



活体犬胸、腹腔主要脏器解剖结构的三维可视化研究

李明鑫¹, 白志坤², 郭佳卓¹, 孙 熔¹, 夏杰铭¹, 张娴雅¹, 罗继龙¹, 单智夫^{1*}

(1. 东北农业大学 黑龙江省动物源性人兽共患病重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150030;

2. 广西壮族自治区右江民族医学院, 广西百色 533099)

摘要:本研究利用犬胸、腹部的断层扫描数据(CT), 通过 3D Slicer 软件进行数据渲染和三维重建, 并对生成的模型进行解剖学分割和细化, 最终构建了犬胸、腹腔主要脏器的模型, 包括实质性器官如肝、脾、肾, 以及空腔器官如心脏、肺、胃、小肠、大肠和膀胱。随后, 使用 Unity3D 软件制作了 AR 三维解剖软件, 实现了犬胸、腹腔主要脏器解剖结构的三维可视化, 以期辅助犬类疾病的诊断。结果表明, 3D Slicer 能够成功构建犬腹腔部分器官的模型, 为临床犬腹腔器官疾病的诊断提供了参考, 也拓展了学生对相关解剖形态和结构的认知方式, 并为教学提供了有价值的资源。

关键词: 三维重建; 犬; 内脏器官; 可视化

[中图分类号] S852.13

[文献标志码] A

[文章编号] 1004-6704(2024)-06-0130-06

Three-dimensional Visualization Study of the Anatomy of Main Organs in the Thoracic and Abdominal Cavities of Living Dogs

LI Mingxin¹, BAI Zhikun², GUO Jiazhao¹, SUN Rong¹, XIA Jieming¹,

ZHANG Xianya¹, LUO Jilong¹, SHAN Zhifu^{1*}

(1. Heilongjiang Northeast Agricultural University, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Zoonosis, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. Guangxi Youjiang Medical University for Nationalities, Baise, Guangxi 533099, China)

Abstract: This study utilizes CT scan data of canine thoracic and abdominal regions, employing 3D Slicer software for data rendering and 3D reconstruction, followed by anatomical segmentation and refinement of the generated models. Ultimately, models of the main organs in the canine thoracic and abdominal cavities were constructed, including parenchymal organs such as the liver, spleen, and kidneys, as well as hollow organs such as the heart, lungs, stomach, small intestine, large intestine, and bladder. Subsequently, an AR 3D anatomy software was developed using Unity3D, enabling the 3D visualization of the anatomical structures of the main organs in the canine thoracic and abdominal cavities. The aim was to assist in the diagnosis of canine diseases. The results indicate that 3D Slicer can successfully construct models of some canine abdominal organs, providing a reference for the diagnosis of clinical canine abdominal organ diseases. This study also enhances students' understanding of relevant anatomical forms and structures, offering valuable resources for educational purposes.

Key words: three-dimensional reconstruction; dog; thoracic cavity; abdominal cavity

[收稿日期] 2024-06-19

[基金项目] 黑龙江省高等教育教学改革项目(SJGY20210073)

[第一作者] 李明鑫(2002-), 女, 主要从事畜牧兽医研究工作。E-mail: limx140429@163.com

[共同第一作者] 白志坤(1978-), 男, 副教授, 主要从事与衰老相关疾病的研究工作。E-mail: bai.zhikun@ymun.edu.cn

* [通信作者] 单智夫, E-mail: shanzhifu@126.com

随着我国国民生活水平的提高和城市化进程的加快, 犬、猫等宠物的饲养量逐年增加, 人们对宠物健康的关注也日益重视, 许多医学技术逐步在宠物医疗中得到应用^[1]。X 射线计算机断层成像技术(computed tomography, CT)因其诊断速度快、精度高, 现已在宠物医疗领域得到广泛推广和应用^[2]。

在临床实践中,CT 成像通过 X 线束扫描动物躯体,探测器接收扫描信息后将信号传输至计算机并显示^[3]。CT 成像的优势在于其确定的 CT 值与物理密度之间存在线性关系,能够显示出不同组织或病变之间的细微密度差异。因此,CT 成像技术广泛应用于多种疾病的检查中。在胸腔疾病的诊断中,CT 横断面影像可以避免胸壁、心脏和纵隔等结构的重叠,并能够从不同角度区分正常与病变组织,这对于胸腔疾病的诊断和鉴别诊断具有重要价值^[4,5]。在腹腔疾病中,CT 对实质性器官和空腔性器官的诊断也同样具有重要意义。CT 在诊断术后感染、实质器官损伤、腹部肿瘤及其转移等方面均具有较高的临床价值^[6-8]。CT 的横断面影像可以识别实质性器官和空腔管状器官的密度和形态差异,从而实现对不同性质器官的影像分离与提取。

在人类医学领域,基于 CT 图像的器官成像已进行较多的半自动化和全自动化重建研究^[9-11]。然而,在动物医学领域的相关研究较少,主要集中在手动分离提取骨性器官并进行三维模型重建(例如犬口腔骨性结构的重建)^[12,13]。目前,国内关于犬器官三维模型的研究多基于冷冻切削技术获取的断层图像,并进行相应器官模型的提取^[14]。以活体犬为对象,利用 CT 图像进行处理并获得三维模型的研究相对较少。

因此,本实验以活体犬的胸、腹部 CT 数据为基础,利用 3D Slicer 软件对犬的主要胸、腹腔脏器(心脏、肺脏、肝脏、胃、小肠、大肠、脾脏、肾脏和膀胱)进行三维重建。实现了犬胸、腹腔主要脏器解剖结构的三维可视化,并利用 Unity3D 软件制作了平面与现实交互的三维解剖软件,以期为犬类疾病的辅助诊断提供帮助。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

小动物专用 CT 机,购自沈阳大昌医学影像技术有限公司(Sunshine 系列);用于数据处理的计算机采用 Intel i7-13700KF 处理器,16.0G RAM 和 MSI RTX 2060 独立显卡;扫描图片及数据处理通过 3D Slicer、unity 3D 软件处理。

1.2 实验动物

1 条 2 岁龄雄性健康比格犬。对实验犬进行体格检查后,状态佳时采用异氟烷吸入麻醉。

1.3 实验动物的 CT 扫描

待动物完全麻醉后进行 CT 扫描。扫描条件:140 kV,180 mA,螺旋扫描,层厚 1.1 mm,512 ×

512 像素,得到 DICOM 格式的影像文件 502 张。

1.4 导入犬胸、腹部断层切片 CT 图像

医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine,DICOM)是一种医学图像格式,其图片质量良好,可进行数据转换、满足临床需求。本研究中犬胸、腹部断层切片的 CT 图像为一组 DICOM 数据。

将 DICOM 文件导入 3D Slicer 软件时,可使用软件的 DICOM 模块中的导入功能,将文件夹中的 CT 图像导入到软件中或直接长摁鼠标左键将数据拖拽到 3D Slicer 软件的应用窗口进行导入。

1.5 不同解剖方位的断层显示

将 DICOM 数据导入软件后,可看到图像的横断面、冠状面和矢状面,分别对应 R 窗口、G 窗口和 Y 窗口。生成的三维模型可以在 1 窗口内进行体现,滑动窗口上缘的滑块或移动鼠标滚轮,查看不同深度的切面,有助于后续更加精细编辑工作的进行(图 1)。

导入数据后到选择模块栏下选择“Volume Rendering”模块,显示生成的原始模型。可选择 CT-C 模板来展示犬胸、腹腔内脏及骨骼等结构(在 1 窗口内看到软件自动生成的三维模型),并通过拖拽 Display 按钮下的 Shift 滑块来调整到所需要的显示情况(图 2)。

1.6 在软件中分割感兴趣区域

3D Slicer 软件中有两种方法来进行图像分割,即自动结构分割和手动分割。自动结构分割得到的模型较为粗糙,无法精细得到犬的内脏器官模型,但可得到器官模型的大致范围;而手动分割可进行细致的绘制犬内脏器官,因此,本研究采用手动分割进行相应器官的细化。

在“Segment Editor”模块中,点击“Add”增加 1 个 Segment 并选中。可以对矢状面窗口进行放大,单击“Effects”下的“Paint”按钮可在 CT 图像上勾选需要选择的区域,即犬胸、腹部器官矢状面(图 3),之后逐层勾选出每张 CT 图像的需要选择的区域,然后单击“Show 3D”选项,犬内脏器官的三维图像显示在 3D 视窗中,可以在“Segmentations”模块中调节三维图像的可视情况(图 4)。

1.7 生成相应器官三维模型

分割目标结构后,在顶部工具栏的下拉菜单中选择“Model Maker”模块将目标结构转化为三维模型。根据研究需要的情况可修改器官模型的参数,如颜色、明暗度等。调整好模型参数后,单击选项“Create New Model Hierarchy”,对模型命名,然后

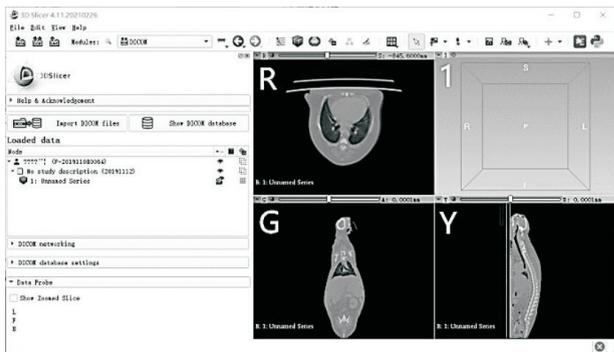


图 1 不同解剖方位的断层 CT 图像显示
Fig.1 Tomographic CT images with different anatomical orientations

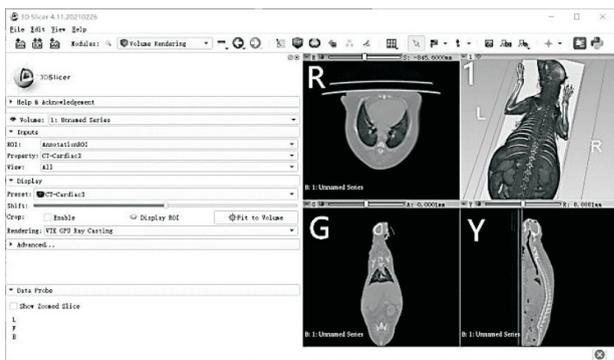


图 2 使用软件初步显示器官形态
Fig.2 Preliminary display of organ morphology using the software

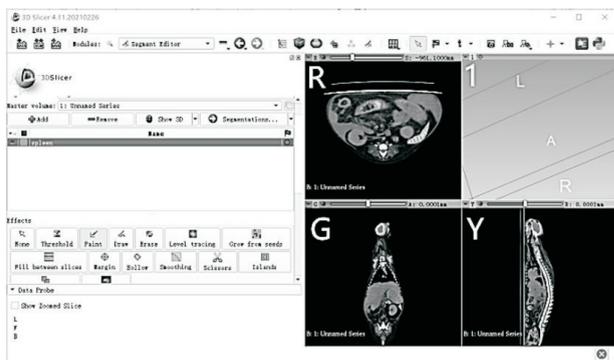


图 3 对感兴趣区域进行手动分割
Fig.3 Manual segmentation of the region of interest

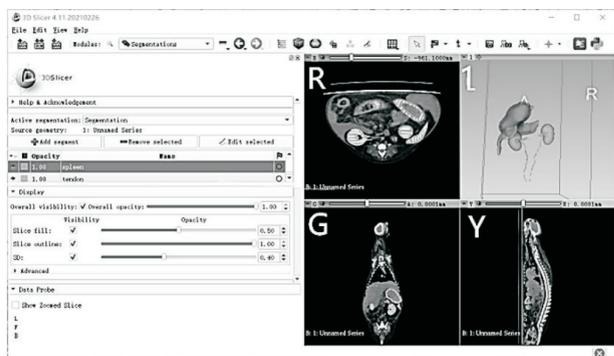


图 4 器官的半透明化
Fig.4 Organ translucency



图 5 unity 3D 软件中测试图像
Fig.5 Testimage in Unity 3D

点击“Apply”生成相应的三维图像,得到犬的内脏器官三维模型。

1.8 制作 AR 三维解剖软件

将分离得到的模型在 Blender 软件中进行不光滑面的打磨及文件格式的转换,即转换成 FBX. 格式,以方便其在 Unity3D 软件中以完整模型进行后续操作。将器官模型以 FBX. 格式导入到 Unity3D 软件中[Unity3D 软件为增强现实(Augmented Reality,AR)程序的主要开发平台],安装 Vuforia Engine AR 模块完成 Vuforia 环境的搭建。使用 Vuforia 对图像进行灰度处理并提取黑白图像特征点并将特征点数据打包。设置识别类型为 Image targets,即进行单一静态平面图像识别及分析。在 Unity3D 软件将器官模型与带有犬只的图片平面进行结合,并在场景中编辑调整模型大小、倾斜角度、坐标轴位置、布光等细节(图 5)。

在 Unity3D 软件中使用 ARCore、AR Foundation、Editor Coroutines、JetBrains Rider Editor、Multiplayer HLAPI 等插件使该 AR 程序在 Android 端自由呈现(ARCore 为 Android 平台开发增强现实应用的 SDK、AR Foundation 开发包的底层会根据不同的平台调用相关 API、Editor Coroutines,使任意对象可启动单行为的协同程序;JetBrains Rider Editor 则是与安装有关的代码编辑器)。最后将所有文件打包成 APK. 格式,生成 AR 三维解剖软件。

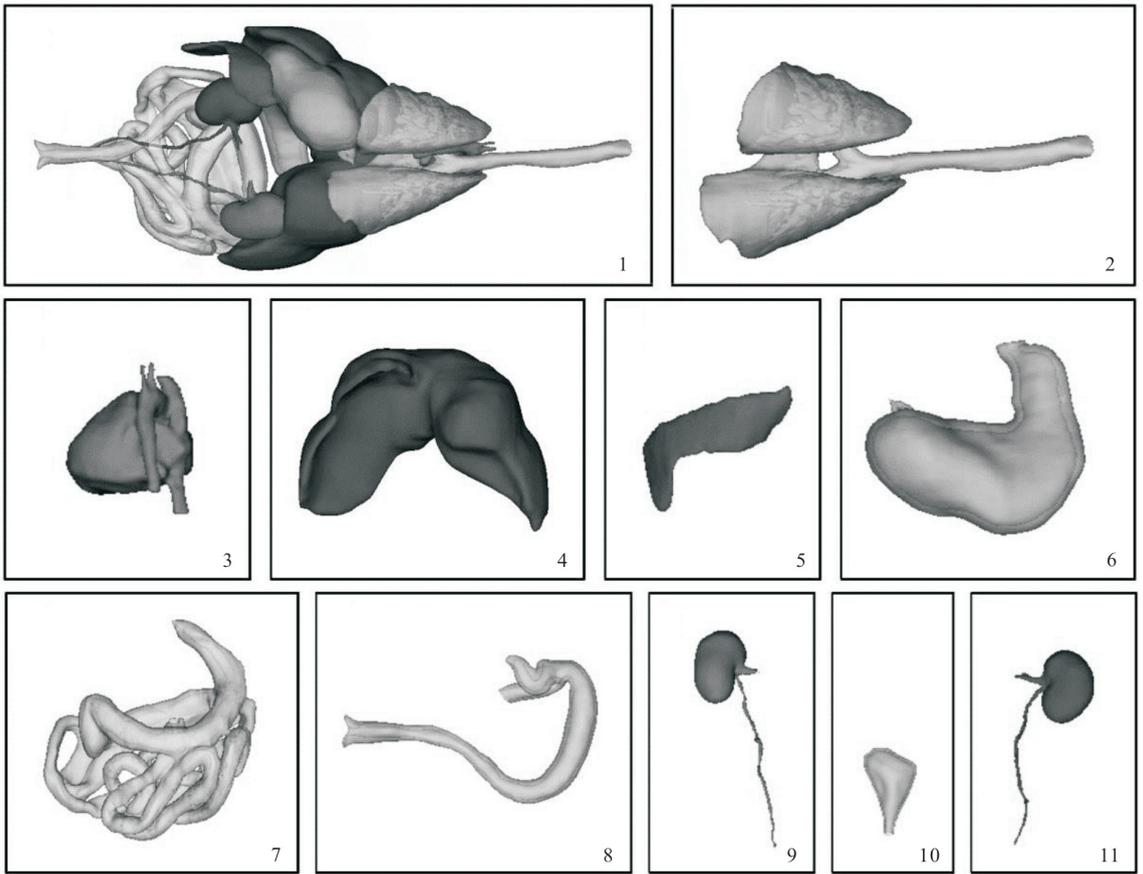
2 犬器官三维模型重建及相应软件制作的成果

2.1 活体犬胸、腹腔主要脏器 3D 结构重建成果

通过数据扫描、导入、分割、渲染等步骤,重建犬胸、腹部主要器官的整体及个体器官(含实质和中空管腔样器官)的 3D 图像(图 6)。

2.2 AR 三维解剖软件

将提取得到的器官 3D 模型的 FBX. 格式导入



1. 器官整体观;2. 气管及肺脏;3. 心脏;4. 肝脏;5. 脾脏;6. 胃;7. 小肠整体;8. 大肠整体;
9. 左肾及其输尿管;10. 膀胱;11. 右肾及其输尿管

图 6 犬胸、腹腔主要脏器 3D 结构

Fig. 6 3D structure of major organs in the canine thoracic and abdominal cavities



图 7 软件效果呈现

Fig. 7 Software effect presentation

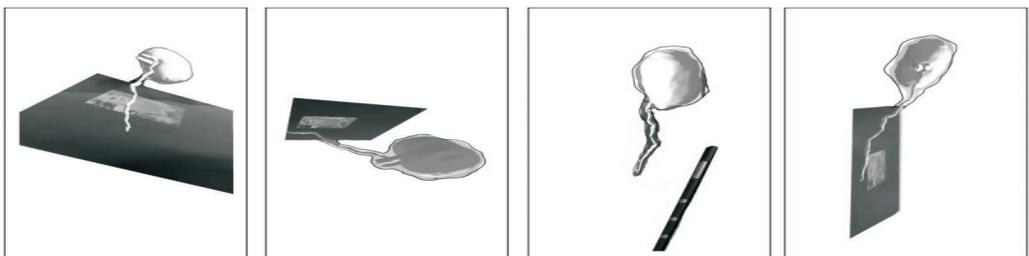


图 8 多角度器官观察

Fig. 8 Multi-angle organ view

至 unity3D 软件中,制作并得到的 AR 三维解剖软件,可在手机上进行下载。

使用手机摄像头对准软件可识别的图片即可在手机上观看到三维立体的犬胸、腹部器官模型(图 7),并可通过不同角度的图片在手机中看到多角度的器官模型(图 8)。

3 技术现状及未来展望

本项目基于活体犬的 CT 图像进行分离提取,并使用 3D Slicer 和 Unity 3D 软件进行处理,成功构建了犬胸、腹部器官的三维模型,旨在通过 CT 检查后生成的三维模型来辅助犬只疾病的临床诊断。此外,项目使用医学影像分析平台制作了较为完整的动物器官组织可视化模型,这不仅展示了各器官的局部和单独的生理形态,还部分反映了器官的整体分布情况。预计这些成果将为动物临床诊断和动物解剖学教学提供有价值的支持。

CT 技术能够在不伤害犬只的情况下清晰识别其骨骼和内脏结构,是诊断犬只疾病的有效手段^[15]。目前,CT 扫描在兽医临床中越来越普及,许多研究表明 CT 能够有效诊断和确定犬腹腔肿瘤、心脏及肺脏的病变^[16-17]。在临床中,CT 检查已广泛用于犬只的辅助诊断,且已有 CT 引导下的治疗技术。本研究基于临床中的活体犬的 CT 扫描图像,获取 DICOM 医学影像文件,并使用 3D Slicer 和 Unity 3D 软件进行处理,构建了犬胸、腹部器官及 AR 三维解剖软件,提供了一个犬胸、腹部疾病诊疗的三维重建应用范本。

在活体犬胸、腹腔主要脏器的 3D 结构重建过程中,基于器官解剖位置关系的处理有以下注意要点:在心脏 3D 结构重建中,应注意心脏与肝脏之间的分离以及不同血管之间的分离;肺脏重建时要注意肺叶下缘与胃的分离;肝脏重建中,由于犬的肝脏占据腹腔较大空间,需注意与胃、小肠、肾脏等器官的分离;脾脏重建时,由于脾脏几乎不与其他脏器交叉,可直接分离;泌尿器官重建时,主要注意左肾与肝脏的分离;消化道器官重建时,除了要注意与其他脏器的分离外,还需注意由于犬在麻醉状态下,消化道内可能存在未消化或未排出的食物残渣,因此需特别注意其与肠管的分离;空腔器官的 3D 结构重建中,要格外关注腔隙是否相通及管壁是否完整。

在 AR 三维解剖软件方面,Unity 3D 软件可以对扫描后模型的位置进行精细调整,结合器官和动物图像来直观展示病灶位置。我们将提取的模型导入 Unity3D 软件进行后续处理,初步调整模型与平

面图像的位置关系,并成功在 Android 平台运行程序。此外,本研究还使用医学影像分析平台制作了较完整的动物器官组织模型,不仅展示了局部及单个器官的生理形态,还部分展示了各器官的分布情况。这些模型在动物临床及解剖学教学中可发挥辅助作用。相关研究表明,增强现实技术在教育教学中具有积极作用^[18]。尽管医学领域已经对增强现实技术表现出极大的兴趣,但目前仅口腔医学及心脏解剖学等领域已在尝试将该技术融入教学模式中^[19],本项目将增强现实交互技术与动物器官组织建模相结合,是在动物医学领域的创新尝试,我们希望该技术在兽医学教学中能够加深学生对解剖结构的理解,提高学生解剖知识的掌握,并激发学习兴趣。

本研究的局限性在于仅重建了活体犬的胸、腹部主要脏器结构模型,未涵盖胰脏和生殖系统等其他结构。同时,犬器官模型的 AR 交互软件目前仍处于初步阶段,只实现了平面的模型交互,尚未支持多个平面与模型的综合交互。未来的研究应扩展三维重建的范围,涵盖更多器官,如胰脏和生殖系统。进一步提升 AR 交互软件的功能,开发多平面与模型的交互,增加更多维度的体验,以提高其在教学和诊断中的实用性。此外,研究还应优化模型的精度和分辨率,通过改进图像处理技术和建模算法,使模型更准确地反映器官的解剖结构和病理特征。应收集不同品种、年龄和性别的犬只数据,建立更广泛的数据库,以提升模型的通用性和适应性。深入探讨增强现实技术在犬只疾病诊断和治疗中的实际应用,特别是在手术规划和术中导航中的作用,同时研究兽医和学生在使用 AR 软件时的用户体验,收集反馈以改进软件设计。最后,可以探索将 CT、MRI、超声等多种医学影像数据整合,实现在更全面和立体的器官模型展示。

4 结 论

基于 CT 图像可构建出活体犬胸、腹部主要器官的三维解剖结构,并生成 AR 活体犬只胸、腹腔主要脏器三维结构解剖软件。

参考文献:

- [1] 王 斌,李思聪,梁 歌,等.四川宠物医疗发展现状与前景[J].畜牧产业,2023(1):59-62.
- [2] 师光鑫.犬腹腔主要脏器 CT 值的测量及应用[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [3] 黄 辉,黎 丽,张俊安.CT 的工作原理及新应用研究进展[J].医疗装备,2022,35(12):190-193.

- [4] 李 伟,李铁一. CT 在胸部疾病诊断中的作用及其与普通 X 线检查的比较[J]. 国外医学(临床放射学分册),1983,6(2):72-74.
- [5] 邱广琨. 关胸部 B 超、X 线及 CT 在小儿胸腔积液诊断中的应用[J]. 赤峰学院学报(自然科学版),2009,25(10):53-54.
- [6] 付风魁,朱荣广,刘玉元,等. CT 在腹腔术后感染诊断与治疗中的临床评价[J]. 中华医院感染学杂志,2015,25(12):2 811-2 813.
- FU F K, ZHU R G, LIU Y Y, et al. Clinical value of CT in diagnosis and treatment of infections after abdominal surgery[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2015, 25(12): 2 811-2 813.
- [7] 资玲华,胥化虎,苟 军,等. CT 检查在腹腔实质器官损伤中的临床价值[J]. 中国普外基础与临床杂志,2010,17(3):294-297.
- ZI L H, XU H H, GOU J, et al. Clinical values of computer tomography examination in abdominal cavity parenchymal organs injury[J]. Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery, 2010, 17(3): 294-297.
- [8] 肖 涛. 腹部肿瘤腹腔转移应用 CT 诊断的分析[J]. 影像研究与医学应用,2017,1(8):66-67.
- [9] 徐开春. 人体肺部气道树深度提取方法与应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2017.
- [10] 徐春盼. 腹部 CT 图像中器官轮廓自动提取技术的实现[D]. 南京:南京师范大学,2019.
- [11] HUANG L, RUAN S, DECAZES P, et al. Lymphoma segmentation from 3D PET-CT images using a deep evidential network [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2022, 149: 39-60.
- [12] DANTAS T, RODRIGUES F, ARAÚJO J, et al. Customized root-analogue dental implants-Procedure and errors associated with image acquisition, treatment, and manufacturing technology in an experimental study on a cadaver dog mandible[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2022, 133: 105-350.
- [13] THATCHER G P, SOUKUP J W. Virtual surgical planning and 3D printing in veterinary dentistry and oromaxillofacial surgery [J]. Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice, 2022, 52(1): 221-234.
- [14] 牛晓玉,桑立君,胡辛凯,等. 基于 3D 打印技术的比格犬内脏解剖模型制造[J]. 解剖学杂志,2020,43(6):528-530.
- NIU X Y, SANG L J, HU X K, et al. Production of anatomical models of beagle dog's viscera based on 3D printing[J]. Chinese Journal of Anatomy, 2020, 43(6): 528-530.
- [15] 单智夫,李明鑫,王韬韪,等. 德国镜鲤解剖结构的三维可视化研究[J]. 畜牧兽医杂志,2022,41(5):28-30.
- SHAN ZH F, LI M X, WANG T D, et al. Study on 3D visualization of anatomical structure of *Cyprinus carpio* L. mirror[J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2022, 41(5): 28-30.
- [16] DENNLER M, MATOS J N, GENT T C, et al. Case report-azygos vein drainage into the left atrium in a dog with cor triatriatum dexter and a patent foramen ovale[J]. Journal of Veterinary Cardiology, 2019, 26: 1-9.
- [17] REQUIAO K G, CARNEIRO R L, D'ASSIS M J M H, et al. Torsion of pulmonary lobe in a dog-diagnosis through radiographics and CT[J]. Ultrasound in Medicine & Biology, 2013, 39(5): S75.
- [18] 刘鸿宇. 人体解剖生理学实验室建设及在非医学院校健康教育中的作用[J]. 解剖学研究, 2013, 35(2): 142-144.
- [19] 王笑天,杨欣雨,王春柳,等. 基于技术接受模型的 AR 医学教学软件用户体验研究[J]. 工业设计研究, 2019(1): 171-181.

(上接第 129 页)

- [10] 刘立恒,梁海平,万 根,等. 新农科背景下“兽医生物制品学”课程教学改革探索与实践[J]. 生物灾害科学, 2023, 46(4): 572-576.
- LIU L H, LIANG H P, WAN G, et al. Ideology as the main theme, the exploration and practice of the teaching reform of veterinary biologicalogy under the background of new agricultural sciences[J]. Biological Disaster Science, 2023, 46(4): 572-576.
- [11] 张 丛,王沛霖,王学兵,等. 数字化实验报告在兽医学科教学改革中的应用与实践[J]. 畜牧兽医杂志, 2024, 43(2): 138-141.
- ZHANG C, WANG P L, WANG X B, et al. Application and practice of digital experimental report in veterinary teaching reform[J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2024, 43(2): 138-141.