

Application of the cross sectional diagnostic imaging methods (CT and MR) in anatomical 3D reconstructions
Part 1. CT based modeling of the air containing parts

Ö. Petneházy^{1*}, K. Czeibert², Sz. A. Nagy³, T. Donkó¹, Á. Csóka¹, A. Lassó⁴, Cs. Nemes⁵, I. Biksi⁶, R. Garamvölgyi¹, G. Bajzik¹, Gy. Falk⁷, I. Repa¹

1. Kaposvári Egyetem, Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet, Kaposvár

*e-mail: petnehazy.ors@sic.ke.hu

2. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Etológia Tanszék, Budapest

3. Stressz Neurobiológia Kutatócsoport, Szentágothai János Kutatóközpont, PTE Idegsebészeti Klinika, PTE ÁOK Klinikai Idegtudományi Képző Kutatócsoport, MTA-PTE Pécsi Diagnosztikai Központ

4. School of Computing, Queen's University, Kingston, Canada

5. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Állat-egészségügyi Diagnosztikai Igazgatóság, Kaposvári Laboratórium

6. Állatorvostudományi Egyetem, Használat-gyógyászati Tanszék és Klinika, Üllő

7. Varinex Zrt, Budapest

ANATÓMIA

Keresztmetszeti képalkotó eljárások (CT és MR) használata az anatómiai 3D rekonstrukciókban

I. rész: A levegőtartalmú képletek CT-alapú 3D modellezése

Petneházy Örs^{1*}, Czeibert Kálmán², Nagy Szilvia Anett³, Donkó Tamás¹, Csóka Ádám¹, Lassó András⁴, Nemes Csaba⁵, Biksi Imre⁶, Garamvölgyi Rita¹, Bajzik Gábor¹, Falk György⁷, Repa Imre¹

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen tanulmányukban bemutatják a légzőszervrendszer egyes elemeinek CT-vizsgálatra alapozott 3D modelljeit. Ismertetik a madarak légzsákjainak, a lovak orrmelléküregeinek anatómiai alapjait, ezen szervrendszerek vizsgálatának nehézségeit. Röviden bemutatják a vizsgálóeljárás technikai részleteit, irodalmi adatok alapján áttekintik a 3D rekonstrukciók során alkalmazott megoldásokat, azok lehetőségeit és korlátait. A cikksorozat első részében a madarak légzsákjainak és a lovak orr- és orrmelléküregeinek CT alapú 3D modelljeit mutatják be. A szerzők a cikksorozat második részben a ló térdízületének CT és MR képfúziós, csontos és lágyrészeket tartalmazó 3D modelljét mutatják be.

SUMMARY

Background: Computed tomography (CT) became an important diagnostic imaging method in the veterinary practice in the past decades. Data gained with the scanning can be used for 3D displaying of organs or body regions as well. The viewer softwares provide more and more options for reconstruction of the target area. Objectives: The authors present their own results about the 3D reconstruction of the avian air sacs (turkey) and the paranasal sinuses of the horse head based on data gained with a Siemens Definition Flash Dual CT.

Materials and Methods: A Siemens Definition Flash Dual Source 2 x 128 slices CT was used to scan 5 male turkey toms at the age of 20 weeks. A head of a 7 years old stallion cadaver was examined with the same scanner. The resulting DICOM data were reconstructed with the 3DSlicer software using manual and semi-automatic segmentations, focusing on the air sac system and the paranasal sinuses.

Results and discussion: Based on the Hounsfield Unit (HU) of the air the authors created 3D models of the avian air sac system, the nasal cavity, the guttural pouch and paranasal sinuses of the horse. The slice thickness of the scans (2 mm for the turkeys and 0.6 mm for the horse head) were sufficient to generate anatomically correct and detailed shape of the above-mentioned parts of the airways. The methods used for these reconstructions can be used for other organs, organ systems or body regions as well but require high contrast difference between the different anatomical structures or tissues. If such contrast deviations are not present naturally, contrast enhancement for the scanning procedures (*in vivo* contrast media administration, post mortem contrast enhancement methods) could be used. The resulted 3D anatomical models can be used in education, surgical planning and in animal breeding.

In the second part of this article series the authors will present the bony and soft tissue model of the equine stifle joint, based on CT and MR image fusion.

Az alkalmazott képalkotó eljárás

Az egyre fejlettebb keresztmetszeti képalkotó eszközök közül a CT használata a humán és állatorvosi diagnosztikában, valamint a kutatásban mindennaposnak számít. Ez az eljárás alkalmas arra, hogy non-invazív módon vizsgáljuk vele a testet felépítő különböző szövetek összetételét, a szervek alakját, az összetett szervrendszerek (keringési rendszer, központi idegrendszer, stb.) működését (36).

**A CT-adatok
feldolgozása során a
különböző szövetek
eltérő denzitásértékét
használják fel**

Képrekonstrukció

A CT-adatok feldolgozása során a különböző szövetek eltérő denzitásértékét használjuk fel. Azokban az esetekben, amikor a kívánt struktúra a környezetétől jól elkülöníthető (csontok, légutak, kontrasztanyag tartalmú erek, belek gázai) a szelekció könnyen kivitelezhető automata, félautomata módszerekkel. Amikor azonban a rekonstruálni kívánt szövettípusok között nem kielégítő a kontrasztkülönbség, a modellek elkészítése csak kézi módon, aprólékos munkával valósítható meg (2, 23, 37, 50).

A madarak légzőrendszer

A madarak esetében a tüdő nem tágulékony szervként a mellkas csigolyák és bordák által határolt dorsalis része és a septum horizontale között található (16, 17, 38). A légzsákok az elülső (cranialis) és hátulsó (caudalis) csoportra oszthatók (17, 29, 38, 45, 48). Az elülső (cranialis) csoportba tartoznak a páros cervicalis, páratlan clavicularis és a páros elülső thoracalis légzsákok. A hátulsó (caudalis) csoportba a páros hátulsó mellkasi és a páros hasi légzsákok tartoznak. A légzőszervrendszer ezen területének CT-vizsgálatával több szerző is foglalkozott. ARNOLD és mtsai egy hullámos papagáj tüdejének méreteit határozták meg az akkori készülékekkel lehetséges felbontással (1). Egy vizsgálat során a lármás darvakban (*Grus americana*) előforduló légzőszervi aspergillosis által okozott elváltozásokat mutatták be CT-felvételek és boncolási képek alapján (51).

Más szerzők, a különböző légzsákok méreteit is megmérték egészséges és légzőszervi elváltozásokat mutató papagájfélék CT-vizsgálata alapján (33, 34, 35, 55).

A fektetés szerepe a légzsákok vizsgálatában

A vizsgálataink során az állatok hasi fektetésben voltak. Ennek jelentőségét az adja, hogy háti fektetésben a madarak testüregében a hasi zsigerek "összenyomják" a hasi és a hátulsó mellkasi légzsákokat, így bármilyen mérés a fiziológiástól eltérő eredményeket adhat. Ezt a jelenséget több szerző is vizsgálta. KING és mtsai a fektetés hatását vizsgálták a házityúk légzésére. Megállapították, hogy háton az állatok légzésének frekvenciája a felére csökkent, valószínűleg a hasi és a hátulsó mellkasi légzsákok hasi zsigerek általi összenyomtatása miatt (31). Éber és altatott Humboldt pingvinek légzsákjainak különböző irányú fektetésben történt CT-alapú térfogatmérése alapján megállapítható volt, hogy az éber állatok légzsákjainak térfogata minden esetben nagyobb volt, mint az altatottaké és a háti helyzetben volt a legkisebb (42). Szintén a fektetés hatását vizsgálták rőt farkú ölyvek légzsákjainak méretére (39) háti, oldalsó és hasi pozícióban, ill. az inhalációs anesztéziára való befolyását (24). Az eredmények hasonlóak voltak. A különböző légzsákok és légutak részletes 3D rekonstrukcióját azonban egyik szakirodalmi hivatkozásban sem találtuk meg. A madarak légzsákjának alaki és térfogati elemzésére bevált módszer a különböző anyagokkal végzett feltöltés, majd az elkészült öntvény vizsgálata (16, 17, 26, 30, 32, 48). Egy összehasonlító vizsgálat során, összevetették a CT-adatokból számolt és a szilikonnal végzett feltöltés után mért térfogati értékeket. Az elemzésben megállapított-

**Madarokban a
légzsákok CT-
vizsgálatát hasi
fektetésben végezték,
mert a háti fektetésben
a hasi zsigerek "össze-
nyomják" a hasi és a
hátulsó mellkasi
légzsákokat**

ták, hogy a CT-adatok alapján kisebb térfogatokat mértek minden esetben (32). A leírásból azonban megállapítható, hogy a képalkotó vizsgálat során a madarak háti helyzetben voltak (ami megtévesztő térfogati értékeket ad), ill. a szilikonos feltöltés során az injektálás végpontját szubjektív módon állapították meg és a légzsákrendszer különböző elemeinek térfogatoméréséhez az elkészült öntvény pontos szétválasztásának is lehettek nehézségei.

A ló orr- és orrmelléküregei

A lovak orrmelléküregei a középső orrjáratban, az apertura nasomaxillarison keresztül kapcsolódnak az orrüreghez. Ezen a nyíláson keresztül egy közös kezdeti szakasz után (canalis sinunasalis communis) az elülső és a hátsó sinusrendszert két külön csatorna köti össze e nyílással. A canalis sinunasalis rostralis az elülső sinusokkal (sinus maxillaris rostralis, sinus conchae ventralis), míg a canalis sinunasalis caudalis a sinus maxillaris caudalis-al és ezen keresztül a sinus conchofrontalis-al, a sinus sphenopalatinus-al és a sinus conchae mediae-vel van kapcsolatban. Az üregrendszer mérete és tagoltsága nagy egyedi és életkorbeli eltéréseket mutat (6, 9, 43).

Fogászati kezelések tervezésekor (18), a légzőrendszert érintő megbetegedések képalkotó (14, 15, 40, 41, 53) valamint endoszkópiás (5, 49, 54) diagnosztikája során a lófej légtartó üregrendszerének és légzacskójának pontos anatómiai ismerete a klinikum számára elsődleges fontosságú. Ugyanakkor összetettsége és más módszerekkel nehezen megjeleníthető formája miatt az egyetemi oktatás során a hallgatók, ill. a gyakorló állatorvosok számára is nehezen elképzelhető struktúrákról van szó (9, 43, 56). A sinusrendszer korral történő térfogati és alakváltozásainak ismerete is kiemelkedő jelentőségű a lovak esetén, ugyanis a trepanáció szempontjából lényeges határok (septum sinuum maxillarium, bulla sinuum maxillarium) az állat korának előrehaladtával más helyzetben lesznek (57).

A koponya paranasalis sinusrendszereinek modellezését több fajon is elvégezték (3): kérődzőknön (20), nyulakon (10), majmokon (44) és macskaféléken (52). A ló (lófélék) fej és légtartó rendszereinek képalkotó anatómiájával és vizsgálatával több publikáció is foglalkozik (3, 6, 7, 14, 19, 27, 41, 53). PROBST és mtsai 15, különböző korú, nemű és fajtájú altatott ló klinikai CT-vizsgálatán keresztül mutatták be a különböző paranasalis sinusok elhelyezkedését és a közöttük található határokat, a nyílások méretét és irányát, azonban az adatokból nem készítettek 3D rekonstrukciót (47). BRINKSCHULTE és mtsai 18, 2–25 év közötti lótetem fejének CT-adataiból elkészítették a sinus maxillaris caudalis et rostralis, a sinus conchae dorsalis, medialis et ventralis, a sinus frontalis és a sinus sphenopalatinus rekonstrukcióját és térfogatainak mérését (6). Következtetésük szerint a 3D rekonstrukció kifejezetten alkalmas volt az orrmelléküregek térfogati viszonyainak feltérképezésére. Megállapították, hogy az általuk vizsgált állatokban a három utolsó (M1-M2-M3) fog gyökere egy kivétellel mindig elérte a paranasalis sinusrendszert. Ebben az egy esetben fordult elő, hogy az első moláris fog (M1) elülső gyökere nem érintkezett a melléküregekkel. Minden életkorban előfordult, hogy a zápfogak közül (cheek teeth) az utolsó négy gyökerei érintkeztek a sinusokkal. Egy következő cikkükben 19, 2–26 év közötti lótetem fején a különböző sinusok közötti közlekedő nyílásokat rekonstruálták 3D modelleken és ugyanazon a fejekről készült, fagyasztva fűrészelt szeleteken (7). Javaslatuk szerint a CT-re alapozott rekonstrukciós technika jól alkalmazható a különböző transnasalis, minimál invazív sebészeti tervezések során.

BAHAR és mtsai 5 arab telivér csikó fejről készült CT-felvételeket elemezték, majd fűrészelt szeleteken is ellenőrizték az üregek alakját és összevetették a 3D rekonstrukciókkal (3). Méréseik szerint az arab telivér csikókban a sinus frontalis volt a legnagyobb, míg a sinus conchae mediae a legkisebb eleme az orrmellék-

A lovak orrmelléküregeinek mérete és tagoltsága nagy egyedi és életkorbeli eltéréseket mutat

Összetettsége miatt más módszerekkel nehezen vizsgálható, szerkezete nehezen megjeleníthető

küregeknek. A jobb és bal oldali sinusrendszer térfogatának összehasonlításakor a sinus conchae ventralis, a sinus palatinus és a sinus sphenoidalis kivételével hasonló értékeket kaptak ($p < 0.05$).

SAJÁT VIZSGÁLAT

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkat a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében végeztük. A cikksorozatunkban bemutatott rekonstrukciók alapjául szolgáló CT-felvételek Siemens Definition Flash Dual Source 2 × 128 szeletes CT-berendezésen (Siemens AG, Erlangen, Németország) készültek.

Madarak légzsákjának 3D rekonstrukciója

Állatok

A vizsgálat során 5 bakpulykát (BUT BIG 6) vizsgáltunk meg a CT-berendezéssel, 20 hetes életkorban. Az állatkísérleteket a Somogy Megyei Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Élelmiszer-biztonsági és Állategészségügyi Igazgatóság 23.1/02322/009/2008. számú engedélye alapján végeztük. Az állatokat a vizsgálat napján szállítottuk az intézetbe, majd 5 órán át pihentettük őket. A madarak a CT-felvétel előtti fizikális vizsgálaton egészségesnek bizonyultak.

Előkészítés

Premedikáció és intubálás nélkül maszkos inhalációs altatást alkalmaztunk Isofluran (Abbott Laboratories Ltd.) és oxigén gázkeveréket lélegeztetve. A narkózis bevezetése során 5 percen keresztül 5 v/v% isoflurant és 2 v/v% oxigént használtunk, ezután az isoflurant 1,6 v/v%-ra csökkentettük a vizsgálat alatt. Az állatokat egy erre a célra szolgáló PVC félcsőbe helyeztük, hasi fekvésben.

CT-vizsgálat

Az állatokról 620, a teljes testet lefedő, harántsíki felvétel készült, az alábbi paraméterekkel: 120 kV, 80 mAs, kollimáció 0,75; pitch 1,25; spirál adatgyűjtési mód, 2 mm-es szeletvastagság. A látómező (512 × 512-es mátrix) által befoglalt terület centruma a testüreg középpontjában haladt végig. A rekonstrukcióhoz alkalmazott algoritmus B30f volt.

Az adatok feldolgozása, a légzsákok 3D modellezése

A modellezés során, a használt szoftverben egy új réteget hozunk létre (label), amin az egyes képleteket kézzel, félautomata vagy automata módon bejelöljük. Ennek során az adott szövettípusra (levegő, csont, izom, erek, zsigerek, idegszövet stb.) jellemző denzitásértéket (Hounsfield Unit, HU) kiválasztva (küszöböléses módszer) jelöljük be a szervek, szervrendszerek határait. A labelen különböző színekkel rendelünk az egyes képletekhez, a program a szegmentálás befejeztével ezekből a rétegekből építi fel a 3D modellt, ahol az eltérő színekkel jelölt elemek alkotják a különböző szerveket, szervrendszereket. A modellek előállításánál során a legegyszerűbb az automata szegmentálás. Ezt olyan esetekben tudjuk alkalmazni, ha a rekonstruálni kívánt szövet vagy térfogati elem a környezetétől jól elkülönülő denzitásértékkel rendelkezik. A félautomata szegmentálást akkor használunk, ha a különböző szövettípusok denzitásértékei nem különülnek el egymástól megfelelő módon és néhány helyen kézzel kell a határokat megjelölni, javítani. A legidőigényesebb eljárás a kézi szegmentálás. Ekkor, a különálló szeleteken látható képleteket egyesével, kézzel különíti el a vizsgáló személy, általában a megjelenített intenzitást alapul véve (21). A kapott 3D modellt a

A madarak légzsákrendszerét 5 db 20 hetes bakpulykán vizsgálták

Az állatokon premedikáció és intubálás nélküli maszkos inhalációs altatást és hasi fekvést alkalmaztak

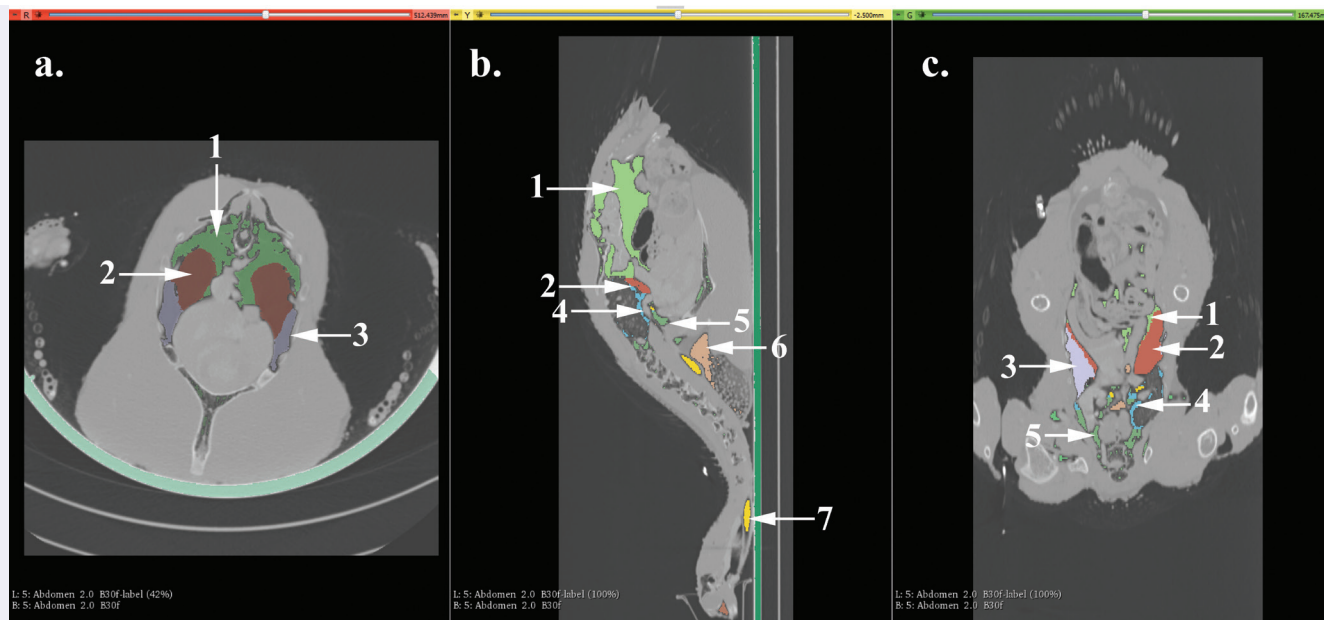
A modellezés során az adott szövettípusra jellemző denzitásértéket kiválasztva jelölték be a szervek, szervrendszerek határait

megfelelő formátumban elmentve (.stl, .obj) később más programokkal módosíthatjuk, 3D nyomtatásra, virtuális megjelenítésre alkalmassá tehetjük, animációk készítéséhez használhatjuk.

A bemutatott modellek előállításához a 3DSlicer (v. 4.7.0 *nightly build*), szabad forráskódú programot használtuk. A nyers modelleket a Meshmixer (Autodesk) ingyenes programmal javítottuk (felületi hibák, térfogati hiányosságok), a pontos anatómiai megjelenítést szem előtt tartva.

A kiválasztott felvételsorozatot a program DICOM browser moduljával nyitottuk meg, majd a három nézeti sorozatokon (transversalis, sagittalis és horizontális) beállítottuk a kívánt szervrendszer vizsgálatához legmegfelelőbb ablakolási paramétereket. Az ablakmagasságnak (*window level, WL*) 300 HU értéket, míg az ablakszélességnek (*window width, WW*) 4700 HU értéket választottunk. Ezekkel a paraméterekkel a különböző légszakokat (hasi és a mellkasi légszakrendszer) elválasztó savós hárttyák is elkülöníthetők voltak. A rekonstrukciót az Editor modul segítségével végeztük, manuális módban. Beállítottuk a légutakra jellemző küszöbértékeket (-1024 HU és -850 HU), majd a Paint effect, Draw effect, Wand effect és Level tracing editorokkal az egyes szeleteken bejelöltük a légszakokat, külön színnel jelölve az elülső (cervicalis, clavicularis és thoracicus cranialis) és a hátulsó (thoracicus caudalis és abdominalis) rendszereket. A három különböző nézetben folyamatosan ellenőriztük, hogy a kézi szegmentálás során az adott levegőtartalmú üreg a megfelelő légszakhoz tartozik-e (1. ábra). Az elkészült réteget, ami a különböző színekkel jelölt légszakokat tartalmazta, a program Model maker moduljával 3D modellekké alakítottuk, majd a 3D nézetben ellenőriztük (2. ábra).

Az alkalmazott beállításokkal a különböző légszakokat elválasztó savós hárttyák is elkülöníthetők voltak



1. ÁBRA. A pulyka légszakjai a 3 nézeti CT-felvételeken, külön színekkel jelölve

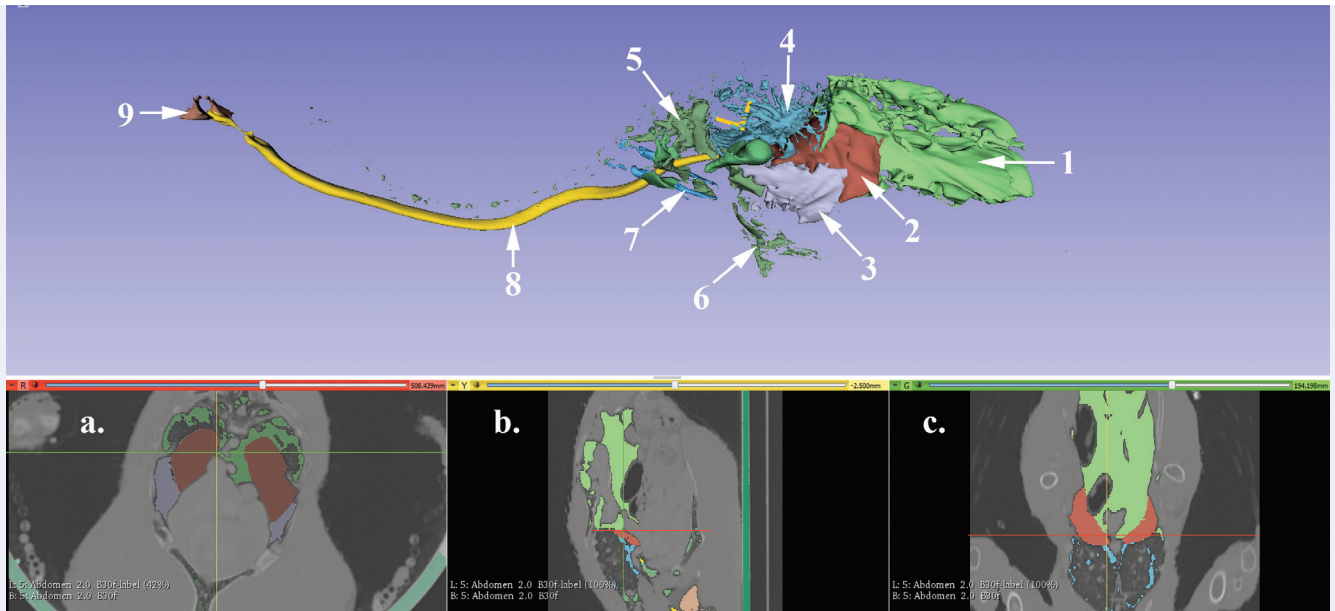
a. transversalis nézet, b. sagittalis nézet, c. horizontális nézet

1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. saccus thoracicus cranialis, 4. systema bronchiale, 5. saccus clavicularis,
6. levegő a begyben, 7. trachea

FIGURE 1. The different air sacs of the turkey labelled on the 3 main views

a. transverse view, b. sagittal view, c. horizontal view.

1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. saccus thoracicus cranialis, 4. bronchi, 5. saccus clavicularis, 6. air trapped in the gizzard, 7. trachea



2. ÁBRA. A légzsákok 3D nézete egy kompozit képen

1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. saccus thoracicus cranialis, 4. systema bronchiale, 5. saccus clavicularis, 6. diverticulum sternale (saccus clavicularis), 7. diverticulum coracoideum (saccus clavicularis), 8. trachea, 9. sinus infraorbitalis

FIGURE 2. 3D view of the air sacs as seen on a composite image

1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. saccus thoracicus cranialis, 4. bronchial system, 5. saccus clavicularis, 6. diverticulum sternale (saccus clavicularis), 7. diverticulum coracoideum (saccus clavicularis), 8. trachea, 9. sinus infraorbitalis

A ló orr- és orrmelléküregeinek valamint légzacskójának 3D rekonstrukciója

A preparátum előkészítése a vizsgálatra

Az orr- és melléküregek vizsgálatához egy 7 éves magyar félvér mén tetemének fejét használták

A vizsgálathoz egy 7 éves magyar félvér mén tetemének fejét használtunk. A fejet egy napig 4 °C-on, hűtőkamrában tároltuk, miközben többször átforgattuk. Ez utóbbira a boncolás során az esetlegesen az orrmelléküregekbe jutott folyadékok (vér, regurgitálódott gyomortartalom) minél jobb eltávolítása miatt volt szükség. A fejet a CT-vizsgálóasztalra helyeztük, hasi fektetésnek megfelelő helyzetben.

CT-vizsgálat

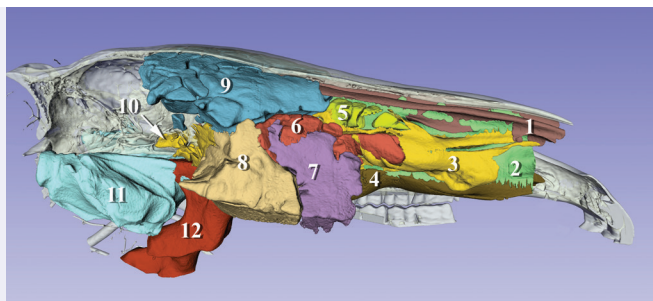
A fejről, az első nyakcsigolya síkjáig 2780 harántsíkú felvétel készült, az alábbi paraméterekkel: 120 kV, 80 mAs, kollimáció 0,6; pitch 0,8; spirál adatgyűjtési mód, 0,6 mm-es szeletvastagság. A vizsgálat során a látómező (512 × 512-es mátrix) által határolt terület centruma a szájüreg közepén, vízszintes síkban volt. A rekonstrukcióhoz alkalmazott algoritmus H30s volt.

Az adatok feldolgoása, 3D modell elkészítése

A DICOM formátumú adatokat a 3DSlicer programmal elemeztük és elkészítettük a rekonstrukciókat a madár légzsákoknál alkalmazott beállításokkal és eszközökkel a korábban ismertetett módon. Ezekkel a paraméterekkel a fej légtartalmú üregei (orrüreg, orrmelléküregek) jól elkülöníthetők voltak a csontos és légyszervi képletektől, így bejelölésre kerültek az orrjáratok, a sinusok, üregenként külön színnel

A madarak esetében ismertetett beállításokat és eszközöket alkalmazták a lófej vizsgálatakor is

jelölve (3. ábra). A három különböző nézetben a szegmentálás során folyamatosan ellenőriztük, hogy az adott levegőtartalmú üreg a sinusrendszer mely részletéhez tartozik. Az elkészült réteget, ami a különböző színekkel jelölt sinusokat és orrjáratokat tartalmazta, a program *Model maker* moduljával 3D modellekké alakítottuk, majd a 3D nézetben ellenőriztük (4. ábra).

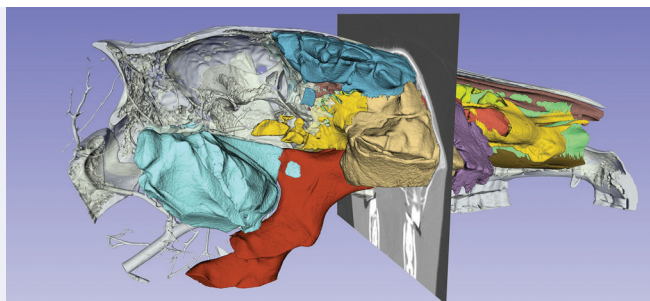


3. ÁBRA. A ló fejének sinusai különböző színekkel jelölve a 3D rekonstrukción

1. meatus nasi dorsalis, 2. meatus nasi communis, 3. meatus nasi medius, 4. meatus nasi ventralis, 5. sinus conchae dorsalis, 6. sinus conchae ventralis, 7. sinus maxillaris cranialis, 8. sinus maxillaris caudalis, 9. sinus frontalis, 10. sinus sphenopalatinus, 11. diverticulum tubae auditivae, 12. nasopharynx

FIGURE 3. The sinuses of the horse head labelled with different colours on the 3D reconstruction

1. meatus nasi dorsalis, 2. meatus nasi communis, 3. meatus nasi medius, 4. meatus nasi ventralis, 5. sinus conchae dorsalis, 6. sinus conchae ventralis, 7. sinus maxillaris cranialis, 8. sinus maxillaris caudalis, 9. sinus frontalis, 10. sinus sphenopalatinus, 11. diverticulum tubae auditivae, 12. nasopharynx



4. ÁBRA. A lófej sinusainak és légzacskójának 3D rekonstrukciója. A transversalis CT-felvételen ellenőrizhető az adott üreg pozíciója. Az üregrendszer színekkel jelölése a 7. ábrával megegyező

FIGURE 4. 3D reconstruction of the guttural pouch and the sinuses of the horse head. The position of a sinus can be checked on the transverse CT image. The color codes are the same as on Figure 7.

EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

Légzsákok 3D rekonstrukciója

A légzőszervek (légutak, légzsákok, orrmelléküregek, légzacskó) rekonstrukciója során a levegő (-1024 – -850 HU) és a környező szövetek (-200 – 300 HU) denzitáértékének nagy különbsége akár az automata szelektálást is lehetővé tenné. A légzsákok között található kötőszövetes sövények megjelenítése az alkalmazott beállításokkal lehetséges volt (5. ábra), így a kézi szegmentációval az egyes üregeket egymástól el tudtuk különíteni. A hasi légzsákok szegmentációja során a nehézséget a belekben található gázok és a bélkacsok közé benyúló kiöblösödések elkülönítése jelentette, de a három síkban történő megjelenítéssel a kérdéses részek mindig azonosíthatók maradtak (6b. ábra). A csípőízület (diverticulum acetabulare), a medence körüli (diverticulum iliosynsacrale) és a vesék körüli (diverticula perirenalialia) kitüremkedései jól elkülöníthetőek az elkészült modellen, a vesékhez térő függesztő szalagok jól ábrázolódtak a CT-felvételeken (6a. ábra). A mellkasi légzsákok és a hasi légzsákok között található határvonal azonosítása minden szeleten lehetséges volt (5. ábra).

Vizsgálatainkat hasi fektetésben végeztük, altatott madáron, ami a térfogatok kismértékű csökkenését eredményezheti az irodalmi adatok alapján (24, 39, 42).

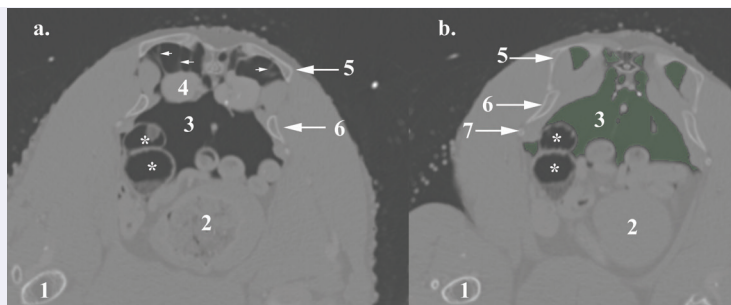
A légzsákok között található kötőszövetes sövények megjelenítése az alkalmazott beállításokkal lehetséges volt



5. ÁBRA. A hasi és a hátulsó mellkasi légzsákok közötti sötét nyilakkal jelölve (transversalis nézet)
1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. lobi hepatis, 4. cor, 5. sternum

FIGURE 5. The septum between the abdominal and the caudal thoracic air sacs, marked with the arrows (transverse view)

1. saccus abdominalis, 2. saccus thoracicus caudalis, 3. lobi hepatis, 4. cor, 5. sternum



6. ÁBRA. A vese szalagjai a CT felvételen, nyilakkal jelölve (a.) és a belekben található gáz mindkét képen csillaggal jelölve (transversalis nézet)

1. tibiotarsus, 2. ventriculus, 3. saccus abdominalis, 4. ren sinister, 5. ala postacetabularis ilii, 6. os ischiadicum, 7. os pubis

FIGURE 6. The suspensory ligaments of the kidneys marked with arrows on picture a. The intestinal gas marked with asterisks on both images. (transverse views)

1. tibiotarsus, 2. ventriculus, 3. abdominal air sac, 4. left kidney, 5. ilium, postacetabular wing, 6. body of ischium, 7. body of pubis

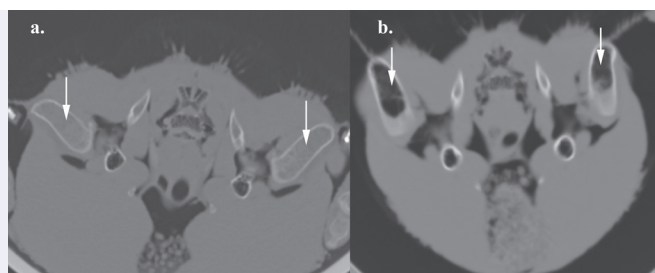
Pulykában a legtöbb esetben nem található különálló hátulsó mellkasi légzsák

Azonban a kötözéssel járó stressz miatt megemelkedett légzésfrekvencia és az esetleges elmozdulásokból eredő műtermékek a felvételeket értékelhetetlenné tehetik, ami a vizsgálatok megismétlésével, az állatok számára nagyobb stresszsel és sugárterheléssel járhattak volna.

Hivatkozások alapján a pulykában a legtöbb esetben (90%-ban) nem található különálló hátulsó mellkasi légzsák (4, 11, 12, 29, 46, 48). Az általunk megvizsgált egyedekben ez nem volt minden esetben eldönthető, 4 állat esetében nem lehetett minden kétséget kizáróan elkülöníteni az elülső és a hátulsó mellkasi légzsákokat. A rekonstrukció során a tüdőben található levegőt külön színnel jelöltük, amely a 3D rekonstrukción jól ábrázolja az elülső légzsákrendszerhez térő medioventrobronchusokat és a légzsákrendszer hátulsó részeihez térő fő- és lateroventrobronchusokat. A tracheát és a syrinx után a septum horizontálén át a tüdőbe lépő főhörgőket külön színnel jelenítettük meg. A páratlan clavicularis légzsák a leginkább tagolt madarakban. Kiöblösödései pneumatizálják a karcsontot (diverticulum humerale), a hollócsőr-csontot (diverticulum coracoideum), a mellcsontot (diverticulum sternale), a vállízület környékét (diverticulum axillare), körbeveszi a trachea-t, a syrinx-et, a nyelőcsövet és a nagyereket. A csontok pneumatizáltságának foka fajonként és életkoronként eltérő (25, 28), pulykában ezt a jelenséget még nem vizsgálták. Az általunk vizsgált 5 állat esetében előfordult, hogy a humerus teljes hosszában pneumatizált volt, egy madár esetében azonban a karcsont teljes egészében zsírdenzitású (-160 – -20 HU) szövettel volt kitöltött (7a. és 7b. ábra). A sternumban a légtartó területek leginkább a carina sterni környékén voltak láthatók. A bordákban található légtartó

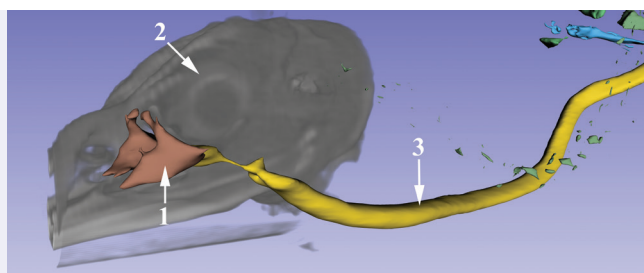
üregrek rekonstrukciója kis méretük miatt legtöbbször nem volt lehetséges. Természetesen figyelembe kell venni a megjelenítendő üreg méretét és a térbeli felbontóképesség egymáshoz való viszonyát, ugyanis ezek a kis, levegővel telt részek olyan térfogati elemeket (voxel) eredményeznek, amelyek különböző arányban tartalmaznak levegőt és az azt körülvevő szöveteket. Ilyen esetben a voxel a benne található szövetek denzitásának súlyozott átlag értékét (HU) kapja (részleges térfogat hatás - *partial volume effect*), ezáltal megnehezítve annak a struktúrának a HU alapján történő szöveti besorolását (2). A cervicális légzsák egyes elemei (*diverticula vertebralia* és *supramedullaria*) a csigolyák területén felismerhetők voltak, azonban *canalis transversarius*ban haladó *ductus intertransversarius* (11) különállóan nem volt megjeleníthető.

Saját munkánkban az élettani helyzethez (24, 31, 39, 42, 46) jobban közelítő hasi fektetésben vizsgáltuk az állatokat és a különböző térfogati egységeket pontosan meg tudtuk jelölni, így nagyobb elemszám esetén a térfogat és felület mérésekből megfelelő statisztikai elemzést lehet elvégezni. Rekonstrukcióink így hozzájárulhatnak a pulyka, mint gazdasági haszonállat légzőrendszerének pontosabb megismeréséhez és az egyes légzőszervi megbetegedések (*mycoplasmosis*, *ornithobacteriosis*, *rhinotracheitis*) által okozott elváltozások helyének pontos azonosításához (8, 22, 51). Az állatok fejében található sinus infraorbitalis, mint a légzőrendszernek a patológiai folyamatok szempontjából fontos része (*sinusitis*, "duzzadt fej") nem állt vizsgálataink fókuszában. Bár az általunk használt készülékkel jól ábrázolható volt (8. ábra), de az igazán részletes megjelenítéséhez már a micro-CT által kínált felbontásra lenne szükség (13, 37).



7. ÁBRA. Az első képen (a.) a humerus ürege zsírral, míg a második képen (b.) levegővel kitöltött. Transversalis felvételek, a mellkas bejáratának síkjában

FIGURE 7. On picture a. the humerus is filled with fat, on picture b. it contains air. Transverse images at the thoracic inlet



8. ÁBRA. A sinus infraorbitalis rekonstrukciója a 3D felvétel. A pulyka fejének struktúráit a Volume rendering modullal jelenítettük meg

1. sinus infraorbitalis, 2. anulus sclerae, 3. trachea

FIGURE 8. The 3D model of the infraorbital sinus placed in the volume rendered head reconstruction of the turkey

1. sinus infraorbitalis, 2. anulus sclerae, 3. trachea

A ló orr- és orrmelléküregeinek és légzacskójának 3D rekonstrukciója

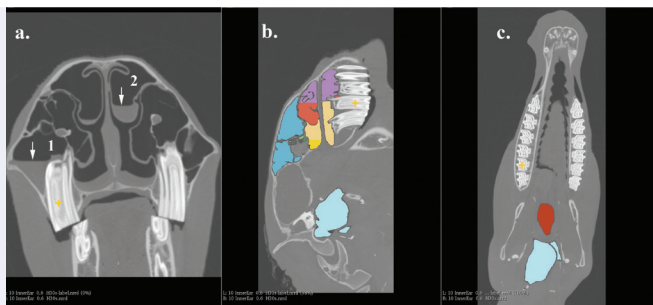
Az alkalmazott beállításokkal a ló fejének légtartalmú üregei jól vizsgálhatók voltak. A rekonstrukciót kézi módszerrel végeztük, az automatikus szegmentációs módszereket a légzacskó esetében, félautomata azonosítást csak bizonyos esetekben tudtunk végezni. Az üregrendszer teljes modellezése igen időigényes feladat volt (18 h). Először az egyértelműen és jól körülhatárolt részeket jelöltük meg félautomata módon (*Wand effect*), majd a nem csontos vagy kötőszövetes határral rendelkező határokat (*apertura frontomaxillaris*, *sinus conchae ventralis* és *sinus maxillaris cranialis* közötti határ, orrjáratok különböző részei) "rajzoltuk" be. A sinusrendszer anatómiai határai (6, 7, 9, 43, 47, 56, 57) a legtöbb ponton megfelelően azonosíthatók voltak, bár egyes területeken a

Az alkalmazott beállításokkal a ló fejének légtartalmú üregei jól vizsgálhatók voltak, a rekonstrukciót kézi módszerrel végezték

rekonstrukciót végző személy (állatorvos-anatómus) egyéni döntése alapján kerültek berajzolásra:

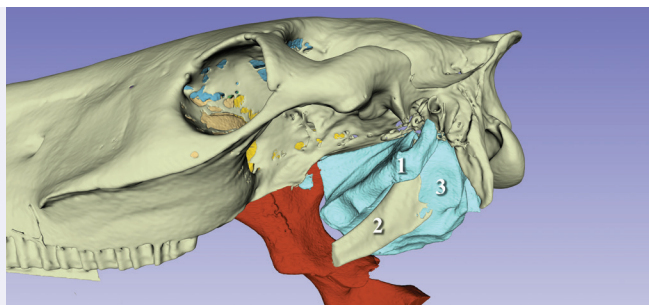
- *sinus sphenopalatinus* - *sinus maxillaris caudalis*. A határvonalat az os palatinum lamina perpendicularisának megfelelő vonalban húztuk meg.
- *sinus frontalis* - *sinus conchae dorsalis*. A felső orrkagylóban, rostralisán található kisebb, elkülönült üregeket jelöltük külön színnel, a caudalis, a sinus frontalistól nem elkülönülő, azzal egy egységet képező sinus conchofrontalis-t egy térfogatként ábrázoltuk.
- *sinus conchae ventralis* - *sinus maxillaris rostralis*. Az általunk vizsgált fejen az apertura conchomaxillaris a canalis infraorbitalis felett teljes hosszában azonosítható volt, a két üreg közötti határvonalként ez utóbbi képlet felső szélét választottuk.
- *meatus nasi communis* - *meatus nasi dorsalis*, *meatus nasi communis* - *meatus nasi medius*, *meatus nasi communis* - *meatus nasi ventralis*. A közös orrjárat területének, az orrüreg elején az orrsövény, plica recta és plica alaris közötti, majd caudalis irányban haladva, az orrsövény és az alsó, ill. felső orrkagyló közötti területet választottuk. Ezt a műveletet szeletenként teljesen manuális szegmentálással végeztük, ezért a közös orrjárat modelljének felszíne egyenetlen lett a rekonstrukció során.
- *meatus nasi communis* - *meatus nasopharyngeus*. A határt a choana területén választottuk ki, a csontos és lágyszövetes átmenetnél.
- *sinus sphenoidal* - *sinus palatinus*: a két üreget egységes színnel jelenítettük meg.

Az előkészítés során a vizsgálandó preparátum átforgatásával igyekeztünk a boncolás során esetlegesen az orrmelléküregekbe jutott folyadék (vér, nyálka, az emésztőrendszerből esetlegesen visszajutott tartalom) teljes körű eltávolítására, azonban ez nem minden területen sikerült. A bal oldali sinus maxillaris caudalisban, a zápfogak gyökerének síkjáig (kb. 30-35 mm), a jobb oldali sinus maxillaris caudalisban kb. 10-15 mm-es magasságig, ill. a jobb sinus conchofrontalisban kb. 8-10 mm-nyi magasságban találtunk folyadékot (a felszín síkja mindig vízszintes volt, 9. ábra), amelyet denzitása alapján (5-85 HU) nem tudtunk pontosan beazonosítani. A szerzők ismerete szerint a lovak képalkotó vizsgálata szinte minden esetben hát, ill. oldalsó fektetésben történik, ezért az esetleges folyadéktartalom az üregrendszerben nem a fiziológiás helyzetben ábrázolódik (27), hanem a sinusok dorsalis és oldalsó területén gyűlik össze, mint esetünkben is történt.



9. ÁBRA. Folyadék (nyílak) a bal oldali sinus maxillaris caudalisban (1) és a jobb oldali sinus conchofrontalisban (2). A transversalis felvételt a. az M2 síkjában készült. b. sagittalis sík, c. horizontális sík

FIGURE 9. Fluid filled areas (arrows) at the bottom of the left caudal maxillary (1) and the right conchofrontal sinus (2). The transversal plane a. is at the second molar teeth, b. sagittal plane, c. horizontal plane



10. ÁBRA. A légzacskó sinus lateralisa (1) és sinus medialisa (3) között látható a nyelvcsonst stylohyoideuma (2)

FIGURE 10. Between the lateral (1) and the medial (3) sinus of the guttural pouch the stylohyoideum (2) can be seen

A légzacskó teljes térfogatát egy színnel jelöltük, a különböző részeit nem határoltuk el (sinus medialis és recessusai, sinus lateralis). A modellt tanulmányozva azonban felismerhető a nyelvcsont stylohyoideumának benyomata, amely a két részt egymástól elhatárolja (10. ábra). A tuba auditiva teljes terjedelmében nem volt megjeleníthető, ezért a légzőrendszer többi elemétől elkülönülve ábrázolódik a 3D rekonstrukciókon. Mivel az általunk elkészített modell csak egy darab lótetem fejének vizsgálatából készült, célja nem a sinusrendszer térfogati viszonyainak statisztikai elemzése volt, hanem a CT-alapú 3D modellezés bemutatása a fej légtartó üregeinek vizsgálata során.

A CT-alapú rekonstrukció jól használható módszer a légtartó szervrendszerek tanulmányozására, térfogati és felszíni viszonyainak összehasonlító elemzésére

Vizsgálataink és a szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a CT-alapú rekonstrukció a légtartó szervrendszerek tanulmányozására, térfogati és felszíni viszonyainak összehasonlító elemzésére jól használható módszer. Az elkészült modellek nem csak a kutatásban, hanem az oktatásban is jól használhatók, mivel olyan összetett szervrendszerek is az élettani helyzetnek megfelelő módon tanulmányozhatók segítségével, amelyeket a hagyományos eljárásokkal csak nehezen lehet bemutatni (50). A mellékletben is szereplő 3D PDF file-okban egyszerűen terjeszthetők, Adobe Acrobat readerben megjeleníthetők, nem kell hozzájuk nagy teljesítményű számítástechnikai háttér és speciális programok, így hasznos kiegészítői lehetnek tudományos publikációknak és oktatási anyagoknak.

IRODALOM

- ARNOLD, P. – GOETTE, W. – HERZOG, K.: Röntgendiagnostik beim Kleinvogel. *Tagungsberichte Internationales Symposium für Zoo- und Wildtiere* 1983. 39–44.
- AYKAC, D. – HOFFMAN, E. A. et al.: Segmentation and analysis of the human airway tree from three-dimensional X-ray CT images. *IEEE Trans Med Imaging*, 2003. 22. 940–950.
- BAHAR, S. – BOLAT, D. et al.: Two- and Three-Dimensional Anatomy of Paranasal Sinuses in Arabian Foals. *J. Vet. Med. Sci.*, 2014. 76. 37–44.
- BAUMEL, J. J. (Ed.): Handbook of avian anatomy: Nomina Anatomica Avium, 2nd edition. Publications of the Nuttall Ornithological Club, Cambridge, Massachusetts. No. 23. 1993.
- BELL, C. – TATARNIUK, D. et al.: Endoscope-guided balloon sinuplasty of the equine nasomaxillary opening. *Vet. Surg.*, 2009. 38. 791–797.
- BRINKSCHULTE, M. – BIENERT-ZEIT A. et al.: The sinonasal communication in the horse: examinations using computerized three-dimensional reformatted renderings of computed-tomography datasets. *BMC Vet. Res.*, 2014. 10. 72.
- BRINKSCHULTE, M. – BIENERT-ZEIT A. et al.: Using semi-automated segmentation of computed tomography datasets for three-dimensional visualization and volume measurements of equine paranasal sinuses. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2013. 54. 582–590.
- BROWN, R. E. – BRAIN, J. D. – WANG, N.: The avian respiratory system: a unique model for studies of respiratory toxicosis and for monitoring air quality. *Environ. Health Perspect.*, 1997. 105. 188–200.
- BUDRAS, K. D. – RÖCK, S.: Atlas der Anatomie des Pferdes. 6. Hannover, Schlütersche, 2009.
- CASTELEYN, C. – CORNILLIE P. et al.: Topography of the rabbit paranasal sinuses as a prerequisite to model human sinusitis. *Rhinology*, 2010. 48. 300–304.
- COVER, M. S.: Gross and microscopic anatomy of the respiratory system of the turkey. III. The air sacs. *Am. J. Vet. Res.*, 1953. 14. 239–245.
- CRESPO, R. – YAMASHIRO, S. – HUNTER, D. B.: Development of the thoracic air sacs of turkeys with age and rearing conditions. *Avian Dis.*, 1998. 42. 35–44.
- DANNER, R. M. – GULSON-CASTILLO, E. R. et al.: Habitat-specific divergence of air conditioning structures in bird bills. *The Auk*, 2016. 134. 65–75.
- DE ZANI, D. – BORGONOVO, S. et al.: Topographic comparative study of paranasal sinuses in adult horses by computed tomography, sinuscopy, and sectional anatomy. *Vet. Res. Commun.*, 2010. 34. Suppl. 1. 13–16.
- DIXON, P. M. – PARKIN, T. D. et al.: Equine paranasal sinus disease: a long-term study of 200 cases (1997–2009): ancillary diagnostic findings and involvement of the various sinus compartments. *Equine Vet. J.*, 2012. 44. 267–271.
- DUNCKER, H. R.: Structure of the avian respiratory tract. *Respir. Physiol.*, 1974. 22. 1–19.
- DUNCKER, H. R.: The lung air sac system of birds. A contribution to the functional anatomy of the respiratory apparatus. *Ergeb. Anat. Entwicklungsgesch.*, 1971. 45. 7–171.
- EARLEY, E. T. – RAWLINSON, J. E. et al.: Complications associated with cheek tooth extraction in the horse. *J. Vet. Dent.*, 2013. 30. 220–235.
- EL-GENDY, S. A. – ALSAFY, M. A. et al.: Computed tomography and sectional anatomy of the head cavities in donkey (*Equus asinus*). *Anat. Sci. Int.*, 2014. 89. 140–150.
- FARKE, A. A.: Evolution and functional morphology of the frontal sinuses in Bovidae (Mammalia: Artiodactyla), and implications for the evolution of cranial pneumaticity. *Zool. J. Linn. Soc.-Lond.*, 2010. 159. 988–1014.
- FEDOROV, A. – BEICHEL, R. et al.: 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging*, 2012. 30. 1323–1341.
- FEDDE, M. R.: Relationship of structure and function of the avian respiratory system to disease susceptibility. *Poult. Sci.*, 1998. 77. 1130–1138.

23. FREDIEU, J. R. – KERBO, J. et al.: Anatomical Models: a Digital Revolution. *Med. Sci. Educ.*, 2015. 25. 183–194.
24. HAWKINS, M. G. – MALKÁ, S. et al.: Evaluation of the effects of dorsal versus lateral recumbency on the cardiopulmonary system during anesthesia with isoflurane in red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*). *Am. J. Vet. Res.*, 2013. 74. 136–143.
25. HOGG, D. A.: The development of pneumatization in the postcranial skeleton of the domestic fowl. *J. Anat.*, 1984. 139. 105–113.
26. JAENSCH, S. M. – CULLEN, L. – RAIDAL, S. R.: Comparison of Endotracheal, Caudal Thoracic Air Sac, and Clavicular Air Sac Administration of Isoflurane in Sulphur-Crested Cockatoos (*Cacatua galerita*). *J. Avian Med. Surg.*, 2001. 15. 170–177.
27. KAMINSKY, J. – BIENERT-ZEIT, A. et al.: Comparison of image quality and in vivo appearance of the normal equine nasal cavities and paranasal sinuses in computed tomography and high field (3.0 T) magnetic resonance imaging. *BMC Vet. Res.*, 2016. 12. 13.
28. KING, A. S.: The aerated bones of *Gallus domesticus*. *Acta Anat.*, 1957. 31. 220–230.
29. KING, A. S. – ATHERTON, J. D.: The identity of the air sacs of the turkey *Meleagris gallopavo*. *Acta Anat.*, 1970. 77. 78–91.
30. KING, A. S. – PAYNE, D. C.: The maximum capacities of the lungs and air sacs of *Gallus domesticus*. *J. Anat.*, 1962. 96. 495–503.
31. KING, A. S. – PAYNE, D. C.: Normal breathing and the effects of the posture in *Gallus domesticus*. *J. Physiol.*, 1964. 174. 340–347.
32. KRAUTWALD-JUNGHANNS, M. E. – VALERIUS, K. P. et al.: CT-assisted versus silicone rubber cast morphometry of the lower respiratory tract in healthy amazons (genus *Amazona*) and grey parrots (genus *Psittacus*). *Res. Vet. Sci.*, 1998. 65. 17–22.
33. KRAUTWALD-JUNGHANNS, M. E.: Computertomographie des aviären Respirationstraktes. Blackwell Wissensch., Berlin, 1998.
34. KRAUTWALD-JUNGHANNS, M. E. – SCHUHMACHER, F. – SOHN, H. G.: Examination of the lower respiratory tract of Psittacinae and Amazoninae species by means of reconstructive transmission computed tomography. 2: Examination of parrots with respiratory symptoms. *Tierarztl. Prax. Ausg. K. Kleintiere Heimtiere*, 1998. 26. 139–149.
35. KRAUTWALD-JUNGHANNS, M. E. – PEES, M. et al.: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren. Vögel – Kleinsäuger – Reptilien. Schlütersche Verlag, 2009.
36. LAURIDSEN, H. – HANSEN, K. et al.: Inside out: modern imaging techniques to reveal animal anatomy. *PLoS ONE*, 2011. 6. e17879.
37. LAUTENSCHLAGER, S. – BRIGHT, J. A. – RAYFIELD, E. J.: Digital dissection – using contrast-enhanced computed tomography scanning to elucidate hard- and soft-tissue anatomy in the Common Buzzard *Buteo buteo*. *J. Anat.*, 2014. 224. 412–431.
38. MAINA, J. N. – NATHANIEL, C. : A qualitative and quantitative study of the lung of an ostrich, *Struthio camelus*. *J. Exp. Biol.*, 2001. 204. 2313–2330.
39. MALKÁ, S. – HAWKINS, M. G. et al.: Effect of body position on respiratory system volumes in anesthetized red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*) as measured via computed tomography. *Am. J. Vet. Res.*, 2009. 70. 1155–1160.
40. MCCANN, J. L. – DIXON, P. M. et al.: Clinical anatomy of the equine sphenopalatine sinus. *Equine Vet. J.*, 2004. 36. 466–472.
41. MORROW, K. L. – PARK, R. D. et al.: Computed tomographic imaging of the equine head. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 2000. 41. 491–497.
42. NEVITT, B. N. – LANGAN, J. N. et al.: Comparison of air sac volume, lung volume, and lung densities determined by use of computed tomography in conscious and anesthetized Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) positioned in ventral, dorsal, and right lateral recumbency. *Am. J. Vet. Res.*, 2014. 75. 739–745.
43. NICKEL, R. – WILKENS, H.: Zur Topographie der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen beim Pferd. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr.*, 1958. 7. 173–180.
44. NISHIMURA, T. D. – TAKAI, M. et al.: Variation in maxillary sinus anatomy among platyrrhine monkeys. *J. Hum. Evol.*, 2005. 49. 370–389.
45. PONGANIS, P. J. – ST LEGER, J. et al.: Penguin lungs and air sacs: implications for baroprotection, oxygen stores and buoyancy. *J. Exp. Biol.*, 2015. 218. 720–730.
46. PETNEHAZY, O. – BENCZIK, J. – TAKACS, I. – PETRASÍ, Z. – SÜTŐ, Z. – HORN, P. – REPA, I.: Computed tomographical (CT) anatomy of the thoracoabdominal cavity of the male turkey (*Meleagris gallopavo*). *Anat. Histol. Embryol.*, 2012. 41. 12–20.
47. PROBST, A. – HENNINGER, W. et al.: Communications of normal nasal and paranasal cavities in computed tomography of horses. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2005. 46. 44–48.
48. RAGAB, S. A. – REEM, R. T.: Macroscopical anatomy of the air sacs of the turkey. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 2016. 3. 149–159.
49. RADCLIFFE, R. M. – MESSIAEN, Y. et al.: Transnasal, Endoscopically Guided Skull-Based Surgery by Pharyngotomy for Mass Removal from the Sphenopalatine Sinus in a Horse. *Vet. Surg.*, 2016. 45. 1108–1117.
50. REINITZ, L. Z. – BAJZIK, G. – GARAMVÖLGYI, R. – PETNEHÁZY, Ö. – LASSÓ, A. – ABONYI-TÓTH, Z. – LÓRINCZ, B. – SÓTONYI, P.: Comparison between magnetic resonance imaging estimates of extracranial cerebrospinal fluid volume and physical measurements in healthy dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2015. 56. 658–665.
51. SCHWARZ, T. – KELLEY, C. et al.: Computed tomographic anatomy and characteristics of respiratory aspergillosis in juvenile whooping cranes. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2016. 57. 16–23.
52. SILICEO, G. – SALESA, M. J. et al.: Anatomía comparada de los senos frontales en el férido dientes de sable primitivo *Promegantereon ogygia* (Felidae, Machairodontinae) y felinos actuales de tamaño similar. *Estudios Geológicos*, 2011. 67. 277–290.
53. SMALLWOOD, J. E. – WOOD, B. C. et al.: Anatomic reference for computed tomography of the head of the foal. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2002. 43. 99–117.
54. TATARNIUK, D.M. – BELL, C. et al.: A description of the relationship between the nasomaxillary aperture and the paranasal sinus system of horses. *Vet J.*, 2010. 186. 216–220.
55. VELADIANO, I. A. – BANZATO, T. et al.: Normal computed tomographic features and reference values for the coelomic cavity in pet parrots. *BMC Vet. Res.*, 2016. 12. 182.
56. WAIBL, H.: In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 2. 9. NICKEL, R. – SCHUMMER, A.– SEIFERLE, E.: Berlin: Parey. Atmungsapparat. 2004. 223–307.
57. WISSDORF, H. – OTTO, B. – HUSKAMP, B.: In: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. 3. WISSDORF, H. – GERHARDS, H. – HUSKAMP, B. – DEEGEN, E.: Hannover. M. & H. Schaper. Naseneingang, Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen; 2010. 197–207.

Közlésre érk.: 2017. jún. 20.