

SZENT ISTVÁN EGYETEM  
ÁLLATORVOS-TUDOMÁNYI KAR  
Anatómiai és Szövetani Tanszék

**A kutya elülső végtag csontvázának  
és artériás rendszerének 3D-s modellje**

**Készítette:**

Zankó Bianka

**Témavezető:**

Dr. Reinitz László Zoltán  
SZIE-ÁOTK, tanszéki állatorvos

Dr. Kovács Tibor  
BME, egyetemi docens

Budapest  
2015

---

# TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS és CÉLKITŰZÉSEK.....	3
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	4
2.1.	A kutya mellső végtagjának anatómiája .....	4
2.1.1.	A kutya mellső lábának csontozata.....	4
2.1.2.	A kutya mellső lábának vérellátása .....	6
2.2.	A lézer szkennerek leírása .....	8
2.3.	Számítógépes modellkészítés .....	9
2.3.1.	Általános elvek .....	9
2.3.2.	Anatómiai 3D megjelenítés .....	10
2.4.	3D Slicer.....	13
2.5.	Meshlab .....	14
2.6.	A 3D Studio Max .....	15
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	16
3.1.	A végtag csontrendszerének modellezése.....	16
3.1.1.	A carpustól proximalisan található csontok leképezése .....	16
3.1.2.	A carpustól distalisan található csontok leképezése .....	20
3.1.3.	A csontok összeillesztése.....	21
3.2.	A végtag érrendszerének modellezése.....	21
3.2.1.	A végtag előkészítése .....	21
3.2.2.	A végtag Computer Tomograph-os vizsgálata .....	22
3.2.3.	A háromdimenziós modell készítése .....	22
3.3.	A végtag teljes 3D modelljének összeillesztése .....	22
4.	EREDMÉNYEK.....	24
5.	MEGBESZÉLÉS .....	29
6.	ÖSSZEFOGLALÁS .....	32
7.	ANGOLNYELVŰ CÍM ÉS RÖVID ÖSSZEFOGLALÁS.....	33
8.	IRODALOMJEGYZÉK .....	34
9.	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS.....	37

# 1. BEVEZETÉS és CÉLKITŰZÉSEK

Az anatómia tárgyának oktatásában legfontosabb feladat a különböző képletek és azok egymáshoz képesti helyzetének szemléltetése, hogy az elméleti tudást elsajátítók a gyakorlatban is biztosan alkalmazhassák a tanultakat. Ennek ismeretében nagyon nagy szerepe van a boncteremben végzett gyakorlatoknak, azonban fontos, hogy a diákok számára olyan tanulási segédeszközök is rendelkezésre álljanak, melyekkel a képletek közti térbeni tájékozódás akár otthon a tankönyvek mellett is megvalósítható. Az anatómiában még a mai napig is az oktatás legelterjedtebb módja a képleteknek a kétdimenziós ábrázolása. Ezek azonban nagyon nehezen értelmezhetőek a tanulók számára, hiszen a valóságban háromdimenziós szervrendszerekről beszélünk. Manapság már olyan technika áll a rendelkezésünkre, személyi számítógépeken vagy mobil eszközön futtatható programok, alkalmazások formájában, melyekkel egyszerűen megjeleníthetőek és manipulálhatóak a háromdimenziós modellek. Több tanulmány is készült, melyek eredményei azt igazolják, hogy a gyakorlati, szemléltető oktatást előtérbe kell helyezni az elméletivel szemben (Kolossváry & Székely, 2013; Bernigau, 2015). A jelenleg is rendelkezésre álló képalkotó eljárások képesek a könyvek illusztrációinál sokkal kézzelfoghatóbban megjeleníteni a háromdimenziós struktúrákat.

Az elmúlt évtizedekben több olyan munka is napvilágot látott, amelyek ennek szellemében anatómiaoktatási célzattal egyes szerveket vagy szervrendszereket jelenítettek meg. Ezek mindegyike küszködik valamilyen hiányossággal, a felbontás, az anatómiai részletesség, a szervek üregrendszerének bemutatása vagy a különböző szövetekből álló szervrendszerek ábrázolása terén. (Lénárt, 2003; BIOSPHERA, 2015; Nautrup et al., 2014; Prevics et al., 2015), de egyik se felel meg maradéktalanul az állatorvos-képzés követelményeinek.

Ennek a tanulmánynak a célja, hogy egy olyan realiztikus modellt mutasson be a kutya mellső végtagjának csontvázáról és artériás rendszeréről, melyen minden ábrázolt képlet teljes mértékben megfelel a valóságnak, hiszen alapjául egy korábban létező állat testrészeit használtuk fel. A tervezett modellt az anatómia gyakorlati oktatásában és szemléltetésében felhasználható formában kívántuk elkészíteni. Mindehhez olyan alacsony költségű módszer kifejlesztése volt a célunk, mellyel sok más régió és szervrendszer is valóságban ábrázolhatóvá válik, nem csupán a végtag felépítése.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. A kutya mellső végtagjának anatómiája

A következő fejezetekben összefoglalt anatómiai leírást Evans és de Lahunta anatómia atlasza (Evans & De Lahunta, 2009), valamint további anatómia könyvek leírásai (Nickel et al., 1981; König & Liebich, 2009) alapján készítettük. A teljes és részletes anatómiai magyarázat helyett a jelen tanulmány szempontjából legfontosabb képleteket emeltük ki, az egységes Állatorvosi Anatómiai Nevezéktan használatával (Constantinescu & Schaller, 2011).

#### 2.1.1. A kutya mellső lábának csontozata

A kutya mellső lábának háromdimenziós modelljéhez nélkülözhetetlen alap a mellső végtag csontos váza. A csontok főleg az izmok eredéséhez és tapadásához adnak megfelelő felszín, de az erek lefutásának irányát is befolyásolják. Anatómiai szempontból nagyon fontos a csontok pontos leírása és az egyes képletek elhelyezkedése, egymáshoz való viszonya. Jelen modell megalkotásánál csak bizonyos struktúrákra kellett hangsúlyt fektetnünk az erek helyzete vagy a modellezés technikai sajátosságai miatt. Ezen képletek pontos ábrázolása biztosítja a többi csontos képlet megjelenítését is.

A vállövből magmaradt egyetlen csont, a lapocka (*scapula*) legjellegzetesebb képlete, a *spina scapulae*, melynek distalisan kicsúcsosodó végén az *acromion* és rajta a *processus hamatus* található. A scapula distalis végétől eltekintve egyszerű felületekkel és éllel rendelkezik. A karcsonnal érintkező felszín, az *angulus ventralis* összetettebb, itt található a homorú ízületi felület, a *cavitas glenoidale*. További, a síkból kiemelkedő képletek is találhatóak a *cavitas glenoidale* körül, mint a *tuberculum supra-, et infraglenoidale* valamint a *processus coracoideus*. A következő kapcsolódó csont a karcson (humerus), proximalis végén található a *caput humerale*, mely megfelel a lapocka distalis végződésének, a *cavitas glenoidale* mint egy inverz felületként. A karcson feje egy domború képletként emelkedik ki, azonban az őt övező *tuberculum major et minor* sáncszerűen magasodnak mellette, és formájuk miatt árnyékos területeket hoznak létre a fejen. A csonton további jól elkülönülő képletek jelennek meg: a lateralis oldalon futó, *tuberculum majortól* induló *linea m. tricipitis* és annak végződése, a *tuberositas deltoidea*, medialisán pedig a *tuberositas teres major*. A csont distalis végének jellegzetességét a könyökcsonthoz (*ulna*) illeszkedő caudalis

felszín adja. Itt található a *fossa olecrani* és az azt a cranialis felszínnel, a *fossa radialissal* összekötő *foramen supratrochlearis*. A karcsonat distalis végén található ízületi felszín, a *trochlea* kapcsolódik össze az orsócsonttal (*radius*). A radius fején található ízületi felszín a *fovea capitis radii*. A csont proximalisan található ízületi felszíne, mely az ulnával kapcsolódik, a *circumferentia articularis radii*. A radius és a humerus kapcsolódása és a radius és ulna kapcsolódása alkotja együtt a könyökízületet (*articulatio cubiti*). A csont dorsomedialis felszínén található jellegzetes kiemelkedés a *tuberositas radii*. A csont distalis végén található trochlea a kéztőcsontokkal érintkező ízületi felszínből, a *facies articularis carpeaból*, a medialis részen található *processus styloideus radiiból* és a lateralis részen fellelhető *incisura ulnaris radiiból* áll össze. A radius két caudalisan található ízületi felszínéhez kapcsolódik az ulna. A csont dorsalis irányba kiemelkedő képlete az *olecranon*, melynek caudalis részén található a könyökbúb, a *tuber olecrani*. Az olecranon cranialis, humerussal érintkező részét az *incisura trochlearis* alkotja. Ez a képlet proximalis irányban egy jellegzetes kiemelkedésben végződik, a *processus anconeusban*, amely a humeruson található fossa olecraniba illeszkedik a végtag nyújtott helyzetében. A radiussal érintkező ízületi felszínét, az *incisura radialist* két csontkiemelkedés határolja, melyeket lateralis és medialis *processus coronoideusoknak* nevezünk. A csont a distalis területén is ízesül a radiussal, és a *processus styloideus ulnaeban* végződik.

A végtag további, distalisan eső területét a kéztő-, kézközépcsontok és az ujjak alkotják. A kéztő (*carpus*) területét két csontsor alkotja. A proximalis csontsorban helyezkedik el az *os intermedioradiale*, az *os carpi ulnare* és az *os carpi accessorium*. A distalis sort négy carpalis csont alkotja (*os carpale I-IV*), melyek medialis irányból a lateralis felé méretben növekednek. Ezekről distalisan található az öt kézközépcsont (*os metacarpalia I-V*), melyek közül az első fele olyan hosszú, mint a többi. Distalis végeiken szalagdudorokkal rendelkeznek az inak tapadásához. A kéztőtől distalisan helyezkedik el az öt ujj (*ossa digitorum manus*), az első kivételével mindegyik három ujjpercből (*phalanx*) áll össze. Ezek közül a *phalanx distalis* sajátos felépítésű, és a kutyáknál a karom alapjaként szolgál a horog alakú karomcsont (*os unguiculare*). A metacarpalis csontok és az ujjpercek közti ízületeknél a palmaris oldalon két-két szezámcsontot is találunk.

### 2.1.2. A kutya mellső lábának vérellátása

A végtagokat ellátó fő ér, az *a. subclavia*, melyek közül a bal végtaghoz térő külön érként lép ki az aortából, a jobb végtaghoz térő pedig az *a. brachiocephalicusból* ered. Az *a. subclavia* mellkasból kilépő és a végtag felé tartó szakasza az *a. axillaris*. Jelen tanulmányban az erek megjelenítését az *a. axillaris* végső szakaszával kezdtük, így az ettől proximalisabban fekvő erek összefoglalásától eltekintünk.

Az *a. axillaris* négy főbb eret ad, melyek közül az *a. thoracica externa* és az *a. thoracica lateralis* a mellkas lateralis, ventralis tájékát és a szügyizmokat látja el, az *a. subscapularis* pedig a lapocka tájékot. Az *a. subscapularis* caudodorsalis irányba halad a *m. subscapularis* és a *m. teres major* között, közben ágaival ellátja a lapockán tapadó izmokat. Az *a. thoracodorsalis* az *a. subscapularis*nak a kezdeti szakaszán lép ki, caudodorsalis irányban, közel a főér eredéséhez. A *m. teres major* és a *m. latissimus dorsi* látja el. Az *a. circumflexa humeri caudalis* az előző érrel szemben hagyja el az *a. subscapularis*-t, és lateralis irányból megkerüli a humerus nyakát a *m. teres major* iná alatt. Az ér a váll izmait, a vállízület tokját és az ízület alkotásában résztvevő csontokat látja el. Belőle kilépő ér az *a. collateralis radialis*, mely részt vesz a könyökízület mögötti érhálózat, a *rete cubiti* létrehozásában.

A végtag fő ere, mint *a. brachialis* halad tovább az *a. subscapularis* kilépése után. Distalisan folytatja útját a humerus medialis oldalán, a *sulcus brachialisban*, míg eléri a könyökízület craniomedialis felszínét majd az ízület alatt leadja az *a. interossea communis*-t, innen *a. medianaként* halad tovább. Főbb ágai az *a. circumflexa humeri cranialis*<sup>1</sup>, az *a. profunda brachii*, az *a. bicipitalis*, az *a. collateralis ulnaris*, az *a. brachialis superficialis*, az *a. transversa cubiti* és az *a. interossea communis*. Az első ér, az *a. circumflexa humeri cranialis*, kilépését követően cranialisan halad, medialis oldalról kerüli meg a karcsont nyakát és anasztomozál az *a. circumflexa humeri caudalis*sal. Az *a. profunda brachii* a *m. triceps brachii*hoz tér, az *a. bicipitalis* pedig a *m. biceps brachii*hoz. Az *a. collateralis ulnaris* és az *a. brachialis superficialis* a könyök felé haladva az alkar caudalis és cranialis területeinek ellátásában vesznek részt. Az *a. brachialis superficialis* egy rövid értörzs, amely a könyökízület dorsalis felszínére tér, egy medialis és egy lateralis ágra oszlik és distalis irányba haladva az ujjak vérellátását adja. Az *a. transversa cubiti* distalis irányba halad a *m.*

---

<sup>1</sup> Ezt az artériát egyes könyvek az *a. axillaris* ágaként jelölik (Nickel et al., 1981).

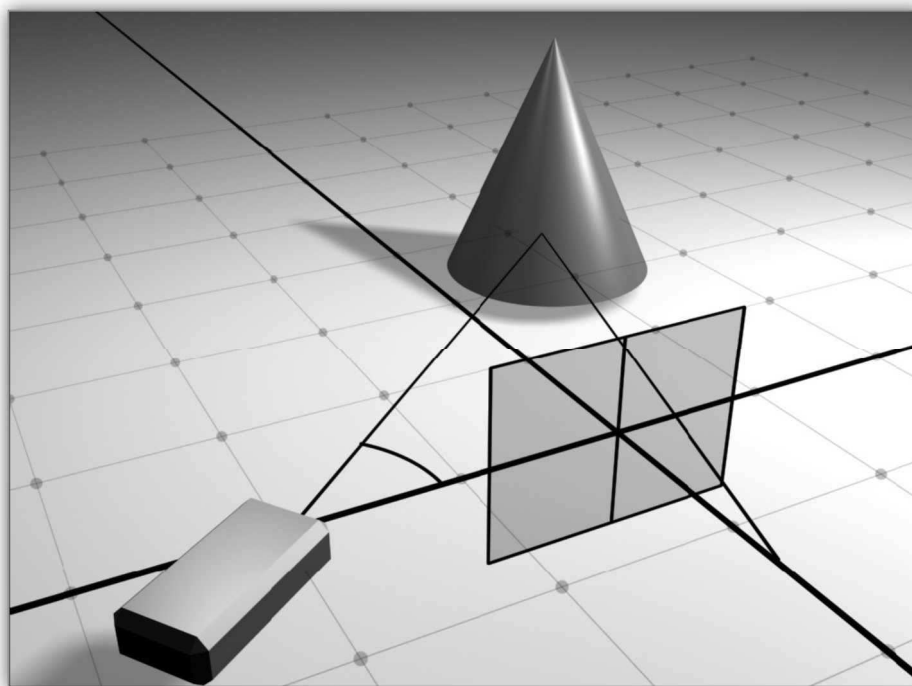
*extensor carpi radialis*, hogy ellássa az izmot és a könyökízületet. Ezen a szakaszon az a. brachialis a könyökízület medialis oldalán halad, a csonthoz közel, a *m. pronator teres* alatt. Az a. interossea communis utolsó kilépő érként hagyja el az a. brachialist és tér az alkar csontjai közé a *m. pronator quadratus* alá. Ennek az érnek az ágai (*a. ulnaris*, *a. interossea caudalis et cranialis*) a carpus és az ujjak vérellátásában vesznek részt.

Az a. brachialis az a. interossea communis kilépése után, mint **a. mediana** folytatódik. Főbb erei, amelyek az alkar felső harmadában erednek belőle, az *a. profunda antebrachii* és az *a. radialis*. Az a. profunda antebrachii a palmaris oldalon lép ki a fő érből és caudodistalis irányba halad, hogy ellássa az ujjhajlító izmokat és a *m. flexor carpi ulnarist*. Az a. radialis cranialisan lép ki az a. medianából és distalisan halad. A carpalis régióban két ágra oszlik, egy *r. carpeus dorsalisra* és egy *r. carpeus palmarisra*. A r. carpeus dorsalis az a. interossea caudalis dorsalisán térő ágaival együtt alkotja a *rete carpi dorsalet*. Az alkar mediopalmaris oldalán haladó r. carpeus palmaris a lateropalmaris oldalán haladó a. interossea caudalissal a mély ujjhajlító izom alatt az *arcus palmaris profundust*, a mély és a felületes ujjhajlító izmok között pedig az *arcus palmaris superficialist* hozza létre. Utóbbiba tér bele az a. mediana is.

Az ujjak területén az ereket dorsalis és palmaris csoportra oszthatjuk. A dorsalis oldalon a rete carpi dorsaleből erednek az *aa. metacarpeae dorsalia I-IV.* erek. Az *aa. digitales dorsales communis I-IV.* erek az a. brachialis superficialis medialis (I.) és lateralis (II.-IV.) ágaiából származnak. A palmaris oldalon az *aa. metacarpeae palmares I-IV.* az *arcus palmaris profundusból*, míg az *aa. digitales palmares communis I-IV.* erek az *arcus palmaris superficialisból* származnak. A dorsalis és palmaris oldalon is felsorolt *aa. digitales communis* erek mindig kapnak erősítő ágakat a nekik megfelelő *aa. metacarpeae* ágaktól.

## 2.2.A lézer szkennerek leírása

A 3D lézerszkennerek az ipari tervezésben, a játékparban és az orvosi kutatásokban elterjedt berendezés, mellyel különböző tárgyakat és testrészeket digitalizálnak a pontos 3D megjelenítéshez. A szkennerek működése a trianguláció elvét veszi alapul. Ez az elv talán a legrégebbi távolság meghatározó eljárás, melynek alapja a szinusz-tétel. Sok tudományos területen elterjedt ez a módszer, ahol távmérőket kellett alkalmazni, de egyes fényképezőgépekben is ezt használják. Alapelve az, hogy egy bázisvonal két végéről tekintünk a vizsgált tárgyra, a két látványból pedig geometriai törvényszerűségek alapján meghatározható a tárgy egyes részleteinek a pontos térbeli elhelyezkedése. Jelen esetben az egyik „megfigyelő pontot” egy fényforrással helyettesítjük, ezzel jelezhetjük a detektor felé, hogy éppen melyik pont, illetve milyen ponthalmaz távolságát mérjük. A kisugárzott lézernyaláb tárgyra vetült képét a tárgy mozgása közben folyamatosan veszi a kamera, a pontösszerendelés tehát automatikusan megvalósul. Ezen eljárást hívjuk aktív triangulációs módszernek, és az elve az, hogy egy fényforrás ismert vetítési jellemzőit a mérendő felület torzítja (**1. ábra**). A torzult ábrát egy kamerával megfigyelve következtethetünk a felület geometriájára. A vetített fény különféle módokon strukturálható.



**1. ábra:** A trianguláció.



Felhasználása igen elterjedt az orvosi kutatások terén is. Bucholz agysebészeti kutatásaihoz használt egy Pixsys Firefly elektro-optikai 3D digitalizálót. Ezt a berendezést úgy alakították át, hogy a műtét közben az orvos tevékenységét, illetve a vizsgált részleteket szakértők vagy orvostanhallgatók egy 3D modellen kísérhetik figyelemmel (Wohlers, 1992). Szintén elterjedt a 3D szkennerek alkalmazása a csontprotézisek terén is, ahol fontos, hogy minél pontosabb, egyénre alakított protéziseket készítsenek. De találkozhatunk ezzel a technikával a hallókészülékek gyártásánál is. Az egyik ezzel foglalkozó vállalat a készülékek házainak minél diszkrétebb, személyre szabottabb kialakításához hívta segítségül a Digiborics cég Digibot nevű rendszerét (Oliveira et al., 2005).

## **2.3.Számítógépes modellkészítés**

### **2.3.1. Általános elvek**

Háromdimenziós modellek használata széles körben elterjedt a világon. Korábban az elkészítésük nagy szaktudást igényelt, ám mára a számítástechnika fejlődésével és a felhasználóbaráttá vált szoftverek megjelenésével mindenki számára lehetséges. Manapság mind az orvostudomány, a filmipar, a videójáték-ipar és az építőipar számára nagy segítség a 3D modellezés lehetősége.

A számítógépes modellezések során a számítógép matematikai adatok alapján készíti el a háromdimenziós modellt a tárgyakról. A kész modellek a gyakorlatban felhasználhatóak szemléltető eszközként, amelyekkel további fizikai jelenségeket lehet szimulálni. Ezen felül a róluk készített látványtervek, animációk vagy fényképek egy realisztikus képet adhatnak a közönség számára. A felsoroltakat egyes számítógépes szoftverek is generálhatják automatikusan, de készíthetők manuálisan is.

A modellek két csoportba sorolhatóak: tömör vagy héjmodellek. A tömör modellek az objektum tömegét is képesek ábrázolni, ezáltal realisztikusabbak. Főleg mechanikai tervezésekben, és az orvostudomány területén egyes jelenségek szimulációjához használják őket. Általánosságban az objektumokat a külső megjelenésük jellemzi, így leggyakrabban a héjmodelleket használják, melyek csak az objektumok felületét mutatják be. Ezekkel a modellekkel sokkal könnyebb dolgozni, ezért a filmiparban és a számítógépes játékok karaktereinél használják ezeket. Alapjaik a ténylegesen kétdimenziós kiterjedésű alakzatok, melyeket apró digitális elemekké egyszerűsítanak. Így épül fel a leggyakrabban használt

poligonháló, ezenkívül a pontalapú ábrázolás és a szinthalmazok módszere is, mellyel a folyadékok változatos felszíne is életre kelthető (Kelly, 2005).

A modellek elkészítése több módon is lehetséges, ezek közül a négy legfontosabbat említjük. Első a primitív-modellezés, amely egyszerű alakzatokat vesz alapul, mint a gömbök, hengerek, kúpok és ezekből épít fel bonyolultabbakat. Organikus modellezésre kevésbé alkalmazható, de használata egyszerű, méretei pedig pontosak. A második és egyben legnépszerűbb módszer a poligonmodellezés. Ennek során a pontok egy háromdimenziós térben helyezkednek el és szakaszok segítségével vannak összekötve egymással, mely egy poligonhálót eredményez. Nagy előnye, hogy a számítógépek könnyedén kezelik őket és felületükre bármilyen textúra<sup>2</sup> megtervezhető. Egy további modellezési technika a NURBS modellezés. A NURBS felületeit spline<sup>3</sup> függvények görbéi határozzák meg. Ezek használata és szerkeszthetősége egyszerű, és könnyen illeszthetőek. Pontosságuk miatt a bonyolultabb, összetettebb formák is kivitelezhetőek velük. Felületük teljesen sima, így kiválóan alkalmasak az organikus modellek elkészítéséhez is. Emellett létezik a Splines and Patches modellezés is, mely a NURBS-höz hasonlóan működik, használhatóságát tekintve a poligonmodellezés és a NURBS közé esik (Derakhshani, 2009).

### **2.3.2. Anatómiai 3D megjelenítés**

A szemléltető oktatási segédanyagok létrehozása nem számít újdonságnak az anatómiaoktatás terén. Már jóval a napjainkban készített modellek előtt is alkottak a tanulást és a praktizálást könnyítő grafikus segédprogramokat Magyarországon is, többek között az Anatómiai és Szövetani Tanszék munkatársai. Ilyen például az AwA (Anatomy with Apple) alkalmazás, mely a sokrétű használhatóság céljából mind az állati, mind az emberi test anatómiájának megértésében segít (Hajós & Szalay, 1992). A következő, a diákok körében jelenleg is igen közkedvelt és bárki számára beszerezhető CD-ROM formájú interaktív programot Sótonyi készítette el. A CD-ROM többórnyi videó anyaggal szolgál segédletként a kutyák anatómiai preparálásához (Sótonyi, 1999). Ezek a tanulmányok nagyon részletesek és szemléletesek, ám mégsem engednek szabad teret a felhasználónak, hogy különböző síkokban, irányokban, rétegekben tájékozódjon a képletek között.

---

<sup>2</sup> Textúra: A textúra egy egyszerű 2D kép, aminek a mérete változó, így egy 3D objektum felületének szimulálására használható.

<sup>3</sup> Spline: szakaszosan parametrikus polinomokkal leírt görbe.

Ennek a problémának a megoldására létrehozott első technika a QuickTime Virtual Reality (QTVR) volt, melyet az Apple Inc. fejlesztett ki a QuickTime programhoz. A QTVR egy képfájl formátum, melyet több szögből készült képek összeillesztésével nyernek egy adott tárgyról vagy helyről, mely eredményeképpen az teljesen feltérképezhető és egy 3D hatású látványtervet ad (Trelease et al., 2000). Ilyen ismert, QTVR technikával készült nagy sikert aratott alkalmazás volt a „Glasshorse”. A program nem csak látványterveket tartalmazott, hanem egyes klinikai esetek különböző animációját is elkészítették a 3D modellek alapján (Moore, 2008). Ezzel az új technikával olyan, laikusok számára is kezelhető alkalmazások hozhatóak létre, melyekben ezek a 3D alakzatok szabadon manipulálhatóak. Ezzel a QTVR technikával ma már igen látványos és részlet gazdag anatómiai szimulációk készíthetőek, de kezdetben főleg a különböző szövetféleségekből készült mikroszkópos metszetek feldolgozására használták. Legnagyobb előnye, hogy a felhasználó szabadon mozoghat a képletek között, a testek forgathatóak, körbejárhatóak, mozgathatóak, kicsinyíthetőek vagy nagyíthatóak (Trelease et al., 2000).

Ezek a programok sok helyen a diákok számára is elérhetőek és sokkal érthetőbben, kézzelfoghatóbban ábrázolják az anatómiai struktúrákat, mint az atlaszok és tankönyvek. Egy példa erre a daytoni egyetem munkatárai által megalkotott emberkoponya-tanulmány, mely „Yorick- the VR skull” néven ismert. Ennek keretében a koponya egyes csontjait külön képezték le és hozzáadták egy már létező oktatóprogramhoz (Nieder et al., 2000). Az Állatorvos-tudományi Karon is volt példa a QTVR technika ilyen irányú használatára, 2003-ban Lénárt dolgozta fel digitálisan az Anatómia Múzeum gyűjteményében található koponyacsontokat (Lénárt, 2003).

További magyar fejlesztésű munka a „4D Anatomy”, mely a boncolás megértésében segíti az orvostanhallgatókat. Ez a program szintén egy képsorozatból létrehozott animáció, melynek elkészítéséhez egy 5%-os formalinban fixált preparátumot használtak. Az eredmény szimulálja a fej-nyak régió preparálását. A képek elkészítéséhez egy speciális félgömb alakú pályán rögzített kamerát használtak, ezzel gyakorlatilag „térskennelést” végeztek. Az elkészült képeket tovább szerkesztették, hogy azok megfelelő térhatás illúzióját keltsék. A program sokban hasonlít a QTVR technikával előállított alkalmazásokhoz, de itt újdonságnak számít, hogy nem csak a modell külsejére van rálátásunk, hanem a felszín alatt található struktúrák is megtekinthetőek, ezért is nevezték el 4D-nek (Molnár et al., 2013). Ez annak köszönhető, hogy az egyes szervrendszerek és

testrészek preparálásának teljes folyamatát rögzítette a kamera több szögből is, így összességében egy rendkívül sokrétű és manipulálható modellt mutat be a 4D Anatomy. Nagy előnye a programnak az egyszerűbb modellekkel szemben, hogy mivel a valóságos testet és szerveket rögzítette a kamera, így az egész tartalom teljes mértékben realiztikus. Ennek a módszernek a hátránya viszont, hogy a boncolás több száz órát vett igénybe a pontos kivitelezés és felvétel miatt. A program rendkívüli újjátsnak számít mind a magyar anatómiaoktatásban, mind világviszonylatban.

A további fejlesztések közül említést érdemelnek a brazil Biosphera cég által készített Android és IOS alkalmazások (BIOSPHERA, 2015.). Ezek az interaktív programok különböző állatok anatómiai felépítését jelenítik meg. Az állat modellek egy csontos vázból épülnek fel, melyen több réteg izom, szalagok, erek, idegek jeleníthetők meg valóságos helyzetükben. Ezenkívül a belső szervrendszerek (emésztő-, kiválasztó-, reprodukciós-, légző- és keringési rendszer) is láttathatóak a testben. Az alkalmazások állatfajtól függően külön-külön letölthetőek. Jelenleg ló, marha, kutya, macska, patkány, madár és béka érhető el a cég honlapján. Ami a programok hátrányának tekinthető, hogy a megjeleníthető képletek felbontása és minősége rossz, a struktúrák, mint egy külső köpenyként jelennek meg a testen. A csontok felismerhetőek, de a rajtuk található képletek már nem részletesek. Az erek ábrázolásánál csak a fő ágak jelennek meg és azok se teljes hosszúságukban. Ezek a modellek csak az alapvető anatómiai tájékozódásra használhatóak, de állatorvosi anatómiaoktatásra már nem.

A fotó és videó alapú modellkészítési technikákon kívül nagy szerepük van az egyéb képalkotási eljárásokat használó módszereknek is. Ezek a rekonstrukciós technikák<sup>4</sup> komputer tomográfiás, ultrahangos vagy MRI készülékkel nyert képekkel dolgoznak. A több száz vagy több ezer nyers felvétélből megfelelő szoftver segítségével készülnek el a kész vagy félkész modellek. Ilyen népszerű rekonstrukció szoftver a 3D Slicer és az Amira. A program számára manuálisan is megadhatóak a nyomon követni kívánt képletek, melyeket az egymás után következő képeken beazonosít, szeletenként sorba rendez és egy egységes struktúrát hoz létre. Ha a felhasználó nem az egészre kíváncsi, csupán egy-egy kijelölt képletre, a program képes felismerni és társítani az egymáshoz tartozó pontokat vagy pontthalmazokat, és végig követni őket az összes képen (FEI, 2012.).

---

<sup>4</sup> Rekonstrukció: valódi állatok testrészeinek, szerveinek leképezése különböző képalkotó eljárásokkal, és az alapján egy valóságos modell létrehozása kézzelfogható vagy digitális formában.

A rekonstrukciós technikával készült modelleken pontos mérések végezhetőek (Reinitz et al., 2013), valamint anatómiaoktatási segédanyagként is felhasználhatóak (Bilger et al., 2013; Prevics et al., 2015). Ezeknél a munkáknál mindig csak egy adott szervet vagy szövettípust ábrázoltak, a különböző szervek egymáshoz való viszonya nem került bemutatásra. A technika alkalmas többféle szövet elkülönítésére is, akár egy testről készült különböző képsorozatok (pl.: CT és MRI) egyesítésével is (füziós technika). A módszer előnye, hogy élő állaton is elvégezhető, felbontását viszont a képalkotó berendezés által alkotott szeletek vastagsága limitálja.

Bár szintén rekonstrukciós technika, de más megközelítést használ a kriomakrotomizálás nevű eljárás. Ennek lényege, hogy a kipreparált szerveket, vagy akár az egész testet mélyfagyasztják és ipari marógéppel vékony felületi rétegeket marnak le róluk, akár 50 mikronos lépésekben. Az egyes lépések után készülnek a felvételek a felületről, amiket utána szoftveresen dolgoznak fel. Az egymás mögé rendezett felvételekből a rekonstrukciós modelleknél alkalmazott szoftverekkel és technikákkal készíthetőek el a modellek. Ezek rendkívül nagy felbontásúak, ezért kiválóan alkalmasak 3D atlaszok elkészítésére és a finomstruktúrák ábrázolására is. A folyamat viszont nagyon magas költségigényű, és csak elhullott állatokon hajtható végre (Czeibert et al., 2014).

## 2.4. 3D Slicer

A 3D Slicer program egy szegmentációs elemző szoftver, mely képes mérések készítésére és adatok értékelésére olyan képsorozatok alapján, melyeket valamilyen képalkotó eljárással készítettek (Fedorov, 2012). A szoftver fejlesztését 2001-ben kezdték el a massachusettsi Brigham and Women's Hospitalban. A program többféle verziója is letölthető a szoftver hivatalos oldaláról, mindegyik ingyen használható kutatási célra. Klinikai gyakorlatban egyelőre még csak engedéllyel vehető igénybe, de tudományos mérésekben széleskörben elterjedt.

Leggyakrabban a központi idegrendszerre vonatkoztatott méréseket végezzük vele. Az ilyen mérésekkel nem csak számadatokat nyernek, de különböző anomáliákra is lehet belőlük következtetni, vagy idegrendszeri elváltozásoknál az agy struktúrabeli eltéréseit összehasonlítani. Olyan kisebb agyi területek is vizsgálhatóak vele, mint az *amygdala*, a *nucleus caudatus* és *bulbus olfactorius* (Capitão et al., 2011; Koo et al., 2006; Nguyen et al., 2011). További tanulmányok és vizsgálatok születtek a program használatával a klinikai

gyakorlat terén is. Ezekben, mint agysebészeti műtétek során tervezési eszközként vették igénybe (Talos et al., 2007), vagy annak felderítésére használták, hogy például agyvérzést vagy más súlyos traumát szenvedett egyéneknél milyen mértékű lehet a területek károsodása (Irimia et al., 2011; Strik et al., 2005). Az idegrendszeri méréseken kívül más szervrendszerek vizsgálatára is használható, úgy, mint a női medencefenék vizsgálatára (Luo et al., 2011) vagy reumatológiai elváltozásokban (Brem et al., 2007).

A programban a képsorozatok betöltése után kijelölhetőek a mérni kívánt területek. Ezeket megtehetjük teljesen manuálisan is, és a program beállításai segítségével, félautomata módszerrel. Általában a tudományos mérésekhez nem használják a program önálló, automata kijelöléseit, hiszen a pontos értékek megszerzéséhez a meghatározni kívánt terület határait precízen kell kijelölni. Ezt a módszert csupán egy tüdődagyanatokról készült tanulmányban használták (Revannasiddaiah et al., 2013). A 3D Slicer az adatelemzésen klinikai felvételek értékelésére is igénybe vehető, akár ultrahang-vizsgálat közben vagy olyan mozgóképes vizsgálatok szimulálhatóak vele statikus képek alapján, mint például egy endoszkópé (Nakajima et al., 2007).

Állatorvosi területen is készültek publikációk a 3D Slicer ilyen célú használatáról, bár jóval kevesebb kísérletet végeztek, mint a humán vonalon. Leginkább különböző majmok központi idegrendszeri tulajdonságainak a vizsgálatára vették igénybe, hogy ez alapján az agyterületekről anatómiai leírásokat készíthessenek (Fedorov et al., 2011; Wisco et al., 2008) vagy a főbb idegpályákat tudják modellezni (Dauguet et al., 2006). De nem csak főemlősökön próbálták kivitelezni a méréseket, hanem sertések szívizomzatán végzett CT angiográfiás kísérletekben is igénybe vették a 3D Slicert (Zhu et al., 2011).

## **2.5. Meshlab**

A Meshlab szoftver olyan nagyméretű háromdimenziós háromszög-rácsok feldolgozására fejlesztették ki, melyeket más programmal csak nehezen kezelhetne a felhasználó. A program lehetővé teszi az automatikus és a felhasználóbarát szerkesztést, nagyfelbontású és bonyolult ponthálók letisztázását, konvertálását számos formátumba. A szoftvert az Instrumental Software Technologies, Inc. (ISTI) laborjában készítette egy szoftverfejlesztő csoport, de több egyetemi diák is részt vett benne. A program további pluginokkal bővíthető (ISTI-CNR, 2005).

## 2.6. A 3D Studio Max

Az 3Ds Max egy háromdimenziós modellek, animációk és képek készítésére alkalmas látványtervező program, melyet széleskörben használnak építészek, tervezők, mérnökök és látványtervező szakemberek. A modellek elkészíthetők kétdimenziós alakzatok és görbék megrajzolásával vagy poliéderek szerkesztésével. Az objektumok és modellek mintázatának elkészítéséhez rengeteg lehetőséget kínál számunkra a program. Áttekintésükhöz különböző kameraállások közül választhatunk, és a realiztikusabb hatás érdekében más-más megvilágítást alkalmazhatunk. Ezen a téren a 3Ds Max különleges effekteket is felkínál a felhasználóknak, egyedi megvilágításokra és fénykövetésekre is van lehetőség. Az elkészített modellek animálhatóak is a továbbiakban, leképezésükhöz több megjelenítés közül választhatunk. Az objektumok megjelenhetnek csupán határoló keretként, drótváz formájában, árnyalt csúcspontokkal vagy tömör drótvázként is. Ezek mind használhatók a kívánt fényeffektek megjelenítéséhez (AUTODESK, 2015). Ezen tulajdonságai és képességei a 3Ds Max programot alkalmassá teszik a hallgatóság számára látványos, és információban gazdag, jól használható digitális anyag készítésére.

## 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 3.1. A végtag csontrendszerének modellezése

#### 3.1.1. A carpustól proximalisan található csontok leképezése

Munkánk során a Budapesti Műszaki Egyetem Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék munkatársai által tervezett lézerszkennert (**2. ábra**) használtuk a számítógépes modellek létrehozásához. Ez az eszköz egy aktív, vonalszerű fényforrást alkalmazó triangulációs szkennert, melyet egy tárgyasztal, állványzat, fényforrás, képfelvevő rendszer és egy számítógép alkot. A lézersugár a fényforrásból a szkennelni kívánt tárgyra vetül egy vékony csík formájában. Ezt a fénycsíkot rögzíti a lézertől adott szögben állított kamera. Mivel a kamera más helyzetből érzékeli a tárgyra vetített fénysávot, így az nem egy egyenes vonalként jelenik meg, mintha szemből néznénk, hanem a szkennelt tárgy felületét követi.

A leképezni kívánt csontokat a tárgyasztalon rögzítettük (**2. ábra-a**), melyet a függőleges tengely körül forgattunk, és a vízszintes tengely mentén mozgattunk, attól függően, hogy a csont alaki tulajdonságai mit kívántak meg. A szkennert a mozgató léptetőmotorral valósította meg (**2. ábra-b**). A léptetés mértékét pontosan kellett beállítani, mert ettől függött a modell részletessége. Az állványzat biztosította a fényforrás és a képfelvevő kamera pontos rögzítését. Beállítottuk a bázisszöveget, a kamera pozícióját, a fényforrás magasságát és távolságát a csonttól.

A rendszer fényforrása egy folyamatos üzemű félvezető lézer volt, melyre egy hengerlencsével kialakított nyalábtágítót szereltünk (**2. ábra-c**). A nyalábtágító nyílásszögét alulról és felülről behatároltuk, hogy a lézernyaláb vastagsága elég kicsi legyen, ezzel segítve a pontos szkennelést. A lézerforrás monokromatikus, 632.8 nm hullámhosszú, azaz a vörös tartományban sugárzott.

A képfelvevő rendszerhez egy UI-3370 típusú ipari kialakítású kamerafejet használtunk (**1. táblázat**), mely USB felületen csatlakozott a számítógéphez. A kamera optikai részét egy TAMRON 50 mm objektív (**2. ábra-d**) alkotta. A rendszert vezérlő számítógép USB felületen irányította a tárgyasztal léptetőmotorját, és vezérelte a kamerát. A szoftvert úgy készítették el, hogy a tárgyasztal mozgása annyira pontos legyen, hogy akár a 0,01 fokú forgatást is képes legyen kivitelezni a szkennert. A megfelelő képfelvétel

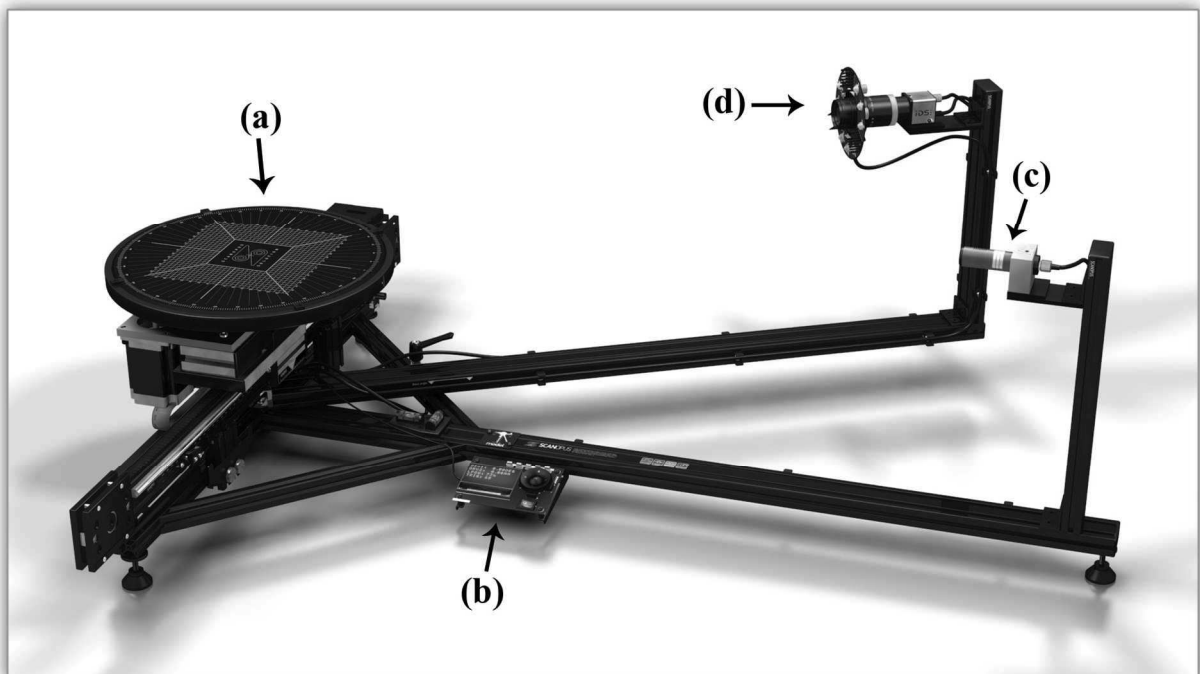


**1. táblázat:** A szkenneléshez használt, IDS UI-3370CP-C-HQ kamera specifikációja.

Tulajdonságok	Adatok
Szenzor technológia	CMOS Color
Felbontás	2048x2048 pixel (4 MP)
Színmélység	12 bit
Szenzor méret	1"
Zár	Global shutter
Szenzor típus	CMV4000-3E5C1PP
Pixel méret	5.5 $\mu\text{m}$
Optikai mérete	11.264 mm x 11.264 mm
Interfész	USB 3.0
Lencse illesztés	C-mount (opcionálisan CS-mount)

miatt a tárgyasztalt mindig alaphelyzetbe állítottuk. A nagy pontosság kiemelten fontos volt, hiszen ettől függött egyrészt a mérés pontossága, másrészt az, hogy hány lépésben szkennelhettük be a tárgyat.

A szkennер vezérlőprogramján keresztül irányítottuk a tárgyasztalt és a kamerát is. A tárgy beolvasása után egy nyers élhalmaz keletkezett, mint a tárgy beolvasott képe. A modell körbeforgatható, nagyítható, illetve szerkeszthető. A mintavétel után ezek a vonalak a Frame bufferben tárolódtak, a vonalak minőségét sok tényező befolyásolta. Ilyenek a felszín optikai tulajdonságai (reflexió, érdesség), az esetleges textúra, maga a geometria

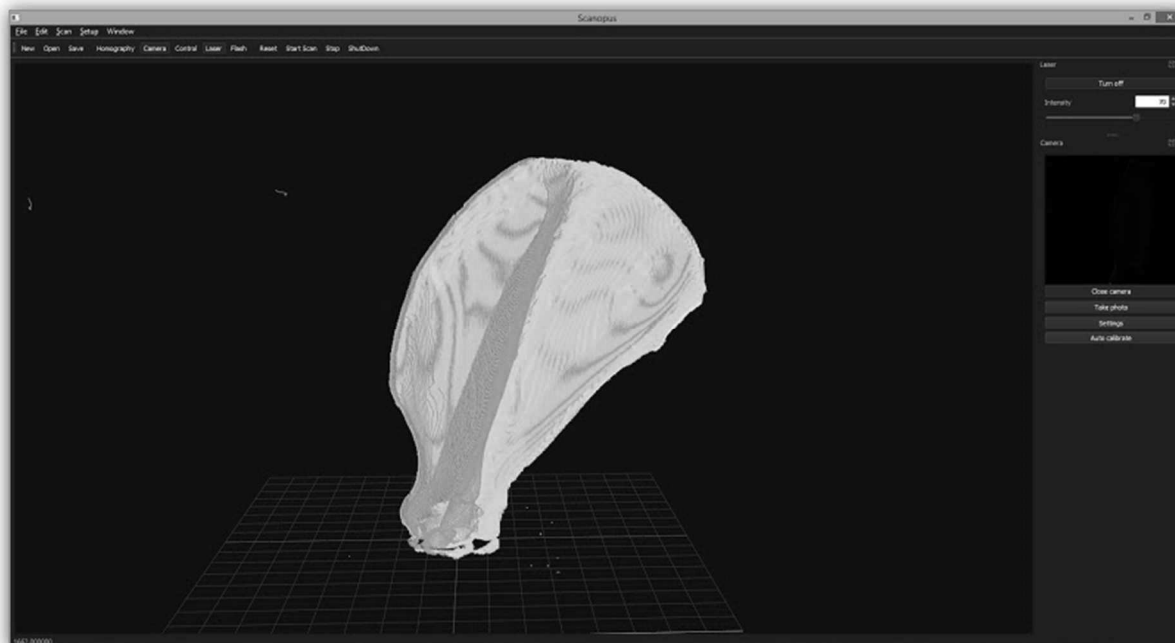


**2. ábra:** A lézerszkennер felépítése. (a): Tárgyasztal; (b): Léptetőmotor vezérlőegysége; (c): Lézerforrás; (d): Rögzítő kamera

(felszín görbületének változásai, lyukak), a környezeti fény, a környezetben esetleg előforduló, nem kívánt reflexiót okozó tárgyak. Ezen hibaforrások hatásának kiküszöbölésére a rendszert sötét helyiségben működtettük.

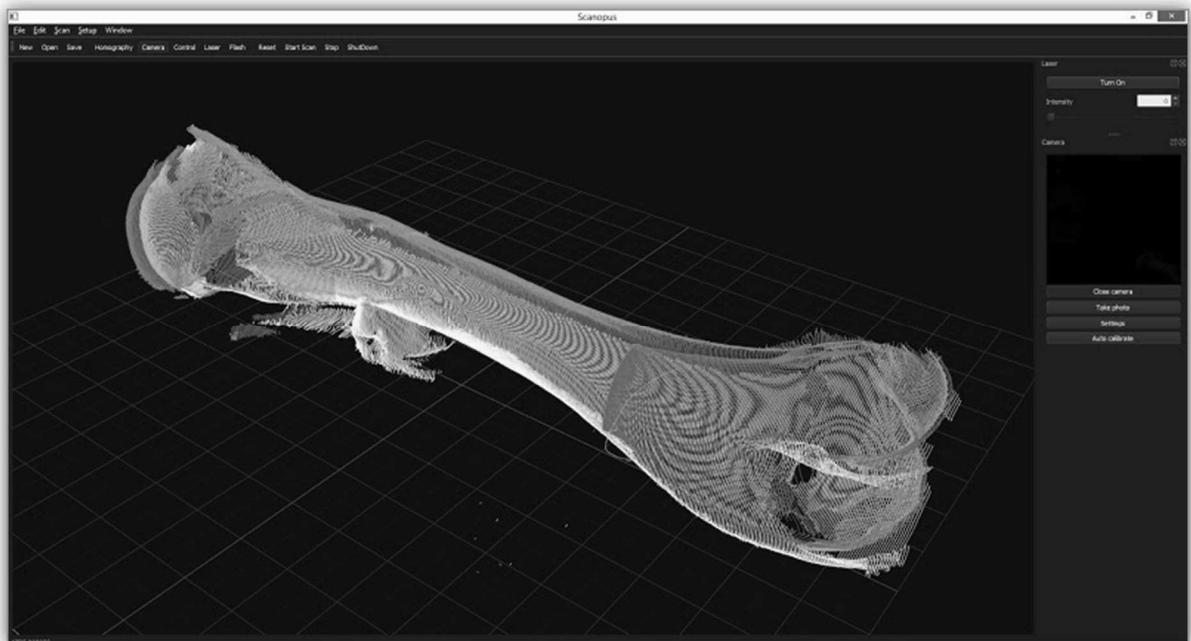
A szkennerek pontos működésének technikai alapfeltétele a csontok szkennelése előtt a homográfias művelet. A homográfia egy (kölcsonösen egyértelmű) projektív megfeleltetés két sík pontjai között, vagyis a szkennerek kameráját be kellett kalibrálnunk, hogy leképezett tárgyat a saját ismert koordinátarendszere szerint ismerje fel, és így arról egy pontos képet adjon a szoftver számára. A szkennerek kalibrálása után az eszköz szoftverében pontos adatokat adtunk meg a csontok szkennelésének folyamatára. Ezeket, a csontok tárgyasztalon történő rögzítése után adtuk meg, a kívánt optimális helyzetek manuális beállítása után.

A scapula beállításai: A csontot a horizontális sík mentén történő mozgatással olvastuk be 4 alkalommal. Külön szkenneltük a lateralis és medialis oldalát a csontnak és adott szögű forgatások után a spina scapulae által beárnyékolt helyeket is beszkeneltük (**3. ábra**). A szkennelés során problémát okozott a cavitas glenoidale, a tuberculum supra-, et infraglenoidale és a processus coracoideus leképezése, ami miatt nem volt elegendő csak a medialis és lateralis oldal szkennelése. Ezeket a képleteket külön kódolt forgatási és mozgatási értékekkel olvastuk be, hogy képük ne vetüljön rá a csont más területére és ezáltal ne képződjön beárnyékolt rész.



**3. ábra:** A scapula szkennelése során kapott pontthalmaz.

- A humerus beállításai: A lapockához hasonlóan a karcsont felszínét is több irányból világítottuk be a lézerrel az anatómiai struktúrák tulajdonságai miatt. Problémás terület volt a csont proximalis részének caudalis oldala, a tuberculum majore et minore által árnyékolt rész és a distalis részen található foramen supratrochlearis területe (**4. ábra**). Ezek leképezése összesen 11 lépésben történt meg.



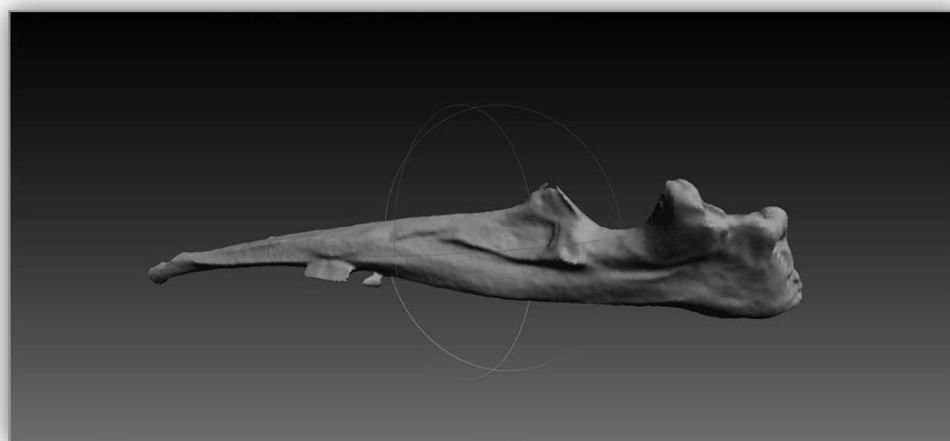
**4. ábra:** A humerus szkennelése során kapott ponthalmaz.

- A radius beállításai: Ennél a csontnál nem volt nehézséget okozó képlet, ezért könnyen megoldható volt a szkennelése. Hosszanti tengelye körül forgatva olvastuk be a testet és a vízszintes tengelye körül forgatva a proximalis és a distalis ízületi felszíneiről is készítettünk egy-egy leképezést.
- Az ulna beállításai: Az ulna beállítása hasonló volt a radiuséhoz. A csont nagyrészt a hossz tengelye körüli forgatással kaptuk meg, míg a distalis és proximalis részt külön szkenneltük. A csont proximalis harmadában található processus anconeus és annak környezetében található területek hiánytalan leképezéséhez több irányú beállítást végeztünk.

A szkennelés után a Meshlab nevű programot használtuk, hogy a szkennertől létrehozott pontfelhőből egy egyszerű, de a továbbiakban a 3Ds Max számára importálható és használható héjmodellt kapjunk. A Meshlab a pontok helyzete és sűrűsége alapján egy felületet készített a pontfelhőre, amely már magát a modellt adta meg (**5. és 6. ábra**).



**5. ábra:** A radius szkennelése során kapott modell a Meshlab-ban.

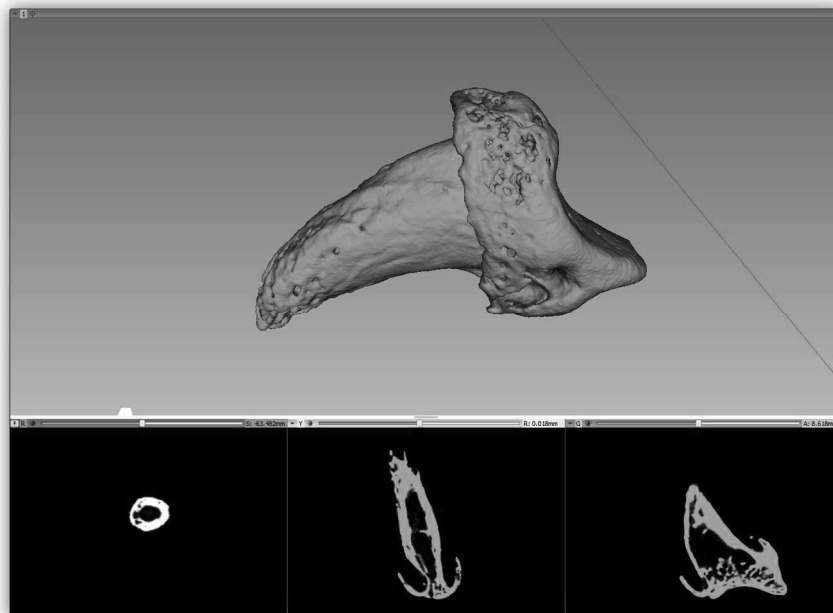


**6. ábra** – Az ulna szkennelése során kapott modell a Meshlab-ban.

### **3.1.2. A carpustól distalisan található csontok leképezése**

Méretükből adódóan a carpus és az attól distalisan található csontok lézerszkennelése problémákba ütközött, ezért itt CT alapú rekonstrukciós technikát használtunk. Mivel az egyetemen rendelkezésünkre álló hagyományos CT felbontása túl kicsi volt (maximálisan 2mm-es nagyságú léptetések), ezért a Semmelweis Orvostudományi Egyetem Biofizika és Sugárbiológiai Intézetében az In Vivo Képképző Laboratórium

Mediso nanoSPECT/CTplus típusú mikro CT készülékét használtuk (csőre kapcsolt feszültség: 55 Kv; frame idő: 1300 ms; képszám: 360; felbontás: 36  $\mu\text{m}$ ). A CT sorozatokat a 3D Slicer programban dolgoztuk fel az erekhez hasonló módon és beállításokkal (ld.: 3.2.3 fejezet) (7. ábra).



7. ábra: A karomcsont 3D Slicer-ben készült modellje.

### 3.1.3. A csontok összeillesztése

A kapott csontmodelleket a 3Ds Max szoftverben, a végtag anatómiai felépítésének megfelelően illesztettük össze. Az ízületek ábrázolásánál a normál álló testhelyzetnek megfelelő szögelléseket állítottuk be. Minden egyes csontnál ellenőriztük az anatómiai képletek meglétét és helyzetét, emellett eltávolítottuk azokat a műtermékeket, amelyeket a szkennelés során a tárgyasztalhoz való rögzítéshez használt eszközök eredményeztek.

## 3.2. A végtag érrendszerének modellezése

### 3.2.1. A végtag előkészítése

A végtag ereinek ábrázolásához egy 40,2 kilogrammos kan dobermann jobb mellső lábát használtuk. Az állatot előzetesen 2 napon keresztül tároltuk az Anatómiai és Szövetani Tanszék hűtőkamrájában, +4°C-os hőmérsékleten. A végtag előkészítéséhez az állatot lebőröztük, majd bal oldali oldalfekvésbe helyeztük. Az a. axillaris kezdeti szakaszát felpreparáltuk az a. thoracica externával és az a. thoracica lateralissal együtt, majd ezután az

utóbbi két érre és az a. axillaris proximalis, elágazás nélküli szakaszára leköttést helyeztünk. A továbbiakban egy 18 G méretű katétert helyeztünk az a. thoracica externa és az a. thoracica lateralis közé az a. axillarisba, és fonállal rögzítettünk a helyzetében. A jobb oldali végtagot hagyományos anatómiai bonctechikával eltávolítottuk a törzstől. A végtagot 5 milliliter Omnipaque 300 típusú röntgen kontrasztanyaggal (Omnipaque 300 [300 mg/ml]; GE Healthcare) töltöttük fel a katéteren keresztül.

### **3.2.2. A végtag Computer Tomograph-os vizsgálata**

A végtagot behelyeztük a GE HighSpeed CT/e típusú egyszeeletes Computer Tomographba. A gép 2 milliméteres szeletvastagsággal és lépésközzel készítette a felvételeket. A képek ábrázolását csontrekonstrukciós algoritmus alapján végezte el. A CT vizsgálat folyamán az alkar régióról 105 képet, a felkar régióról pedig 157 képet kaptunk JPEG formátumban.

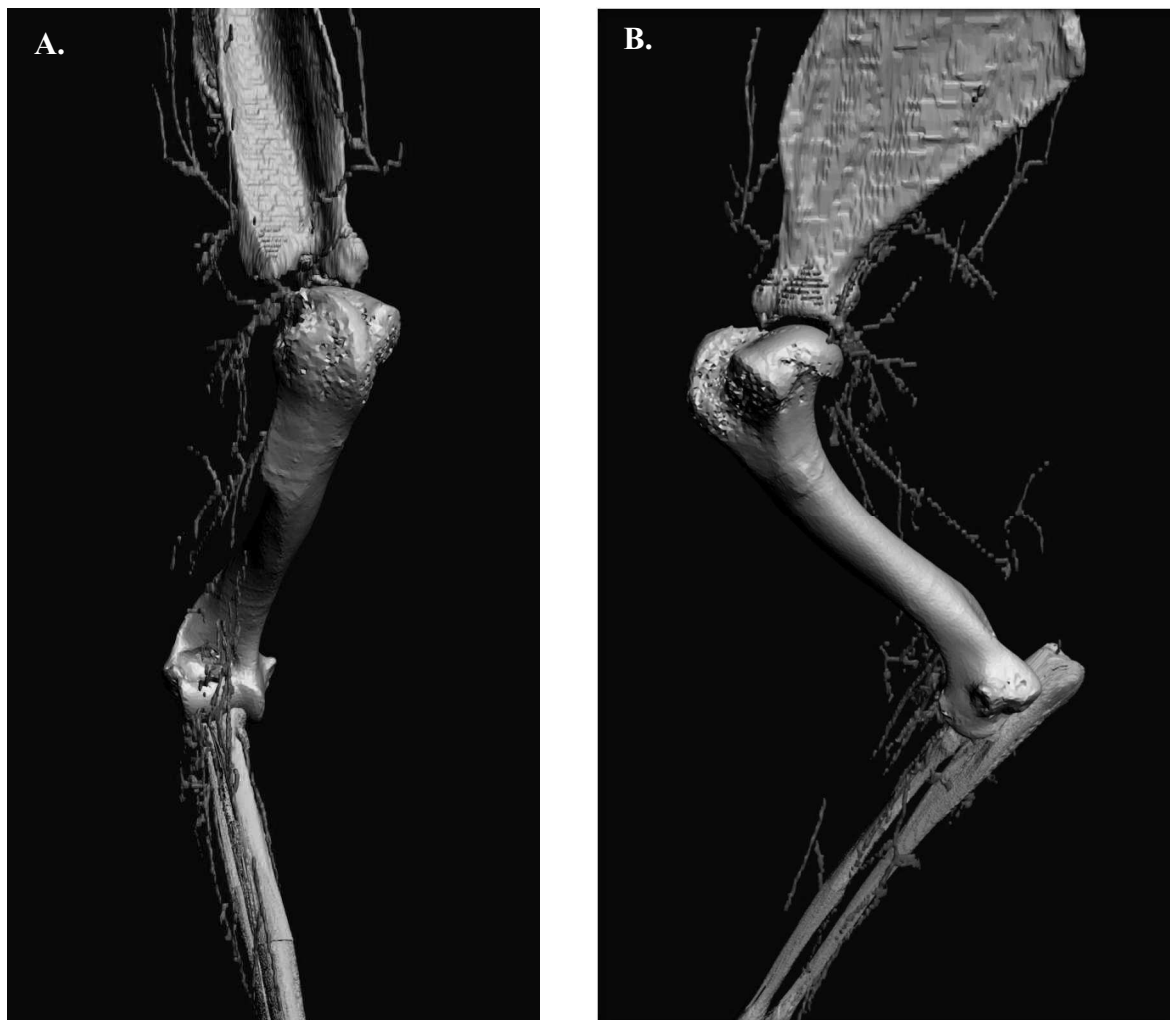
### **3.2.3. A háromdimenziós modell készítése**

A CT vizsgálat során kapott képeket 3D Slicer programba importáltuk. Mindegyik képsorozatnál a „Volumes” jellemzőit W: 98; L: 119 értékekre állítottuk be, mely egy egységes kontrasztot állított be a képeknél, hogy az optimális legyen az erek kijelöléséhez. Ezután az „Editor” menüpontban a „Treshold” eszközt használtuk a csontok egységes kijelöléséhez (25-ös színnel) és a „Models” menüpontban készítettük el a kijelölés alapján a csontok nyers modelljét. Ezt követően ugyanezen a képsorozaton „PaintEffect” eszközzel jelöltük ki képenként a kontrasztanyaggal töltött ereket (295-ös színnel). A pontosításhoz a „Paintover” és „Smudge” opciókat használtuk. A kijelölt pontokból a „Models” menüpontban készítettük el a végleges primitív modellt. A modelleket STL fájlformátumban mentettük el, hogy más tervező grafikai programmal is szerkeszthetőek legyenek (**8. ábra**).

## **3.3. A végtag teljes 3D modelljének összeillesztése**

A már korábban létrehozott és összeillesztett csontok mellé elhelyeztük a 3D Slicer-rel létrehozott nyers modellt. Ennek importálása fontos volt az erek megfelelő elhelyezése miatt. Csontos részeit a program transzformációs algoritmusaival úgy módosítottuk, hogy azok a szkennelt csontoknak megfelelő, azzal egybevágó helyzetbe kerüljenek, és ez az ereket is a megfelelő helyzetbe hozta. Mivel nekünk csupán a szkennelt csontokra volt szükségünk, ezért a másik csontmodellt eltávolítottuk a programból, így csak az erek

maradtak meg. Ennek az érmodellnek az alapján, a program modellező eszköztárával manuálisan hoztunk létre egy új érmodellt, egységes átmérőjű és felszínű csövek segítségével. Erre a 2 mm-es CT felbontás következtében kialakult hiányos és nem megfelelő felbontású érszakaszok miatt volt szükség, emellett esztétikai szempontból is jobban illett az aprólékos csontmodellhez.



**8. ábra:** A 3D Slicerben készült érmodell és a csontos váz egymás mellé helyezve, a függőleges síkban történt illesztés után, a vízszintes síkba rendezés előtt.

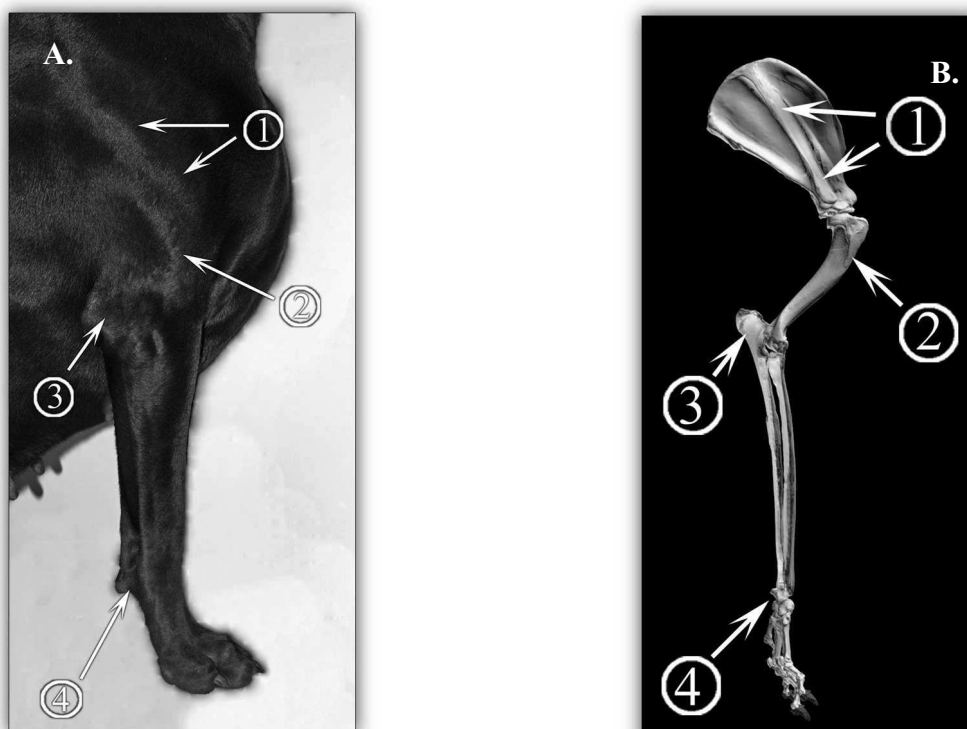
A: craniomedialis nézet. B: medialis nézet.

## 4. EREDMÉNYEK

Az általunk nyert modell vázaként szereplő csontok teljes egészében megfelelnek az anatómiai leírásoknak. Aprólékosan kidolgozott ízületi felszíneiknek köszönhetően pontosan egymáshoz illeszthetőek voltak. A carpus és az ujjak alkotásában résztvevő csontok a micro CT készüléknek köszönhetően kivételesen részletes képet mutatnak (9.ábra).

A feltöltött végtag CT vizsgálata és az egyes képsorozatok feldolgozása után az artériás rendszer igen részletes képét kaptuk meg. Az erek lefutása a végtag hosszában egészen a carpus tájáig lekövethető volt. Ettől a résztől kezdve a CT szeletvastagságának beállítása és a felvételek minősége miatt sajnos nem különültek el tökéletesen a környezetüktől. Az artériás fő ágak mindegyike megjelent a modellen, de a kisebb ágak követhetősége már bizonytalan, ugyanakkor elegendő volt ahhoz, hogy az anatómiai atlaszok segítségével pontosan pótolni tudjuk őket.

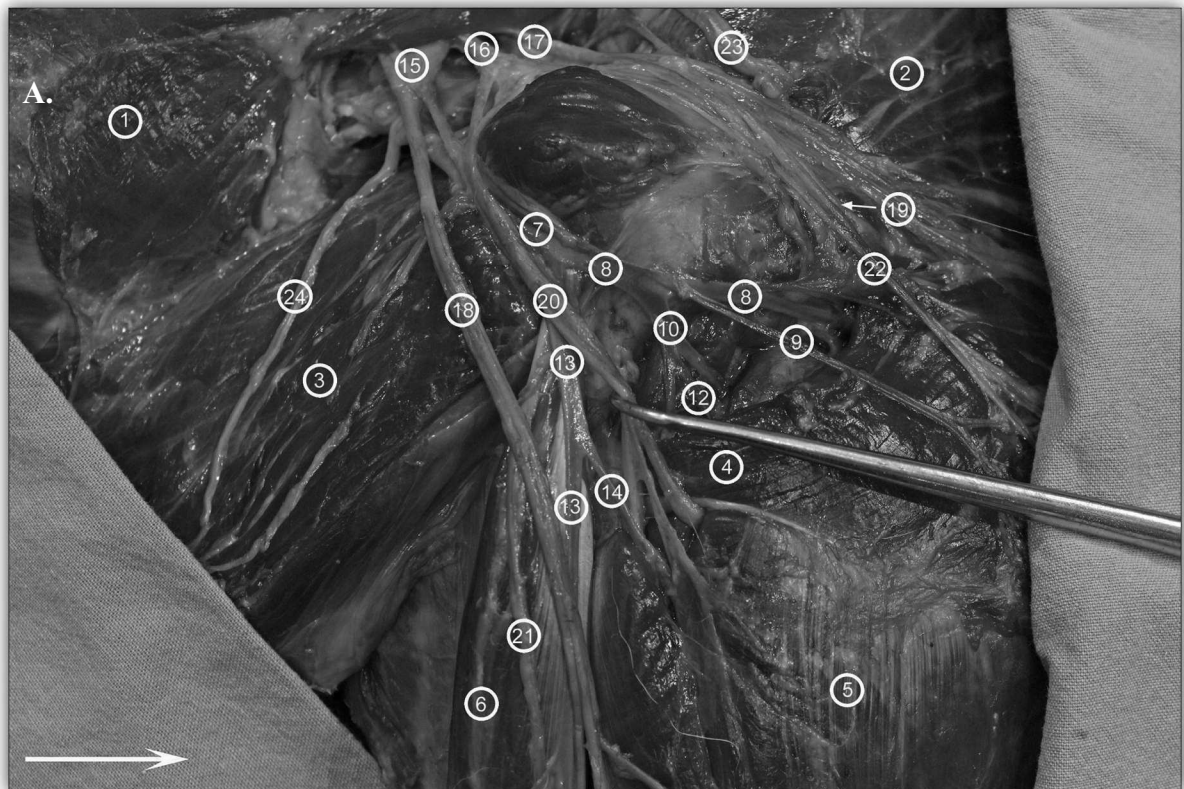
Az összeillesztés után egy olyan pontos és szemléletes modellt nyertünk a kutya mellső végtagjáról, mely jól használható az anatómiaoktatásban és sokkal könnyebben befogadható bármely tanuló számára, mint egy kétdimenziós ábra (10-13. ábrák).



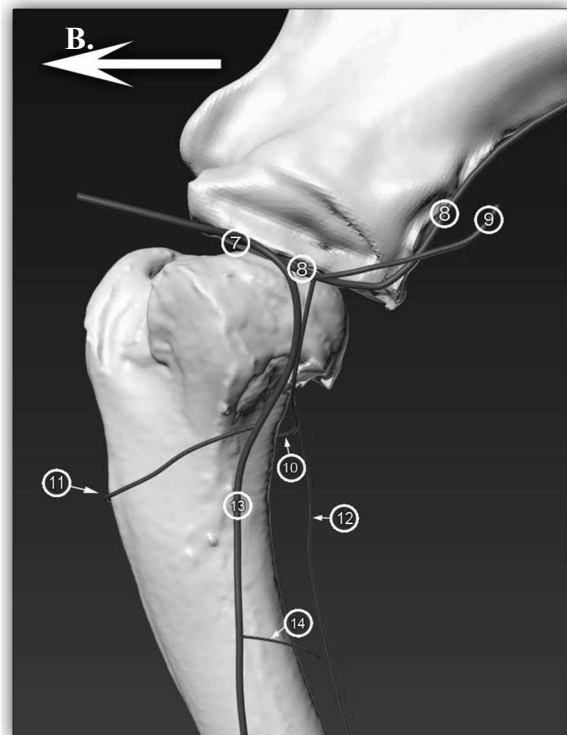
**9. ábra:** Az összerakott csontos modell és egy ülő helyzetű kutya jobb mellső lábának összevetése lateralis nézetben. A: élő kutya; B: modell.

1.: spina scapulae; 2: tuberositas deltoidea; 3: olecranon; 4: os carpi accessorium

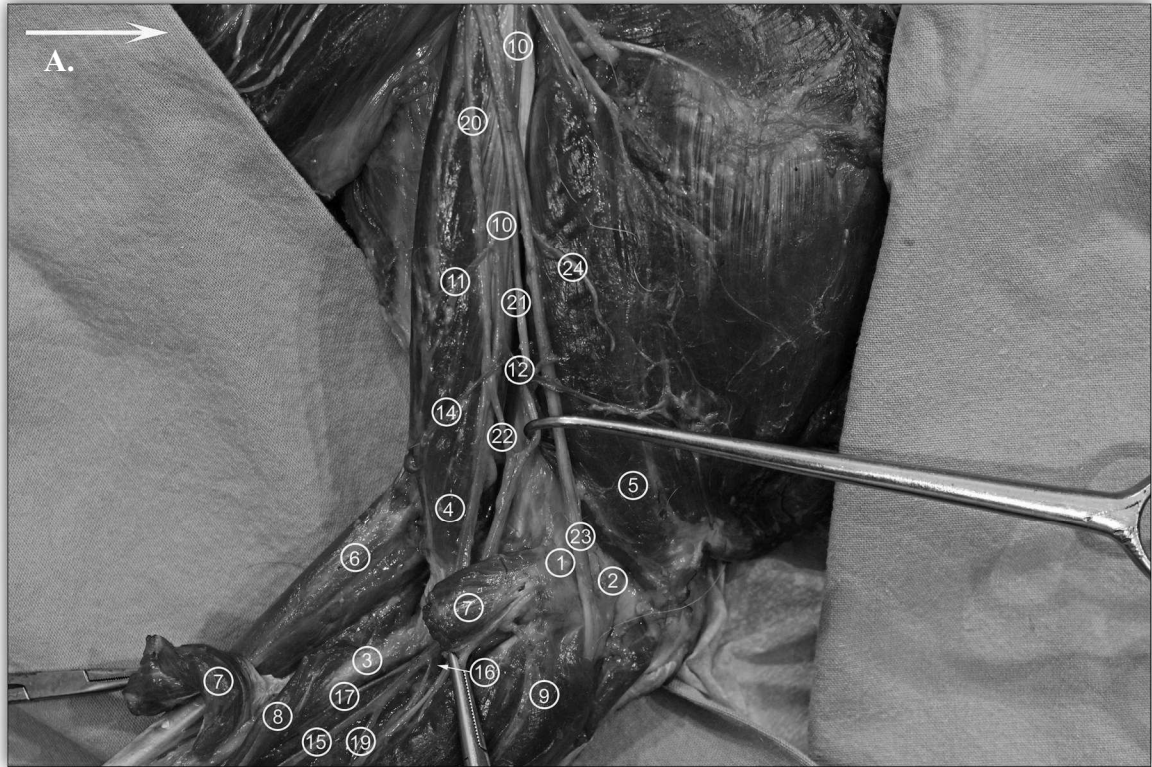




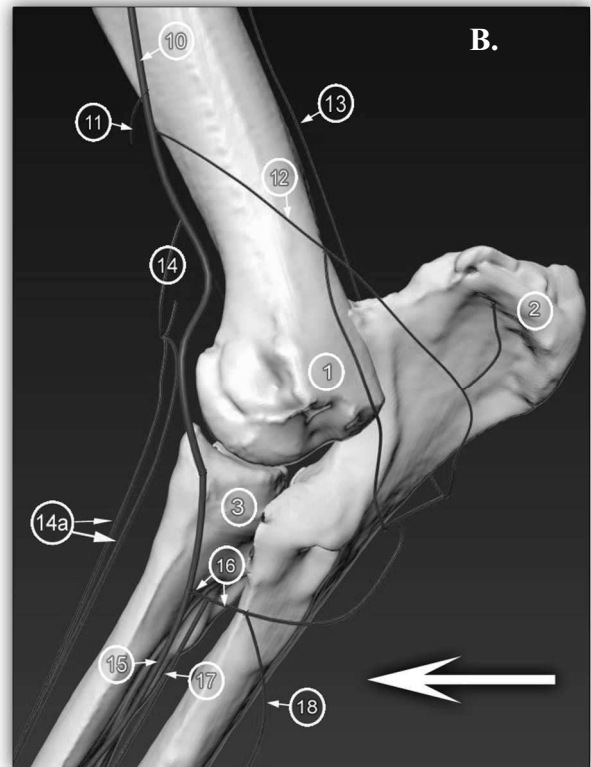
- 1: m. rectus thoracis (A)
- 2: m. subscapularis (A)
- 3: m. pectoralis superficialis et profundus (A)
- 4: m. teres major és m. latissimus dorsi közös tapadása, előre fordított helyzetben (A)
- 5: m. triceps brachii caput longum (A)
- 6: m. biceps brachii(A)
- 7: a. axillaris (A; B)
- 8: a. subscapularis (A; B)
- 9: a. thoracodorsalis (A; B)
- 10: a. circumflexa humeri caudalis (A; B)
- 11: a. circumflexa humeri cranialis (B)
- 12: a. collateralis radialis (A; B)
- 13: a. brachialis (A; B)
- 14: a. profunda brachii (A; B)
- 15: T1-T2 (A)
- 16: C8 (A)
- 17: C7 (A)
- 18: n. medianus és n. ulnaris közös törzse (A)
- 19: n. axillaris (A)
- 20: n. radialis (A)
- 21: n. musculocutaneus (A)
- 22: n. thoracodorsalis (A)
- 23: n. suprascapularis (A)
- 24: n. pectoralis cranialis (A)



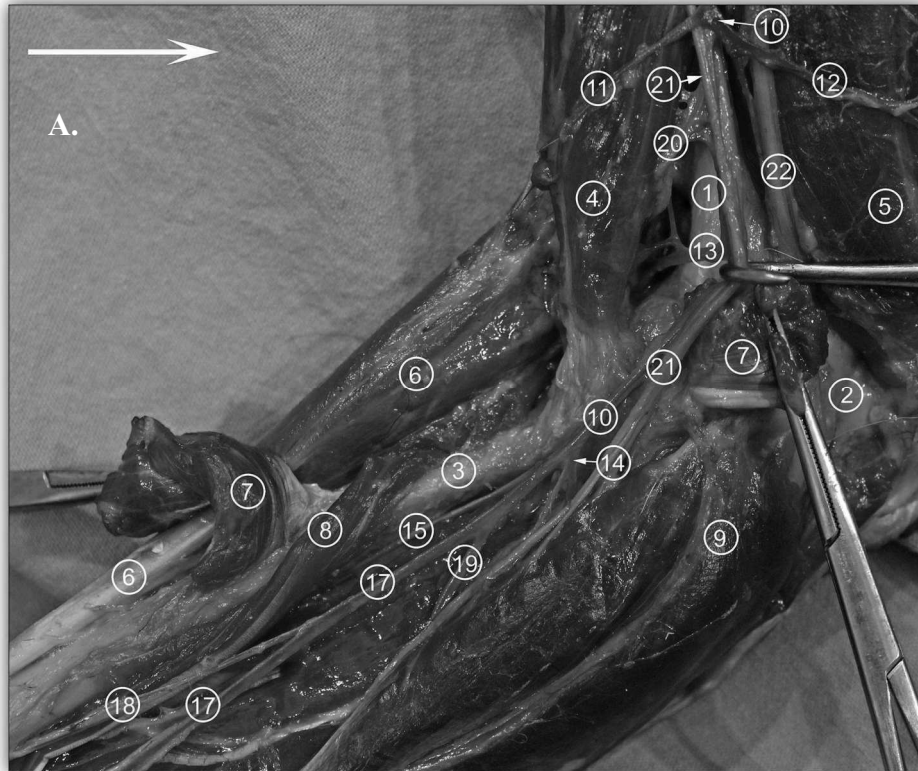
**10. ábra:** A regio axillaris fő artériái, jobb mellső lábon boncolva (A) és modellezve (B) medialis nézetben. A nyíl cranialis irányba mutat, a boncolt végtag cranialis irányban kifordítva a testtől.



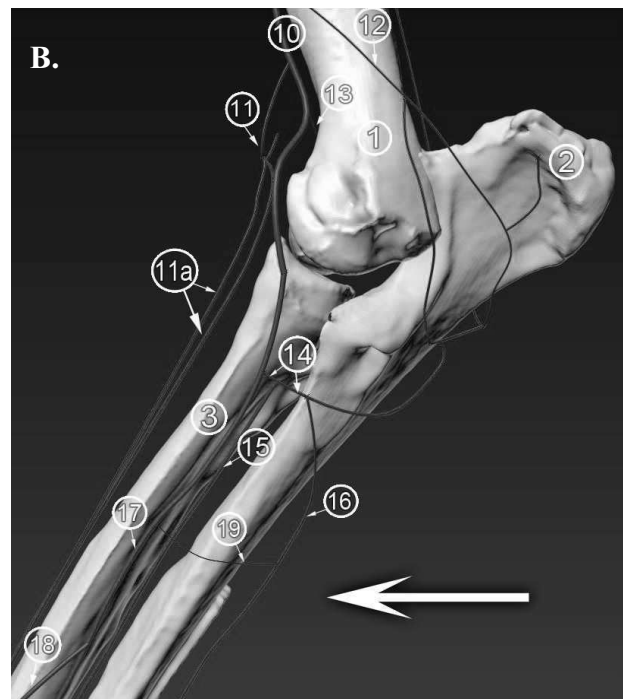
- 1: epicondylus humeri medialis (A+B)
- 2: olecranon (A+B)
- 3: radius (A+B)
- 4: m. biceps brachii (A)
- 5: m. triceps brachii (A)
- 6: m. extensor carpi radialis (A)
- 7: m. pronator teres átvágva (A)
- 8: m. flexor dig. prof. caput radiale (A)
- 9: m. flexor c. ulnaris, caput humerale (A)
- 10: a. brachialis (A+B)
- 11: a. bicipitalis (A+B)
- 12: a. collateralis ulnaris (A+B)
- 13: a. collateralis radialis (B)
- 14: a. brachialis superficialis (A+B)
- 14a: r. medialis et lateralis (B)
- 15: a. mediana (A+B)
- 16: a. interossea communis (A+B)
- 17: a. interossea caudalis (A+B)
- 18: a. ulnaris (B)
- 19: a. profunda antebrachii (A)
- 20: n. musculocutaneus (A)
- 21: n. medianus (A)
- 22: r. communicans (A)
- 23: n. ulnaris (A)
- 24: n. cutaneus antebrachii caudalis (A)



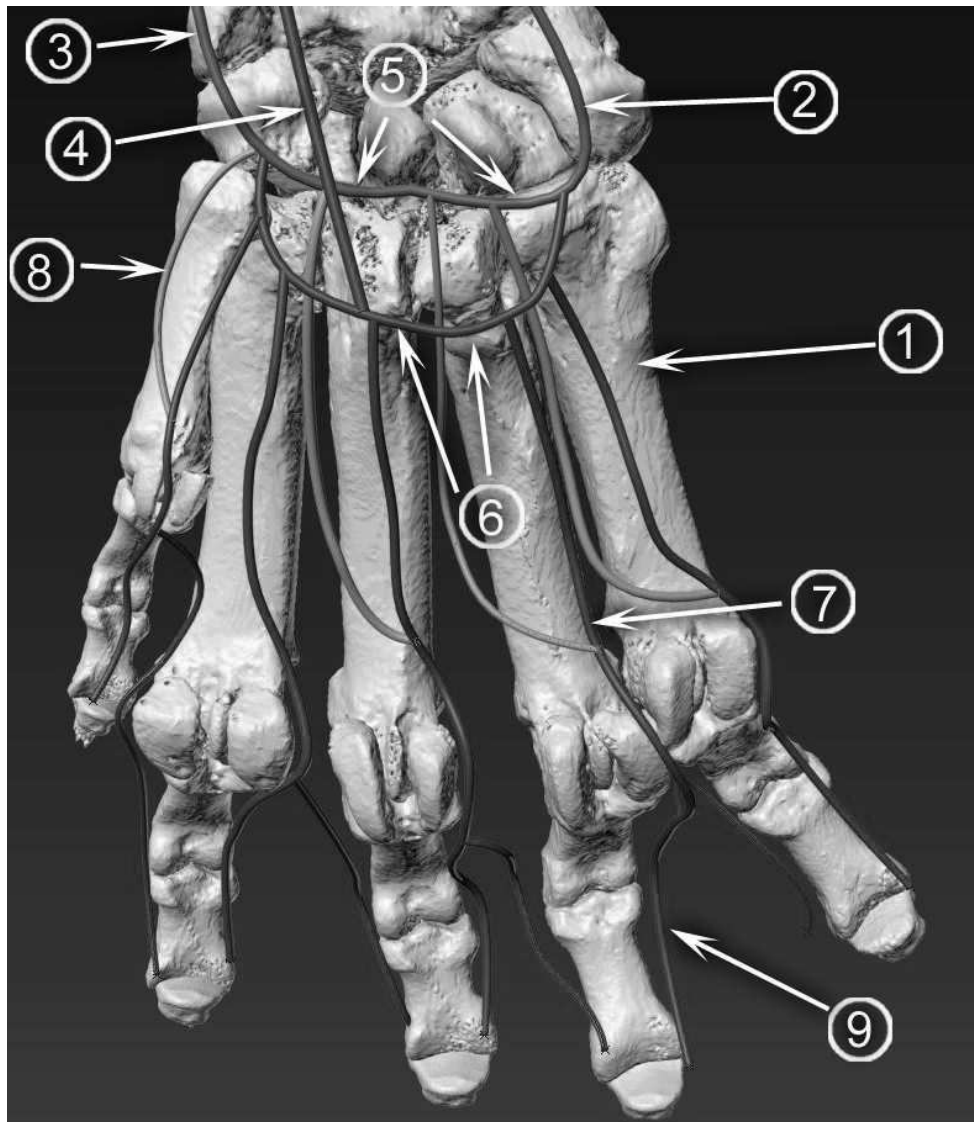
**11. ábra:** A regio humeri fő artériái, a jobb mellő lábón boncolva (A) és modellezve (B) medialis nézetben. A nyíl cranialis irányba mutat, a boncolt végtag cranialis irányban kifordítva a testtől.



- 1: corpus humeri (A+B)
- 2: olecranon (A+B)
- 3: radius (A+B)
- 4: m. biceps brachii (A)
- 5: m. triceps brachii, caput mediale (A)
- 6: m. extensor carpi radialis (A)
- 7: m. pronator teres elvágva (A)
- 8: m. flexor dig. prof. caput radiale (A)
- 9: m. flexor c. ulnaris, caput humerale (A)
- 10: a. brachialis (A+B)
- 11: a. brachialis superficialis (A+B)
- 11a: r. medialis et lateralis (B)
- 12: a. collateralis ulnaris (A+B)
- 13: a. transversa cubiti (A+B)
- 14: a. interossea communis (A+B)
- 15: a. interossea caudalis (A+B)
- 16: a. ulnaris (B)
- 17: a. mediana (A+B)
- 18: a. radialis (A+B)
- 19: a. profunda antebrachii (A+B)
- 20: n. musculocutaneus
- 21: n. medianus
- 22: n. ulnaris



**12. ábra:** A regio cubiti és a regio antebrachialis proximalis területének fő artériái, a jobb mellső lábon boncolva (A) és modellezve (B) medialis nézetben. A nyíl cranialis irányba mutat, a boncolt végtag cranialis irányban kifordítva a testtől.



**13. ábra:** A regio carpi palmaris fő artériái modellezve, jobb oldali, palmaris nézetben.

- 1: os metacarpale V.
- 2: a. interossea caudalis
- 3: a. radialis
- 4: a. mediana
- 5: arcus palmaris profundus
- 6: arcus palmaris superficialis
- 7: a. digitalis palmaris communis IV.
- 8: a. metacarpalis palmaris I.
- 9: a. digitalis palmaris propria IV abaxialis

## 5. MEGBESZÉLÉS

Munkánk során a kutya mellső végtagját választottuk alapul, mert ez a végtag könnyen leválasztható a testről és érhalózata egy jól körülhatárolható központi törzsből ered, ezenfelül nincs megfelelő 3D-s feldolgozása. A csontok leképezéséhez azért használtunk lézerszkennert a többi rekonstrukciós eljárással szemben, mert ez részletes, pontos és mégis kis fájl méretű képeket eredményez. A CT-vel történő digitalizálás során nem csupán egy héjmodellt kapunk a vizsgált szervről, hanem ábrázolásra kerül a belső szerkezete is. Emiatt nagyon nagy méretű fájlokkal kell dolgozni, ami megnehezíti a munkát a modellező szoftverekben, több ilyen modell együttes kezelése pedig már nagyon nagy kapacitású számítógépet igényel. Ha ezt kiküszöbölendő, a CT szelet vastagságot növeljük, akkor az a részletesség rovására megy. Ezenfelül számunkra nem volt fontos a belső struktúra, csupán a csontok felülete. A lézer használata igen előnyös volt a mi munkánk esetében, mivel nagy előnye a többi sugárzóval szemben, hogy a kisugárzott energiasűrűség megfelelően nagy ahhoz, hogy a kevésbé előnyös felszíni optikai tulajdonságú testek letapogatásakor is elegendően kontrasztos ábrát tudjunk rögzíteni. A lézerszkennert hátránya azonban, hogy a lézersugár útjába semmi más nem kerülhet a leképezendő felületen kívül, mert akkor a kamera számára nem látható, árnyékos terület képződik. Ezért a csontokon található konkáv felületeket több szögből kellett leképezni, hogy minden részlet a lézer által besugározhatóvá váljon. A szkennert különböző beállításai miatt nem egy egységes modellt kap a készülék programja, hanem több részfelületet, amelyet össze kell illeszteni. A szoftver feladata továbbá, hogy olyan apró, bár igen fontos kiegészítéseket, finomításokat végezzen el a modellösszerakás során, melyek a modellt használhatóbbá teszik. Ilyen például, hogy a rotációs modell pólusait lezárja, bevarrja. A pólusok környékén a rendszer vonalkereső eljárása nagy hibával működik, amiből kifolyólag a modell pólusai cakkosak lehetnek.

A carpus és az ujjak leképezésére nem volt alkalmas ez a készülék, mert a lézersugár mérete és a csontfelületről visszaverődő apró szórt sugarak miatt nem eredményezett volna pontos képet a felületről. Emellett a csontok kis méretéhez képest arányosan kisebb felületi egyenetlenségeikhez nehéz hozzáigazítani a szkennert beállításait, és a csontok megfelelő rögzítése sem megoldható. Ezért ezen csontok modellezéséhez mikro CT alapú rekonstrukciót használtunk. Az így kapott modellek kapcsán ugyanakkor a csontok fizikai mérete miatt a korábban részletezett problémák (a modell mérete, a belső struktúra megjelenése) nem okoztak különösebb gondot.

Az erek digitalizálásakor a csontok modelljeit is létrehoztuk a CT felvételek alapján. Ezekre a modellekre azért volt szükség, hogy ez alapján az ereket a szkennelt csontokra pontosan tudjuk illeszteni a 3Ds Max szoftverben. A végleges modelleken rekonstruáltuk az erek lefutását, amelyhez alapul a CT felvételek alapján készült érmodellt használtuk. Erre azért volt szükség, mert a CT beállítások 2 milliméteres szeletvastagsága miatt nagyon lépcsőzetes lefutást mutattak az erek, és túl sok volt bennük a kipótolandó szakasz.

Az így eredményül kapott modellünk teljesen újszerű, mert az általa ábrázolt képletek rendkívül részlet gazdagok és jól reprezentálják az elülső végtag anatómiai struktúráinak térbeli viszonyát. Fontos jellemzője, hogy az artériás- és csontrendszer egyszerre mutatja be. Mindez annak köszönhető, hogy többféle képalkotási módszert vettünk igénybe a megalkotásánál. Ez a modell szabadon mozgatható, forgatható és minden szögből tanulmányozható. A rajta szereplő képletek is manipulálhatóak, azaz helyzetükből kiemelhetőek, feliratozhatóak, elrejtethetőek, mert nem a felület egybefüggő részei. Ez a tulajdonsága teszi lehetővé, hogy a hallgatók könnyedén megérthessék a modell felépítésén keresztül a végtag szerkezetét. Mindez széles körben hozzáférhető formában állítható a diákok rendelkezésére mobil alkalmazások vagy számítógépes szoftverek formájában és szabadon használhatják a gyakorlati órákra történő felkészülés során. Az oktatók különböző beállításokból készíthetnek szemléltető fényképeket és animációkat, melyek segítik az előadások megértését és a diákok figyelmének felkeltését. Jelen dolgozatba terjedelmi okok miatt sajnos csak néhány képet tudtunk beilleszteni, hogy munkánk eredményét szemléltessük, de a mindenkori igények alapján tetszőleges számú, beállítású és felbontású állókép hozható létre, akár egyes erek, csontok kiemelésével vagy eltüntetésével. Ebből adódóan egy olyan interaktív oktatási segédanyagot hoztunk létre, mely segít a digitális oktatás részarányát növelni a hagyományos anatómia oktatásban. Alapjául szolgálhat olyan Android és IOS rendszerű mobil applikációknak, melyeket a diákok letöltve bárhol saját mobiltelefonjukon is használhatnak.

A szakirodalomban említett kriomakrotomizálás módszerével összehasonlítva kevésbé részlet gazdag és teljes az anatómiai modellünk. Azonban az elkészítése kisebb költségigényű és egyszerűbb, kivitelezése olyan magas szintű specifikus technikai szaktudást nem igényel. Habár a kriomakrotomizálás folyamán minden apró anatómiai struktúra, a legapróbb erek és idegek is ábrázolásra kerülnek, az oktatásban elegendő az általunk létrehozott modell részletessége is.

A munkánkban nem ábrázoltuk a teljes érrendszert, csupán az artériákat, mert a vénás rendszer hiánytalan feltöltését megakadályozta a vénabillentyűk működése. A feltöltési technika korrigálásával ez a hiányosság a jövőben kiküszöbölhető és további erekkel bővíthető a modell. Jövőképünkben szerepel, hogy a végtagot az idegek és nyirokerek hálózatával is bővítjük, valamint az izmokat is elhelyezzük rajta. A dolgozatban részletesen leírt technikával vagy annak továbbfejlesztésével rekonstruálható a többi végtag is, vagy más szervek és szervrendszerek felépítése.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az anatómia oktatásban elsődlegesen kétdimenziós ábrákat használnak a képletek személtetésére, viszont a tanulóknak ezek alapján nagyon nehéz értelmezni a szervezet térbeni felépítését. Ennek a problémának a megoldására a kereskedelmi forgalomban és az interneten hozzáférhetőek különböző számítógépes modellek, amelyek grafikai úton, anatómiai könyvek ábrái alapján készültek, és felbontásuk, részletességük sem megfelelő.

Ennek a tanulmánynak az volt a célja, hogy eredeti helyzetükben, realisztikusan és nagy felbontásban mutassa be a csontok és a főbb artériák viszonyát a kutya mellső végtagján. Ehhez az Anatómia és Szövetani Tanszék Múzeumában található kifőzött csontokat használtuk, amelyek pontos digitális adatait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tulajdonában álló lézerszkennelők segítségével, több síkbeli szkennelés után kaptuk meg. Az egyes csontokról így létrehozott pontfelhőket importáltuk a Meshlab és a 3Ds Max nevű grafikai szoftverekbe, ahol azokból elkészítettük a csontok modelljeit. Az artériák ábrázolásához egy, az Anatómia és Szövetani Tanszékre érkezett, nagytestű kutya hűtött, friss hulláját használtuk. Az a. axillariszt röntgenkontraszt anyaggal töltöttük fel, majd a végtagon CT vizsgálatot végeztünk. A kész képsorozatot betöltöttük a 3D Slicer programba és annak „Editor” moduljában különítettük el az ereket, amiket a 3Ds Maxban hozzá illesztettünk a csontos vázhoz. Végeredményképpen egy olyan háromdimenziós modellt kaptunk, amely valóságként ábrázolja a csontokat, az ereket és ezek egymáshoz viszonyított helyzetét, és amelyről tetszőleges kétdimenziós szemléltető ábrák és dinamikus animációk készíthetők. Ezek használata az előadások során megkönnyítheti az előadó feladatát, és egy keretprogramba építve a tanulóknak is segíthet a végtag felépítésének megértésében.

A jövőben indokolt lehet a modell kiegészítése a végtag vénás hálózatával, izmaival és a régióhoz tartozó perifériás idegrendszerrel. A módszer segítségével további szervrendszerek, testrészek hasonló 3D modelljei is elkészíthetők.



## **7. ANGOLNYELVŰ CÍM ÉS RÖVID ÖSSZEFOGLALÁS**

### **Three-dimensional Model of the Skeletal and Vascular System of the Dog's Forelimb**

Traditionally primary 2D images are used for anatomy teaching and demonstrating, although it is often hard for the students to understand the overall 3D structure through a drawing or a photo. There are a number of computer models available on the Internet that were created using graphical tools, and are based on the same anatomical descriptions, lack detail and do not have sufficient resolution.

The purpose of this study is to represent the realistic position of the vessels to the bones in the dog's forelimb. We used bones of the Anatomy Museum that were scanned with a 3D Laser Scanner of the Budapest University of Technology and Economics. The data was imported into 3Ds Max where the models were combined, thus creating the three-dimensional structure of the dog's forelimb. For imaging the arteries, we used the carcass of a dog, injecting contrast material into the a. axillaris. A Computer Tomograph sequence was run on the specimen, and the images were imported into 3D Slicer software. We used the "Editor" module of 3D Slicer to highlight the arteries so these could be exported into 3Ds Max as a 3D model. The model of the skeleton and the vascular system were fused with each other. A complete three-dimensional model of the bone structure with the significant arteries of the dog's forelimb was created. Pictures and animations of these structures can easily be rendered for anatomical demonstrations and lectures. Using a frame software, students may use the final models to have a better understanding of the structure.

Further research is needed to extend the model with the venal network, the nervous-, and muscular system. The method may be used to create similar models of other organs and body parts.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

- AUTODESK, 2015: 3D Studio Max. URL:<http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>. Letöltés ideje: 2014. 05. 06.
- BERNIGAU D., 2015 : Development and evaluation of two anatomical “postcasts” for students learning the anatomy of the tongue. 8th meeting of Young Generation of Veterinary Anatomists, 2015.07.15-17, Poznan, Poland, p. 12
- BILGER M, REINITZ L, CZEIBERT K, SÓTONYI P (2013): Topographical and clinical anatomy of the guttural pouch in horse. In: Simone Fietz, Mahtab Bahramsoltani, Dora Bernigau (szerk.) Program and abstracts : July 17-20, 2013 Leipzig: Proceedings of the 7th meeting of the young generation of veterinary anatomists. Konferencia helye, ideje: Leipzig, Németország, 2013.07.17-2013.07.20. Berlin: J.F. Lehmanns, 2013. p. 13.
- BIOSPHERA, 2015: 3D Canine Anatomy Software. URL:<http://www.biosphera.com.br/e-veterinary-dog-anatomy.asp> Letöltés ideje: 2015.07.10
- BREM, M.H., PAUSER J., YOSHIOKA H., BRENNING A., STRATMANN J., HENNIG F.F., KIKINIS R., DURYEA J., WINALSKI C.S., LANG P., 2007: Longitudinal in vivo reproducibility of cartilage volume and surface in osteoarthritis of the knee. *Skeletal Radiology*, Vol.36. No.4. p.315-320.
- CAPITÃO L., SAMPAIO A., SAMPAIO C., VASCONCELOS C., FÉRNANDEZ M., GARAYZÁBAL E., SHENTON M.E., GONÇALVES OF., 2011: MRI amygdala volume in Williams Syndrome. *Research In Developmental Disabilities*. 2011 Nov-Dec;32(6):2767-2772.
- CONSTANTINESCU G., SCHALLER O., 2011: Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- CZEIBERT K.; PETNEHÁZY Ö.; RÁCZ B.; SÓTONYI P.; 2013: Képkötés rétegmarással: a kriomakrotomizálás alapjai. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 136. évf. 2014/6 pp. 376.
- DAUGUET J., PELED S., BEREZOVSKII V., DELZESCAUX T., WARFIELD SK., BORN R., WESTIN C-F., 2006: 3D Histological reconstruction of fiber tracts and direct comparison with diffusion tensor MRI Tractography. *International Conference Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention 2006 Oct;9 (Pt 1):109-16*.
- DERAKHSHANI D., 2008: *Introducing Maya*. Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana.
- EVANS HE., DE LAHUNTA A., 2012: *Miller’s Anatomy of the Dog*, 4th edition. Saunders Elsevier, St. Louis.
- 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.
- FEDOROV A., LI X., POHL KM., BOUIX S., STYNER M., ADDICOTT M., WYATT C., DAUNAIS JB., WELLS WM., KIKINIS R., 2011: Atlas-guided segmentation of vervet monkey brain MRI. *The Open Neuroimaging Journal*. 2011;5:186-97. Epub 2011 Nov 18.
- FEI, Visualization Sciences Group, 2012: Amira 3D software. Zuse Institute Berlin, URL: <http://www.fei.com/software/amira-3d-for-life-sciences/> Letöltés ideje: 2015.08.02.

- 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.
- IRIMIA A., CHAMBERS MC., ALGER JR., FILIPPOU M., PRASTAWA MW., WANG B., HOVDA DA., GERIG G., TOGA AW., KIKINIS R., VESPA PM., VAN HORN JD., 2011: Comparison of acute and chronic traumatic brain injury using semi-automatic multimodal segmentation of MR volumes. *Journal of Neurotrauma*, Vol.28. No.11. p.2287-2306.
- ISTI-CNR, Visual Computing Lab, 2005: Meshlab. URL:<http://meshlab.sourceforge.net/>. Letöltés ideje: 2015. 07. 14.
- LUO J., ASHTON-MILLER, JA., DELANCEY JOL., 2011: A model patient-Female pelvic anatomy can be viewed in diverse 3-dimensional images with a new interactive tool. *American Journal of Obstetrics & Gynecology* 2011 Oct; 205(4): 391.e1–391.e2.
- KELLY LM., 2005: 3Ds Max 7 biblia I-II. Kiskapu kiadó, Budapest.
- KOLOSSVÁRY M., SZÉKELY A., 2013: Digitalizált radiogram és eredeti készítmények felhasználása az anatómia oktatásában. Magyar Anatómus Társaság 2013. évi kongresszusa: SZIE-ÁOTK, Budapest, 2013. június 13-15. p. 17.
- KOO MS., LEVITT JJ., MCCARLEY RW., SEIDMAN LJ., DICKEY CC., NIZNIKIEWICZ MA., VOGLMAIER MM., ZAMANI P., LONG KR., KIM SS., SHENTON ME., 2006: Reduction of caudate nucleus volumes in neuroleptic-naïve female subjects with schizotypal personality disorder. *Biological Psychiatry*. 2006 Jul 1;60(1):40-8.
- KOVÁCS T., 2010: Vonalkereső algoritmus vizsgálata zajos környezetben. PhD dolgozat 2010., Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- KÖNIG HE., LIEBICH H., 2009: *Veterinary Anatomy of Domestic Mammals: Textbook and Colour Atlas*. Schattauer Verlag, Stuttgart.
- LÉNÁRT L., 2003: Anatómiai preparátumok digitalizálása Quick Time VR technikával. TDK dolgozat 2003, Budapest, SZIE-ÁOTK Anatómiai és Szövettani Tanszék
- MOLNÁR A, NEMESKÉRI Á, BALOGH A, 2013: Humán fej-nyak régióban végzett boncolás interaktív térhatású rekonstrukciója. 4D anatomy szimulátor. Magyar Anatómus Társaság 2013. évi kongresszusa, SZIE-ÁOTK, Budapest 2013. június 13-15.
- MOORE J., 2008: *The Glass Horse: Equine Colic CD*; 2. edition. *Equine Veterinary Journal*, Athens, Georgia, USA. URL: [www.3dglasshorse.com](http://www.3dglasshorse.com). Letöltés ideje: 2015.07.15.
- NAKAJIMA N., WADA J., MIKI T., HARAOKA J., HATA N., 2007: Surface rendering-based virtual intraventricular endoscopy: Retrospective feasibility study and comparison to volume rendering-based approach. *Neuroimage*. 2007;37 Suppl 1:S89-99. Epub 2007 Apr 20..
- NAUTRUP CP., NAUTRUP BP., 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.
- NGUYEN AD., PELAVIN PE., SHENTONM E., CHILAKAMARRI P., MCCARLEY RW., NESTOR PG., LEVITT JJ., 2011: Olfactory sulcal depth and olfactory bulb volume in patients with schizophrenia: an MRI study. *Brain Imaging and Behavior*, 2011 Dec;5(4):252-61. doi: 10.1007/s11682-011-9129-0.

- NICKEL R., SCHUMMER A., SEIFERLE E., 1981: The Anatomy of the Domestic Animals. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Hamburg.
- NIEDER GL., SCOTT JN., ANDERSON MD., 2000: Using QuickTime virtual reality objects in computer-assisted instruction of gross anatomy: Yorick - the VR Skull Clinical Anatomy. 13. vol. 4. no. p. 287-93. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10873221>. Letöltés ideje: 2015.06.25.
- OLIVEIRA R, BABCOCK M, VENEM M, HOEKER G, PARISH B, KOLPE V, 2005: The Dynamic Ear Canal and Its Implications. *The hearing review*, 2005/02. URL: <http://www.hearingreview.com/2005/02/the-dynamic-ear-canal-and-its-implications>
- PREVICS D.; REINITZ L.; PETNEHÁZY Ö.; GARAMVÖLGYI R.; BAJZIK G.; SÓTONYI P.; 2015: Demonstrating the anatomy of the canine heart using MRI based 3D reconstruction technology. 8th Meeting of the Young Generation of Veterinary Anatomists (YGVA), 15-17 July 2015, Poznan, Poland
- REINITZ L., PETNEHÁZY Ö., BAJZIK G., BIRÓ G., GARAMVÖLGYI R., BENEDEK, B., SÓTONYI P., 2013: Módszer a kutya (*Canis familiaris*) agykamráinak in vivo térfogatmérésére MRI-vel. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 135. évf. 2013/8 pp. 451-460.
- REVANNASIDDAIAH S., SUSHEELA SP, MADHUSUDHAN N., MALLARAJAPATNA GJ., 2013: Three-dimensional volumetric rendition of cannon ball pulmonary metastases by the use of 3D Slicer, an open source free software package. *BMJ Case Reports* 2013 Feb 4. doi: 10.1136/bcr-2012-008248
- SÓTONYI P., 1999: *Anatomia Canis I.-II.*, Kisállatklinika Kft., Székesfehérvár.
- STRIK HM., BORCHERT H., FELS C., KNAUTH M., RIENHOFF O., BÄHR M., VERHEY JF., 2005: Three-dimensional reconstruction and volumetry of intracranial haemorrhage and its mass effect. *Neuroradiology*, Vol.47. No.6. p.417-424.
- TALOS I.F., ZOU K.H., KIKINIS R., JOLESZ FA., 2007: Volumetric Assessment of Tumor Infiltration of Adjacent White Matter Based on Anatomic MRI and Diffusion Tensor Tractography. *Academic Radiology*, Vol.14. No.4. p.431-436.
- TRELEASE RB., NIEDER GL., DORUP J., HANSEN MS., 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
- WISCO JJ., KILLIANY RJ., GUTTMANN CR., WARFIELD SK., MOSS MB., ROSENE DL., 2008: An MRI study of age-related white and gray matter volume changes in the rhesus monkey. *Neurobiology Aging*, Vol.29. No.10. p.1563-75.
- WOHLERS TT., 1992: „3D Digitizers“, *Computer Graphics World*.
- ZHU L., GAO Y., MOHAN V., STILLMAN A., FABER T., TANNENBAUM A., 2011: Estimation of myocardial volume at risk from CT Angiography. *Proceedings of Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE)*2011 Mar 9;7963:79632A-6.

## 9. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

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

Másik témavezetőm, Kovács Tibor docens úr segítségével is nagy köszönettel tartozom, amiért bármikor rendelkezésemre bocsátotta a vonatkozó irodalmat és emellett sokat segített 3Ds Max szoftver használatában. Rengeteg elfoglaltsága mellett is időt szakított rám és segített megvalósítani a közös munkát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem munkatársaival. Lelkiismeretesen segített a modellek készítésében és az aprólékos utómunkák kivitelezésében.

Hálával tartozom az Anatómiai és Szövetani Tanszéknek és Prof. Dr. Sótonyi Péter Tanszékvezető Úrnak, hogy rendelkezésemre bocsátotta a vizsgálat alanyául szolgáló kutyahullát, készséges segítséget nyújtott a házi könyvtár használatában, és az egyes munkafolyamatokhoz biztosította számomra tárgyi feltételeket.

Köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékének hogy rendelkezésemre bocsátotta a tanszék munkatársai által készített lézerszkennert, illetve Csontos Gábornak és Fábián Andrásnak, hogy segítették a csontok digitalizálásának folyamatát programozó munkájukkal, a szkennel szakszerű kezelésével és a modellek lelkiismeretes utómunkájával.

A képalkotó eszközökkel való felvételt készítés elengedhetetlen fázisa volt a tanulmánynak. Ez úton is köszönöm dr. Arany-Tóth Attilának, az Állatorvos-tudományi Egyetem Sebészeti és Szemészeti Tanszékén működő Radiológia osztály vezetőjének, hogy engedélyezte és készségesen segített a CT vizsgálat elvégzésében. Szintén hálával tartozom dr. Veres Dánielnek, a Semmelweis Orvostudományi Egyetem Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet munkatársának szívességéért, hogy segítette a munkánkat a kisméretű csontokról készült mikro CT felvételek elkészítésével.

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