközre. Ezen panel segítségével egyszerűbb felépítésű képletek esetén, egyes szerzők arról számolnak be, hogy a manuális, szeletről-szeletre történő kijelöléshez viszonyítva, az ahhoz szükséges munkaidőt mintegy 61%-ára sikerült leredukálni (EGGER et al., 2013).

A 3D Slicerben létrehozott modellel, a következőkben már a 3ds Max®-ban dolgoztunk tovább. A 3D modellezőprogram átfogó modellezési, animációs, szimulációs és renderelési megoldást kínál a játékok, filmek és reklám spot-ok készítői számára. A 3ds Max hatékony új eszközöket, nagyobb teljesítményt és zökkenőmentes munkafolyamatokat biztosít, amelyek segítenek átfogóan növelni a termelékenységet az összetett, magas felbontású eszközöket használók számára (DERAKHSHANI, 2011). Képesek voltunk általa a modell utólagos

formázására, a textura kialakítására, és bemutató képek, animációk szerkesztésére. Ezen kívül szintén nagy előnye, hogy az egyetemi és főiskolai karok diákjai az Autodesk Student Design Community weboldaláról ingyenesen letölthetik az Autodesk programok diákverzióit. Az oldalon a programok mellett elektronikus oktatási anyagok is elérhetők.⁴

A modellről készült képekkel igyekeztünk szemléletes példákat kiragadni és ezáltal bemutatni munkánk eredményességét. További céljaink: más szervekre, testrészekre vonatkozó vizsgálatok a feldolgozási eljárás sikerességét illetően, valamint az elkészített szív modelljét a diákok számára széles körben hozzáférhetővé tenni. Ezáltal is szeretnénk rávilágítani az oktatásban rejlő óriási, de egyelőre kevésbé kiaknázott potenciáljára. Bízom benne, hogy ezzel tudományos diákköri munkám segít majd rámutatni arra, hogy az állatorvoslás hagyományai, és az új felfedezések, együtt képeznek alapot a tudományos haladás számára.

⁴ Letöltés helye: URL: <http://www.autodesk.com/education/free-software/all>.

6. Összefoglalás

Az anatómia curriculumban oktatott anyag jellegéből adódóan, az ismereteknek a hallgatóság felé történő átadásában mindenkor nagy szerepe volt a vizuális megjeleníthetőségnek. A mára megszorodott digitális eszközkészlet által adott lehetőségek, valamint a hallgatóság megnövekedett igénye miatt is indokolt az oktatási segédletként használatos 3D-s modellek fejlesztése.

A dolgozat célja egy a szív anatómiájának megértését és megtanulását segítő 3D-s, virtuális modell létrehozása volt.

A vizsgálathoz az Anatómia és Szöveti tanszékre érkezett, (keverék fajtájú 36 kg tömegű, hím ivarú) kutya hűtött, friss hulláját használtuk, amelyből a szívet kiemeltük. Formalinos tartósítást követően, a szervet két komponensű, önálló műgyantában rögzítettük. Az így kapott preparátumot MRI alapú vizsgálatnak vetettünk alá. A kapott képek, a szerv egymástól 0,8 mm-re lévő párhuzamos síkjait jelenítik meg. Ezeket a 3D Slicer programban szeletenként ellenőriztük és dolgoztuk fel, a *Threshold Effect*, *Paint*, *GrowCut*, *Change Label* eszközök segítségével, majd állítottuk össze virtuális modellé, a *MakeModel* funkcióval. A kérdéses részleteknél, a könnyebb tájékozódás érdekében, az eredeti, műgyantába ágyazott preparátumra is támaszkodhattunk. Az így kapott 3D-s szív modellt átültettük a 3D StudioMax programba ahol a modell esztétikai formázása történt meg, (valamint az értelmezhetőség javítása végett feltüntettünk rajta hozzá kapcsolódó értörzseket).

Az kapott modell a tér minden irányába forgatható, körüljárható, róla kép és animáció tetszőleges térbeli beállításokkal, számos módon készíthető. Az egyes képletek egymáshoz viszonyított helyzete realisztikus.

Az általunk használt módszer tehát hatékonyan alkalmazható a szív 3D-s ábrázoláshoz, s a dolgozat segítségével szolgálhat egyéb üreges szervek, képletek hasonló feldolgozásában.

7. Summary

Because of characteristics of the curriculum of the anatomy, the visual demonstration has always had a very important role in its education. The digital tools available today and the increasing demand of the students make it reasonable to develop 3D models as further tools for education.

The object of the study was to create and develop a virtual model of the dog's heart wherewith help the students in understanding and learning its anatomy.

We removed the heart from a refrigerated dog cadaver (cross-breed, male, 36 kg body weight). Following a formalin based fixation process, the organ was casted with a two component synthetic resin. This specimen was examined with MRI using a 1 mm slice gap. The sequence was processed with 3D Slicer, where the organ was selected using the Threshold Effect, followed by a manual overview of every slice. The resulted model was exported into 3DS Max for further adjustments and the addition of the major vessels.

The final model is rotatable, and the user can create pictures or animations of that using any desired angle or virtual environment. The model is realistic in its proportions.

This model is available for the students to study why the process may be used for modelling further organs.

8. Irodalomjegyzék

- ASHWELL, KW., HALASZ, P. 2004: An Acrobat-based program for gross anatomy revision. *Med Educ.* 38. vol. 11 no. p. 1185-6.
- BILGER, M: 2013: Topographical and clinical anatomy of the guttural pouch in the horse, *TDK dolgozat* 2013, Budapest, SzIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék
- BUDRAS, K.D. 2004: Kapitel: Zentralnervensystem. In: BUDRAS, K.D.: *Atlas der Anatomie des Hundes*. Hrsg.7., Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH. p.108-116.
- CONSTANTINESCU, G.M., SCHALLER, O. 2007: *Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- DERAKHSHANI D., SCHMIDT J. 2011: *Autodesk 3ds Max 2012. Das offizielle Trainingsbuch von Randi Derakshani*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- DYCE, K. 2009: *Textbook of Veterinary Anatomy*, 4th ed. St. Louis: Elsevier. p.849.
- EGGER, J., KAPUR, T., FEDOROV, A., PIEPER, S., MILLER, J.V., VEERARAGHAVAN, H., FREISLEBEN, B., GOLBY, A.J., NIMSKY, C., KIKINIS, R. 2013: GBM Volumetry using the 3D Slicer Medical Image Computing Platform. *Sci Rep.* 3. vol. p. 1364.
- FEDOROV, A., BEICHEL, R., KALPATHY-CRAMER, J., FINET, J., FILLION-ROBIN, J-C., PUJOL, S., BAUER, C., JENNINGS, D., FENNESSY F., SONKA M., BUATTI, J., AYLWARD, S.R., MILLER, J.V., PIEPER, S., KIKINIS, R. 2012: 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* 30. vol. 9 no. p.1323-41.
- FEHÉR GY. 1971: *Állatpreparátumok készítése*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. p. 260.
- FEHÉR GY. 2000: *Háziállatok funkcionális anatómiája*, második kiadás. Budapest: Mezőgazda Kiadó. pp 455-466
- GREENHALGH, T. 2001: Computer-assisted learning in undergraduate medical education. *BMJ.* 322:40-4. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18660637>. Letöltés ideje: 2014.09.12.
- HAJÓS F., SZALAY F. 1992: AwA (Anatomy with Apple) - Grafikus oktatóprogram az Állatorvos-tudományi Egyetem Anatómiai és Szövettani Tanszékén. *PCWORLD, MacVilág* 4. évf. I. sz. p. 16-17.
- HORN P., SÓTONYI P., REPA I. (szerk.) 2005: *Cross-sectional CT and MR anatomy of the domestic pig*. Kaposvár: Láng Publishing and Holding Company 144 p.

- JURGAITIS, J., PASKONIS, M., PIVORIŪNAS, J., MARTINAITYTE, I., JUSKA, A., JURGAITIENE, R., SAMUILIS, A., VOLF, I., SCHÖBINGER, M., SCHEMMER, P., KRAUS, TW., STRUPAS, K., 2008: The comparison of 2-dimensional with 3-dimensional hepatic visualization in the clinical hepatic anatomy education *Medicina (Kaunas)*. 44. vol. 6. no. p. 428-38. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18660637>. Letöltés ideje: 2014.10.02.
- KOLOSSVÁRY M., SZÉKELY A. 2013: Digitalizált radiogram és eredeti készítmények felhasználása az anatómia oktatásában. In: *Magyar Anatómus Társaság 2013. évi kongresszusa*: SZIE-ÁOTK, Budapest, 2013. június 13-15. p. 17.
- KÖNIG, H.E., ET LIEBICH H.-G. 2011: Anatomie der Haussäugetiere, Stuttgart: *Schattauer Verlag*, 5. Auflage, s. 439-453.
- LÉNÁRT L. 2003: Anatómiai preparátumok digitalizálása QuickTime VR technikával. *TDK dolgozat*. Budapest: SZIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék
- MOLNÁR A, NEMESKÉRI Á, BALOGH A. Humán fej-nyak régióban végzett boncolás interaktív térhatású rekonstrukciója. 4D anatomy szimulátor. In: *Magyar Anatómus Társaság 2013. évi kongresszusa*: SZIE-ÁOTK, Budapest 2013. június 13-15.
- MOORE, J. 2008: The Glass Horse: Equine Colic CD; 2. edition. Athens: Equine Veterinary Journal. URL: www.3dglasshorse.com. Letöltés ideje: 2014.07.12.
- NAUTRUP, C. P., NAUTRUP, B.P., WEBER, S., KÄSTNER M., 2014: Interactive three-dimensional real-time modeling of the feline heart, a new application not only for the anatomical training. *Anatomia Histologia Embryologia*. 43. vol. 1. suppl. p. 72.
- NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E. 1992: Das Binnenraumsystem des Gehirns. In: NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere* 4. Hrsg.3., Berlin und Hamburg: Parey Verlag.
- NIEDER, GL., SCOTT, JN., ANDERSON, MD. 2000: Using QuickTime virtual reality objects in computer-assisted instruction of gross anatomy: Yorick--the VR Skull *Clin Anat*. 13. vol. 4. no. p. 287-93. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10873221>. Letöltés ideje: 2014.07.03.
- PEREIRA, J. A., PLEGUEZUELOS, E., MERÍ, A., MOLINA-ROS, A., MOLINA-TOMÁS, M. C. and MASDEU, C. 2007: Effectiveness of using blended learning strategies for teaching and learning human anatomy. *Medical Education*. 41. vol. p. 189–195.
- REIDENBERG, JS., LAITMAN, JT., 2002: The new face of gross anatomy. *The Anatomical Record*. 269. vol. 2. no. p. 81-8. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ar.10076/pdf>. Letöltés ideje: 2014.08.03.

- RÉV L. Z. 2006: A kutya mellúri szerveinek 3D-s ábrázolása. *TDK dolgozat*. Budapest, SzIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék.
- RUDAS P. 1999: P. Sótonyi: Anatomia Canis CD ROM I-II. *Magyar Állatorvosok Lapja*. 121 vol. p. 539-539.
- SÓTONYI P. 1999: Anatomia Canis I.-II., Székesfehérvár, Kisállatklinika Kft.
- SUI, H.J. and HENRY, R. W. 2007: Polyester plastination of Biological tissue: Hoeffen P45 technique *Journal of the International Society for Plastination* 22. vol. p. 78-81. URL: http://journal.plastination.org/archive/jp_vol.22/jp_vol.22_78-81.pdf. Letöltés ideje: 2014.10.10.
- TÓTH F. 2000: A ló mellső lábvégének keresztmetszeti és CT anatómiája. *TDK dolgozat*, Budapest, SzIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék
- TRELEASE, R. B., NIEDER, G. L., DØRUP, J., HANSEN, M. S. 2000: Going virtual with quicktime VR: New methods and standardized tools for interactive dynamic visualization of anatomical structures. *The Anatomical Record (New Anat.)* 261. vol. p. 64–77
- VALDECASAS, AG., CORREAS, AM., GUERRERO, CR., JUEZ, J. 2009: Understanding complex systems: lessons from Auzoux's and von Hagens's anatomical models. *Journal of Biosciences*. 34. Vol. 4. Issue p. 835. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20093736>. Letöltés ideje: 2014.10.28.
- VASS, A. 2002: Keresztmetszeti anatómiai, CT és MRI vizsgálatok sertés mellkasban, *TDK dolgozat*, Budapest, SzIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék
- ZHU L., GAO Y., APPIA V., YEZZI A., AREPALLI C., FABER T., STILLMAN A., TANNENBAUM A. 2013: Automatic Delineation of the Myocardial Wall from CT Images via Shape Segmentation and Variational Region Growing. *IEEE Trans Biomed Eng.* 60. vol. 10. no. p. 2887-95. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23744658>. Letöltés ideje: 2014.06.22.
- ZHU L., GAO Y., YEZZI A., MACLEOD R., CATES J., TANNENBAUM A. 2012: Automatic Segmentation of the Left Atrium from MRI Images using Salient Feature and Contour Evolution. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012. p. 3211-4.

9. Köszönetnyilvánítás

Nagyon köszönöm témavezetőmnek, dr Reinitz László Zoltánnak, hogy tapasztalataival, tudásával az egész munkafolyamat során maximálisan támogatott, lelkiismeretes hozzáállásával és segítőkész tanácsaival mindig mellettem állt. Külön köszönet illeti a renget türelemért, mellyel irántam viseltetett.

Hálával tartozom az Anatómiai és Szövettani Tanszéknek, hogy rendelkezésemre bocsátotta a vizsgálat alanyául szolgáló kutyahullát, készséges segítséget nyújtott a házi könyvtár használatában, és az egyes munkafolyamatokhoz biztosította számomra tárgyi feltételeket. Külön köszönöm Dr. Sótonyi Péter Tanszékvezető Úrnak a munkám kezdetén rám fordított figyelmét, és támogatását témaötletemmel kapcsolatban. Mind professzor úr, mind témavezetőm kiváló példával jártak előttem, az elhivatottságban, a kitartó munkavégzésben, és a szakma iránt viseltetett alázatban.

Köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszékének hogy engedélyezte a hallgatói műhely szalagfűrészének használatát, és Tóth Miklósnak, hogy segítette a szeletelés folyamatát a fűrész technikai kezelésével.

Kovács Tibor docens úr segítségével is köszönettel tartozom, amiért a vonatkozó irodalom mellett, segített eligazodni a 3ds Max 2015 használatában. Valamint meg kell említenem Glázer Ádám formatervező készségességét, amellyel bevezetett a program alapfogásaiba.

A képalkotó eszközökkel való felvételkészítés elengedhetetlen fázisa volt a folyamatnak. Ez úton is köszönöm Prof. Dr. Repa Imre, a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetének vezetőjének, hogy engedélyezte a vizsgálat elvégzését, és Szabó András MRI asszisztensnek, aki az MRI készülék beállításában segédkezett. Szintén hálával tartozom dr. Cséby Péter, valamint a Sebészeti és Szemészeti Tanszék és Klinika szívességéért, a CT képek készséges elkészítése kapcsán.

Végül szeretném megköszönni családomnak, és barátaimnak a biztatásukat és támogatásukat, amellyel töretlenül segítették munkámat.