



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y
pelviana del gato mediante técnicas anatómicas, de
diagnóstico por imagen e impresión 3D

D. Daniel M. Rojo Ríos
2024



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y
pelviana del gato mediante técnicas de diagnóstico por
imagen e impresión 3D

Autor: D. Daniel M. Rojo Ríos

Directores: D. Gregorio Ramírez Zarzosa, D. Alberto
Arencibia Espinosa y D^a Marta Soler Laguía



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA EN MODALIDAD DE COMPENDIO O ARTÍCULOS PARA
OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Daniel M. Rojo Ríos

doctorando del Programa de Doctorado en

Ciencias Veterinarias

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y pelviana del gato mediante técnicas anatómicas, de diagnóstico por imagen e impresión 3D

y dirigida por,

D./Dña. Gregorio J. Ramírez Zarzosa

D./Dña. Alberto Arencibia Espinosa

D./Dña. Marta Soler Laguía

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Además, al haber sido autorizada como compendio de publicaciones o, tal y como prevé el artículo 29.8 del reglamento, cuenta con:

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 27 de JUNIO de 2024

Fdo.: Daniel M. Rojo Ríos

**ROJO RIOS
DANIEL
MANUEL -
2[REDACTED]T**

Firmado digitalmente
por ROJO RIOS
DANIEL MANUEL -
2[REDACTED]T
Fecha: 2024.06.27
10:23:27 +02'00'

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES

1. Rojo D, Vázquez JM, Sánchez C, Arencibia A, García MI, Soler M, Kilroy D, Ramírez G. Sectional anatomic and tomographic study of the feline abdominal cavity for obtaining a three-dimensional vascular model. Iran J Vet Res. 2020 Fall;21(4):279-286. PMID: 33584840; PMCID: PMC7871740
2. Rojo Ríos D, Ramírez Zarzosa G, Soler Laguía M, Kilroy D, Martínez Gomariz F, Sánchez Collado C, Gil Cano F, García García MI, Jáber JR, Arencibia Espinosa A. Creation of Three-Dimensional Anatomical Vascular and Biliary Models for the Study of the Feline Liver (*Felis silvestris catus* L.): A Comparative CT, Volume Rendering (Vr), Cast and 3D Printing Study. Animals (Basel). 2023 May 9;13(10):1573. doi: 10.3390/ani13101573. PMID: 37238006; PMCID: PMC10215377
3. Rojo Ríos, D.; Ramírez Zarzosa, G.; Soler Laguía, M.; Kilroy, D.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Gil Cano, F.; García García, M.I.; Ayala Florenciano, M.D.; Arencibia Espinosa, A. Anatomical and Three-Dimensional Study of the Female Feline Abdominal and Pelvic Vascular System Using Dissections, Computed Tomography Angiography and Magnetic Resonance Angiography. Vet. Sci. 2023, 10, 704. <https://doi.org/10.3390/vetsci10120704>



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Gregorio Ramírez Zarzosa, Catedrático de Universidad del Área de Anatomía y Embriología en el Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada “Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y pelviana del gato mediante técnicas anatómicas, de diagnóstico por imagen e impresión 3D“, realizada por Daniel M. Rojo Ríos, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Abril de 2024

GREGORIO JOSE RAMIREZ ZARZOSA Firmado digitalmente por GREGORIO JOSE RAMIREZ ZARZOSA
Fecha: 2024.04.25 13:52:46 +02'00'



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Alberto Arencibia Espinosa, Catedrático de Universidad del Área de Anatomía en el Departamento de Morfología de las Palmas de Gran Canaria, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y pelviana del gato mediante técnicas anatómicas, de diagnóstico por imagen e impresión 3D", realizada por Daniel M. Rojo Ríos, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Abril de 2024

ARENCIBIA
ESPINOSA ALBERTO
- 4[REDACTED]7X

Firmado digitalmente por
ARENCIBIA ESPINOSA ALBERTO -
4[REDACTED]7X
Fecha: 2024.04.25 12:39:24 +01'00'



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Marta Soler Laguía, Profesora Titular de Universidad del Área de Medicina y Cirugía Animal en el Departamento de Medicina y Cirugía Animal, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Estudio de la vascularización de la cavidad abdominal y pelviana del gato mediante técnicas anatómicas, de diagnóstico por imagen e impresión 3D ", realizada por Daniel M. Rojo Ríos, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Abril de 2024

Firmado por SOLER LAGUIA MARTA -
***0490** el día 25/04/2024 con un
certificado emitido por AC FNMT
Usuarios

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por entenderlo y apoyarme a lo largo de todos estos años. Gracias a mi compañera de vida, Lola, y a mis hijos Daniel, Rubén e Iván.

A mis compañeros de la Clínica Veterinaria Sauces, por acompañarme e interesarse por este trabajo.

A los profesores del Departamento de Anatomía de la Facultad de Veterinaria de Murcia, en especial a José María, Francis, María Dolores, Cayetano, Paco, Rafa y Octavio, por hacérmelo todo mucho más fácil y hacerme sentir como en casa.

A los técnicos de laboratorio de la Facultad de Veterinaria de Murcia, Mariano y Pepe, siempre atentos en la sala de disección, y parte importantísima en el coloreado y montaje de los moldes 3D.

A María García, a la que hemos tenido siempre al lado en las reconstrucciones volumétricas, y nos ha llevado de la mano en el uso de Amira, y OsiriX.

A Juanfran, un fenómeno con la impresión 3D.

A mi compañero, hoy ya doctor, Álvaro que nos ha ido abriendo camino, y con el que hemos compartidos estos años de estudio y papeleo.

A mis co-directores Alberto Arencibia Espinosa, Marta Soler Laguía, que han estado en todo momento a pie del cañón, compartiendo "codo con codo" este trabajo.

A mi tutor y director Gregorio Ramírez, sin su apoyo, su tiempo, su dedicación y su implicación, esta tesis no habría salido, pero por encima de todo ha sido mi compañero en este proyecto, y nos hemos convertido en grandes amigos.

GRACIAS!

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	7
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
III.1. VASCULARIZACIÓN DEL TECHO DE LAS CAVIDADES ABDOMINAL Y PELVIANA	11
III.1.1. AORTA ABDOMINAL	11
III.1.2. VENA CAVA CAUDAL	12
III.2. VASCULARIZACIÓN DEL HÍGADO	13
III.3. SISTEMA BILIAR	14
III.4. ESTUDIO DE LA VASCULARIZACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN CON O SIN MEDIO DE CONTRASTE.	15
III.5. ESTUDIO DE LA VASCULARIZACIÓN MEDIANTE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA E IMPRESIÓN 3D.....	20
IV. RELACIÓN DE ARTÍCULOS	25
IV.1. ARTÍCULO 1.....	27
IV.2. ARTÍCULO 2.....	29
IV.3. ARTÍCULO 3.....	31
V. CONCLUSIONES.....	35
Artículo 1	35
Artículo 2	35
Artículo 3	36
VI. RESUMEN GENERAL	39
VI.1. INTRODUCCIÓN	39
VI.2. OBJETIVOS.....	40
VI.3. MATERIAL Y MÉTODOS	41
Artículo 1.....	41
Artículo 2.....	43
Artículo 3.....	45
VI.4. RESULTADOS	48
Artículo 1.....	48
VI.5. DISCUSIÓN	51
Artículo 1.....	51
VI.6. RESULTADOS	54
Artículo 2.....	54
VI.7. DISCUSIÓN	56
Artículo 2.....	56
VI.8. RESULTADOS	59
Artículo 3.....	59
VI.9. DISCUSIÓN	63
Artículo 3.....	63
VI.10. CONCLUSIONES	68
VII. EXTENDED SUMMARY	73
VII.1. INTRODUCTION	73
VII.2. OBJECTIVES	78
VII.3. MATERIALS AND METHODS	78
Article 1	79
Article 2	81
Article 3	82
VII.4. RESULTS.....	84
Article 1	84

VII.5. RESULTS.....	87
Article 2.....	87
VII.6. RESULTS.....	88
Article 3.....	88
VII.7. DISCUSSION	93
Article 1.....	93
VII.8. DISCUSSION	95
Article 2.....	96
VII.9. DISCUSSION	98
Article 3.....	98
VII.10. CONCLUSIONS	102
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	105
IX. APÉNDICE	117
Artículo 1.....	119
Artículo 2.....	121
Artículo 3.....	123

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El auge experimentado estos últimos años en el número de pacientes felinos en las clínicas veterinarias y el desarrollo en las pruebas de imagen avanzadas como una herramienta de diagnóstico substancial en la medicina clínica veterinaria, hace que cada vez sea más habitual el uso de estas técnicas de diagnóstico por imagen para la detección de patologías vasculares, lo que ha centrado nuestro interés en esta especie y en concreto en la región anatómica de la cavidad abdominal y pélvica.

La aplicación de las técnicas de diagnóstico por imagen abdominal se ha realizado tradicionalmente en la especie canina y han sido extrapolados, por su proximidad al gato, pero cada vez son más frecuentes las publicaciones que se centran en la especie felina, estableciendo las marcadas diferencias entre una especie y otra. Aun así, las publicaciones relacionadas con técnicas de diagnóstico por imagen aplicadas a la cavidad abdominal en gatos son todavía muy escasas.

Son varias las técnicas de diagnóstico por imagen vascular del abdomen utilizadas en perros y gatos, trabajos de angiografía en perro y gato (Wise, 2005), resonancia magnética (RM) comparada con ecografía a nivel cardíaco en perro (McDonald et al., 2005), angiografía por tomografía computarizada (ATC) aplicada al sistema portal en perros (Zwingenberger et al., 2005) y angiografía por resonancia magnética (ARM) usando contrastes intravenosos en perros (Kuriashkin y Losonsky, 2000). Por su parte, Dennis et al. (2005) realizaron un estudio para establecer si la ubicación de las arterias celíaca y mesentérica craneal eran lo suficientemente consistentes como para permitir que se usen como puntos de referencia anatómicos. También, se han publicado trabajos con el fin de estudiar diferentes alteraciones vasculares congénitas caninas empleando TC y RM (Frank et al., 2003; Zwingenberger et al., 2005; Schwarz et al., 2009; Oui et al., 2013; Broffman et al., 2015).

El hígado es una glándula aneja asociada al sistema digestivo del abdomen craneal que cumple muchas de las particularidades patológicas de la clínica de pacientes felinos, como son la cirrosis, esteatosis, shunt y neoplasias, entre otras (Gaschen, 2009; Moon Larson, 2016; Soler et al., 2017).

Trabajos como los de Samii et al. (1998), en el que correlacionaron imágenes de anatomía seccional y de TC, concluyeron que las secciones anatómicas son útiles para identificar un gran número de estructuras torácicas y abdominales visibles en las imágenes de TC. Otros estudios de TC realizados en gatos vivos, como el de Shojaei et al. (2006) proporcionó una guía de referencia para la evaluación de imágenes de TC del abdomen felino empleando contraste intravenoso yodado con la finalidad de ayudar a interpretar imágenes de TC en las que se analizaban cambios patológicos o experimentales en esta región.

Según la literatura consultada existen muy pocos estudios específicos basados en técnicas de diagnóstico por imagen del hígado felino. Gaschen (2009) destacó la complementariedad de las técnicas de TC y RM con las de radiología y ecografía en la estandarización del estudio del hígado en perros y gatos, para examinar el sistema biliar tanto en animales sanos como con anomalías del sistema hepatobiliar.

A diferencia del perro, los trabajos realizados en el abdomen felino son más escasos, destacando el realizado en cadáveres mediante anatomía seccional y TC por Samii et al. (1998). Samii et al. (1999) correlacionó la anatomía seccional con imágenes de resonancia magnética en felinos. Posteriormente, Newell et al. (2000) obtuvieron imágenes de resonancia magnética del abdomen craneal y medio con medio de contraste en 15 gatos clínicamente normales.

Según los estudios de Bouma et al. (2003) las TC de la anatomía vascular renal felina son factibles, y las técnicas de reconstrucción proporcionan un excelente detalle anatómico de la vascularización.

La obtención de imágenes mediante RM se ha convertido en una de las herramientas más versátiles y poderosas en el diagnóstico por imagen tanto en medicina humana como en veterinaria (Kuriashkimn et al., 2000). La ARM mejorada con contraste de gadolinio (CE) produce alta sensibilidad (81-99,5%) y alta especificidad (89-99%) para detectar estenosis arterial en pacientes humanos (Meaney et al. 1999; Steffens et al. 2003).

Las técnicas de ARM mejoradas sin administrar medio de contraste (NCE) se han utilizado ampliamente para evaluar las arterias de las extremidades inferiores en su totalidad, con alta precisión para detectar estenosis vascular y trombos sin efectos secundarios, además, las exploraciones repetitivas se pueden realizar tantas veces como sea necesario porque no se utilizan medios de contraste (Edelman et al, 2019; Miyazaki et al, 2019) Constituyen un método no invasivo para visualizar vasos y se puede utilizar para adquirir imágenes de todo el sistema vascular, tanto en cavidad torácica como en cavidad abdominal. Las técnicas de ARM sin contraste (NCE) se pueden clasificar como modalidades de sangre negra o sangre brillante en función de la apariencia de la luz vascular (Ho et al., 2003).

Los estudios de ARM en el abdomen felino son escasos y la mayoría de ellas son en el perro destacando los trabajos de Arencibia et al. (2016) dónde describe ARM tridimensional mediante la secuencia TOF del corazón y vasos asociados en un gato, así como el de Arencibia et al. (2019) dónde realizan una evaluación anatómica de las estructuras cardiovasculares intratorácicas mediante el empleo de la secuencia de recuperación de doble inversión de espín eco rápido y la resonancia magnética de precesión libre en estado estable en un gato normal.

El conocimiento del aspecto de la ARM del abdomen felino normal es necesario para la evaluación del trayecto y tamaño de los vasos abdominales, así como vasos congénitos aberrantes, estenosis vascular o trombos.

La RM se ha utilizado en la medicina veterinaria durante los últimos años en la evaluación de la cabeza y el sistema nervioso central y en ortopedia. La utilización de imágenes de RM en la evaluación del abdomen se ha manifestado en diferentes estudios de medicina veterinaria (Newell, 2000).

En humanos, se ha encontrado que la RM proporciona información complementaria frente a la TC en algunas enfermedades como en la estadificación de la neoplasia pancreática, dónde la RM reemplazó a la TC como la técnica de imagen transversal de elección.

La relativa falta de utilización de la RM en el diagnóstico de enfermedades abdominales en medicina veterinaria puede deberse a la necesidad de anestesia general, los artefactos debidos al movimiento respiratorio y el prolongado tiempo que lleva el estudio. Además, la disponibilidad de la ecografía disminuye la demanda de imágenes

transversales abdominales mediante RM o TC. Desafortunadamente, existen algunas enfermedades como la colangiohepatitis o la pancreatitis crónica en las que los hallazgos ecográficos pueden tener un beneficio limitado (Nyland et al., 1995).

La descripción de la anatomía normal del abdomen felino mediante técnicas de imagen estándar es esencial antes de la utilización de la RM en pacientes clínicos.

La anatomía y la fisiología comparadas son disciplinas relacionadas con estructuras y mecanismos en el espacio tridimensional (3D). La mayoría de los trabajos científicos en estos campos se han basado en descripciones escritas e ilustraciones bidimensionales (2D), pero en los últimos años ha entrado en escena el modelado virtual 3D. Sin embargo, la comprensión de estructuras anatómicas complejas se ve obstaculizada por la reproducción en pantallas planas inherentemente 2D. Una forma de evitar este problema es la producción de modelos a escala impresos en 3D (Lauridsen et al. 2016).

Estos modelos pueden ser utilizados para formación académica y entrenamiento prequirúrgico para clínicos veterinarios. Trabajos como los de Raffan et al.(2017); Lauridsen et al.(2018); Wilhite et al.(2019); Rojo et al,(2020); muestran cómo la técnica de impresión 3D aporta a la medicina veterinaria una poderosa herramienta para mejorar la enseñanza de los estudiantes, promover la investigación, facilitar la planificación quirúrgica y mejorar la comunicación con el cliente de los clínicos veterinarios. Se espera que aumente el uso de prototipos rápidos a medida que la adquisición volumétrica en MRI y se vuelva más rutinaria. Existe un gran potencial para explorar este método e introducir una nueva dimensión en la formación veterinaria.

OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

Al llevar a cabo la presente Tesis Doctoral sobre la vascularización del abdomen y pelvis del gato, se planteó emplear técnicas anatómicas, de diagnóstico por imagen, reconstrucción volumétrica e impresión 3D con los siguientes objetivos:

1. Mejorar el conocimiento y estudio de la anatomía del abdomen y pelvis felino mediante técnicas anatómicas aplicadas al diagnóstico por imagen.
2. Emplear técnicas de diagnóstico no invasivas, rápidas y eficaces con el fin de realizar un posteriormente un tratamiento de la patología lo más certero posible.
3. Mejorar el conocimiento de la anatomía normal de la cavidad abdominal y pelviana del gato, mediante técnicas regladas de disección y anatomía seccional en los tres planos espaciales, tanto en macho como en hembra, para luego poder interpretar las imágenes obtenidas con las diferentes técnicas de diagnóstico por imagen.
4. Valorar y comparar las técnicas de diagnóstico por imagen indicadas para las cavidades abdominal y pelviana que son por orden de preferencia y uso por parte de los clínicos en primer lugar la radiografía, después la ecografía, la tomografía, las resonancia magnética y la endoscopia.
5. Correlacionar imágenes vasculares de disección y de anatomía seccional con TC de contraste y RM (con y sin contraste) del abdomen y pelvis del gato.
6. Obtener reconstrucciones tridimensionales e impresiones 3D de las principales estructuras anatómicas del abdomen y pelvis felino.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

III.1. VASCULARIZACIÓN DEL TECHO DE LAS CAVIDADES ABDOMINAL Y PELVIANA

En los carnívoros y otras especies domésticas, el riego se define por dos grandes vasos, uno arterial la aorta abdominal y otro venoso, la vena cava caudal. La primera representa el segmento abdominal y pélvico de la aorta descendente hasta su terminación en las arterias iliacas, delegando las ramas parietales y viscerales necesarias para el trofismo de las formaciones de referencia del abdomen. El segundo, drena sangre de las paredes y techo abdominal y pélvico, así como desde las vísceras (testículos/ovarios, glándulas adrenales, riñones e hígado). Además, La sangre procedente del estómago, intestinos delgado y grueso, páncreas y bazo que es drenada por la vena porta; ésta sólo alcanzará la cava caudal después de atravesar el hígado.

III.1.1. AORTA ABDOMINAL

La aorta abdominal se inicia en el hiato aórtico (diafragma), como continuación de la aorta torácica, y se prolonga caudalmente hacia la pelvis bajo el cuerpo de las vértebras lumbares en todas las especies domésticas. En este largo y uniforme trayecto, su cara dorsal se ciñe al somero surco que dejan entre sí el ligamento longitudinal ventral y el borde medial del psoas menor izquierdo. El tronco termina en la bifurcación de las iliacas externas, bajo el cuerpo de la 7ª vértebra lumbar en los felinos.

Las ramas parietales de la aorta abdominal son: la arteria frénica caudal que irriga los pilares de diafragma, las arterias lumbares que nutren las paredes y techo del abdomen y, la arteria circunfleja ilíaca profunda que riegan la parte más caudal del techo y paredes del abdomen (Crouch, 1969; Nickel et al. 1981; Sisson et al. 1982; Done et al. 1997; Sandoval, 2000; Vázquez Autón et al. 2000; Dyce et al. 2010; Gil et al. 2021, 2022).

Las ramas viscerales de la aorta abdominal son: la arteria celíaca, que se desprende inmediatamente caudal al hiato aórtico y ventralmente mediante un tronco que se ramifica en las arterias gástrica izquierda (estómago), hepática (hígado) y esplénica (bazo); a nivel de la segunda vértebra lumbar y caudalmente a la arteria celíaca, arranca ventralmente la arteria mesentérica craneal que se ramifica en diferentes arterias y ramas, fijadas por el mesenterio (dependencia peritoneal) que se distribuyen por casi todo el tracto intestinal. A continuación, hacia las glándulas adrenales, las arterias adrenales craneales (procedentes de la arteria frénica caudal en el gato (Nickel et al. 1981), las arterias adrenales medias (que arrancan lateralmente de la aorta en felinos (Nickel et al. 1981; Schaller, 1992) y las arterias adrenales caudales (que salen desde las arterias renales en la gata (Nickel et al. 1981). Muy próximas a las adrenales salen lateralmente hacia los riñones, las arterias renales derecha e izquierda a nivel de la 3^o-4^o vértebra lumbar. Algo caudalmente a estas, se desprenden lateralmente (a derecha e izquierda) las arterias testiculares u ováricas a nivel de la 5^a-6^a vértebra lumbar y finalmente, emerge ventralmente un tronco, la arteria mesentérica caudal que se dirige hacia el colon descendente y parte del recto en carnívoros (Crouch, 1969; Sisson et al. 1982; Done et al. 1997; Sandoval, 2000; Vázquez Autón et al. 2000; Dyce et al. 2010; Gil et al. 2021, 2022).

III.1.2. VENA CAVA CAUDAL

En los carnívoros, al igual que en otras especies domésticas, la vena cava caudal es el tronco venoso más largo. Se inicia, a la derecha y dorsalmente a la bifurcación terminal de la aorta abdominal, en la confluencia de las venas ilíacas comunes y termina en el agujero de la vena cava, a nivel del centro tendinoso del diafragma, dónde se continúa en el segmento torácico. A lo largo de este segmento abdominal la vena cava recibe directa o indirectamente las siguientes tributarias (derechas e izquierdas) de

procedencia visceral: venas uterinas, testiculares u ováricas, adrenales, renales y hepáticas. También recibe las siguientes tributarias parietales (derechas e izquierdas): venas circunflejas iliacas profundas, todas las venas lumbares no integradas en la ácigos, la desembocadura común de las venas abdominal craneal y frénica caudal y las venas frénicas craneales. Toda la sangre colectada por la vena cava caudal desde la confluencia de las iliacas hasta el corazón, es de procedencia abdominal, ya que el segmento torácico de la vena cava caudal torácica no recibe tributaria alguna. El segmento hepático de la vena cava en el abdomen craneal, no recibe sangre directamente del tracto gastrointestinal, páncreas y bazo, sino por la vena porta, ya que debe atravesar la barrera hepática para su metabolización antes de llegar a la vena cava caudal (Crouch, 1969; Sisson et al. 1982; Done et al. 1997; Sandoval, 2000; Vázquez Autón et al. 2000; Dyce et al. 2010; Gil et al. 2021, 2022).

III.2. VASCULARIZACIÓN DEL HÍGADO

El hígado se encuentra alojado en la porción intratorácica de la cavidad abdominal, contactando cranealmente con el diafragma, caudodorsalmente y a la derecha con el polo craneal del riñón derecho. Por el flanco izquierdo, contacta cranealmente con el diafragma, caudalmente con el estómago y ventralmente con la grasa falciforme. Diferenciamos el lóbulo hepático derecho (lateral y medial), el lóbulo caudado dividido por la vena porta en una apófisis caudada (supraportal) y otra papilar (infraportal), el lóbulo hepático izquierdo (lateral y medial) junto al lóbulo cuadrado localizado entre los lóbulos derecho e izquierdo mediales. En la cara visceral del hígado localizamos el hilio hepático donde se entronca la vena porta y la arteria hepática. En el hilio también observamos el conducto colédoco y el cístico. La cara diafragmática aparece hendida dorsal y longitudinalmente por la vena cava caudal que recibe, en su trayecto antes de rebasar el diafragma, la desembocadura de las venas hepáticas.

El riego arterial del hígado corre a cargo de la arteria hepática que observamos cómo deriva de la arteria celíaca, a su vez rama de la aorta abdominal. Cruza el borde craneal del páncreas y se integra al omento menor, prosigue adyacente a la superficie ventral de la vena porta hasta que se divide en las ramas hepáticas derecha e izquierda.

La rama derecha se desdobla, antes de penetrar en el parénquima hepático, en las ramas medial y lateral, que se ramifican por todos los lóbulos hepáticos.

El drenaje venoso del hígado fluye hacia las venas hepáticas, afluentes de la vena cava caudal. Este es el resultado de la mezcla de la circulación trófica y funcional del órgano. La vena porta es su principal afluente que se sitúa ventralmente y algo a la derecha de la vena cava caudal. La vemos conformada por la confluencia de la vena mesentérica craneal, esplénica y gastroduodenal. Antes de abordar el hilio hepático, el tronco de la porta se divide en dos ramas divergentes, la menos desarrollada, la derecha se ramifica en el lóbulo derecho y caudado y, la rama izquierda, más gruesa, lo hace en los lóbulos izquierdo y cuadrado. Los trayectos intrahepáticos son satélites de las ramificaciones de la arteria hepática, de modo que las últimas ramificaciones de las ramas de la porta corresponden a venas interlobulillares, y son estas finas venas las que abastecen de sangre a los sinusoides, sin establecer previamente anastomosis. El drenaje venoso del parénquima hepático se realiza hacia el surco de la vena cava a través de las venas hepáticas principales y accesorias, que recogen la sangre de los lóbulos y terminan desembocando en la cava caudal a través de venas hepáticas derecha, media e izquierda (Crouch, 1969; Nickel et al. 1981; Sisson et al. 1982; Done et al. 1997; Sandoval, 2000; Vázquez Autón et al. 2000; Dyce et al. 2010; Gil et al. 2021, 2022).

III.3. SISTEMA BILIAR

En las vías biliares en carnívoros observamos que los conductos convergentes portadores de la bilis desde el interior del hígado hasta el duodeno. Quedan divididas en porciones intra y extrahepática. Las vías biliares intrahepáticas se originan en la periferia de los lobulillos hepáticos. Son los conductillos bilíferos que van desembocando a diferentes niveles en los conductos interlobulillares de los canales portales, y dichos conductos a su vez en los conductos biliares, que se reagrupan en segmentos intrahepáticos de los conductos hepáticos derecho e izquierdo. Estos trayectos son satélites de las ramificaciones de la vena porta. Las vías biliares extrahepáticas se inician en el espacio portal, por la cara visceral del hígado, con los segmentos extrahepáticos de los conductos hepáticos derecho e izquierdo, estos convergen ventralmente a la porta y arteria hepática para formar el conducto colédoco, con una derivación hacia el lado

derecho, conducto cístico, que acaba en la vesícula biliar, alojada en la fosa del mismo nombre entre los lóbulos cuadrado y derecho. El conducto colédoco desemboca en la mucosa del duodeno descendente abriéndose en la papila duodenal mayor. (Crouch, 1969; Nickel et al. 1981; Schaller, 1992; Sandoval, 2000). En el gato, Crouch, 1969, muestra en un dibujo esquemático el conducto hepático izquierdo confluyendo con el cístico y posteriormente se une el conducto hepático derecho para formar el colédoco (que este autor denomina conducto hepático común).

III.4. ESTUDIO DE LA VASCULARIZACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN CON O SIN MEDIO DE CONTRASTE

Son varias las técnicas de diagnóstico por imagen vascular utilizadas: angiografía por rayos X (arteriografía o venografía) con medio de contraste (Wise, 2005), ecografía por ultrasonidos (McDonald et al., 2005), angiografía por rayos X o tomografía computarizada (TC) con dos o más detectores (Zwingenberger et al., 2005) y angiografía por resonancia magnética (ARM) con o sin medio de contraste (Kuriashkin y Losonsky, 2000).

De la elección de la técnica dependerá en gran medida el éxito a la hora de realizar un diagnóstico clínico concreto. La radiología convencional proporciona información básica para el diagnóstico de muchas patologías. Es una prueba que se puede realizar en la mayoría de los centros veterinarios (Liste, 2010). La ecografía es la técnica de elección para la inspección de los órganos abdominales, así como para la detección de flujos vasculares mediante técnicas de Doppler (Barr, 1990; Liste, 2010). La TC permite una visualización óptima del sistema óseo y del pulmón, y puede complementar a la ecografía en la evaluación tomográfica del abdomen, investigando las anomalías vasculares mediante la utilización de medios de contraste (shunts portosistémicos), así como en la evaluación de masas abdominales (Liste, 2010). La resonancia magnética (RM) es la técnica de elección para esplenocráneo, médula espinal, nervios, músculos, tendones y ligamentos (Liste, 2010), aunque la aplicación de angiografía por resonancia magnética (ARM) con o sin medio de contraste resulta de gran utilidad en el estudio del sistema vascular abdominal (Kuriashkin y Losonsky, 2000).

En general, el empleo medios de contraste para el estudio del sistema vascular han caído en desuso debido a las nuevas tecnologías, aunque, algunos, como la portografía se siguen teniendo en consideración (Pechman, 1994). La portografía mesentérica intraoperatoria permite el estudio de la vascularización hepática así como el diagnóstico de shunt (Pérez, 2012). La inyección de medio de contraste a través de la vena mesentérica craneal del perro permite la obtención de imágenes radiológicas del venograma de la vena porta (Ruberte & Sautet, 1998).

En un examen ecográfico rutinario se pueden identificar todas las ramas de la aorta. La vena cava caudal discurre a la derecha de la aorta y presenta un aspecto ecográfico similar a esta. Sin embargo, a diferencia de ella, se colapsa con gran facilidad al presionar con la sonda. La vena porta se identifica ecográficamente a la altura del hilio hepático y caudalmente se pueden identificar sus vena tributarias (gastroduodenal, esplénica, mesentéricas craneal y caudal). La vena porta se localiza levemente a la derecha del abdomen (Novellas et al., 2015).

La presencia de sangre coagulada en la luz de los vasos, trombosis, puede ser identificada mediante técnicas ecográficas (Smith y Tobias, 2004). En gatos el tromboembolismo aórtico es la alteración vascular más frecuente (Fuentes, 2012). Ecográficamente, la apariencia del trombo varía en función de la cronicidad. El uso de doppler color, potenciado o pulsado permite poner de manifiesto la presencia del trombo en la luz del vaso. Con el tiempo el trombo se va volviendo más ecogénico y se puede incluso observar cómo se adhiere a la pared vascular, así como el defecto de llenado con ecografía en modo B (D'Anjou, 2008; Dennis et al., 2010; Widmer et al., 2015). El tromboembolismo aórtico distal e iliaco es frecuente en los gatos con cardiomiopatía y aumento del atrio izquierdo. Otras posibles causas de trombosis son la invasión neoplásica, lesiones paraneoplásicas o cuerpos extraños (Reimer et al., 2006). La trombosis de la vena porta apenas está descrita en gatos. Los únicos casos se han visto en gatos con shunt portosistémicos, neoplasias hepáticas, colangitis aguda y en casos de necrosis hepática centrolobulillar (Rogers et al., 2008).

En la ecografía de hígado y sistema biliar el parénquima hepático normal es hipoecogénico respecto al bazo y entre hipo e hiperecogénico respecto a la corteza renal (Drost et al., 2000; D'Anjou, 2008) y presenta una textura más granular que el bazo (Novellas et al., 2015). La vesícula biliar se observa como una estructura ovalada o con

forma de lágrima y contenido anecogénico. La pared normal de la vesícula biliar es hiperecogénica y lisa, y mide menos de 1 mm (Hittmair et al., 2001). El tamaño de la vesícula biliar es variable, más grande en pacientes en ayunas o con anorexia. Los conductos biliares intrahepáticos no son visibles en pacientes normales (Novellas et al. 2015). La distinción de conducto colédoco y cístico es aproximada (Penninck et al. 2010). El colédoco es más tortuoso en el gato, y más fácilmente visible, y puede identificarse ventral a la vena porta a la altura del hilio hepático, dorsal al duodeno, discurriendo paralelo a la vena porta algunos centímetros (D'Anjou, 2008) hasta llegar a la papila duodenal mayor. El colédoco mide hasta 4 mm en gatos (Léveillé et al. 1996). Mediante ecografía pueden distinguirse en el hígado las venas porta y las venas hepáticas. Las ramificaciones intrahepáticas de la vena porta, presentan paredes hiperecogénicas. Las venas hepáticas se pueden seguir hasta su desembocadura en la vena cava caudal y presentan paredes menos ecogénicas que las ramas intrahepáticas de la vena porta, en ocasiones apenas visibles. La herramienta doppler color ayuda a identificar los vasos hepáticos: las ramas de la vena porta, presentan un flujo desde hilio hepático hacia la periferia, mientras que las venas hepáticas el flujo se dirige dorsal y cranealmente hacia la vena cava caudal. La vena porta extrahepática se localiza ventralmente a la vena cava caudal y a la aorta, y ligeramente a la derecha de esta última. El doppler pulsado permite medir la velocidad portal (Novellas et al., 2015).

Las derivaciones portosistémicas (shunts) congénitas son una de las alteraciones vasculares más frecuentes en gatos. El tipo más frecuente descrito en gatos es el extrahepático portocava, que comunica la vena porta o sus tributarias (esplénica, gástrica derecha, gástrica izquierda, gastroduodenal) con la vena cava (Novellas et al., 2015). En la mayoría de estas derivaciones, el vaso entra a la izquierda de la cava. Se observa un vaso anormal, tortuoso, que se origina en una rama portal y termina frecuentemente en la vena cava, o en la vena ácigos. Los vasos anómalos suelen presentar un flujo turbulento, visualizado con doppler, especialmente en el punto de comunicación con la vena cava. Los shunt intrahepáticos son menos descritos en gatos, siendo los de división izquierda más frecuentes que los centrales o de división derecha (White et al., 1996).

El uso de tomografía computarizada (TC) con medio de contraste resulta de gran utilidad clínica en el diagnóstico de anomalías vasculares. Choi et al. (2019) mostraron el realce de la vena porta principal durante la fase arterial y una conexión anómala entre

la arteria celíaca y los vasos a nivel del hilio hepático, lo que llevó al diagnóstico de la fístula arterioportal extrahepática en dos gatos.

Estudios como el de Kier et al. (2019) mostraron imágenes obtenidas con tomografía de contraste de la anatomía del sistema vascular arterial cerebral, orbitario, facial, de la red admirable y de los componentes óseos del cráneo del gato.

Estudios como los de Weisse y Berent, (2015) muestran la anatomía abdominal vascular canina mediante angiografía por tomografía computarizada. Ésta tiene como principales desventajas el exponer al paciente a una mayor cantidad de radiación ionizante y el poder causar nefropatía inducida por el medio de contraste (Lee et al., 2022).

La obtención de imágenes mediante resonancia magnética (RM) se ha convertido en una de las herramientas más versátiles y poderosas en el diagnóstico por imagen tanto en medicina humana como en veterinaria (Kuriashkimn et al., 2000). La angiografía por resonancia magnética mejorada con medio de contraste de gadolinio produce alta sensibilidad (81-99,5%) y alta especificidad (89-99%) para detectar estenosis arterial significativa en pacientes humanos (Meaney et al., 1999; Steffens et al., 2003). Diferentes estudios han demostrado una correlación entre los medios de contraste basados en gadolinio y la fibrosis sistémica nefrogénica en pacientes humanos con insuficiencia renal, lo que sugiere que el gadolinio causa daño al afectar la tasa de filtración glomerular (Kooiman et al., 2012; Buhaescu et al., 2008).

Las técnicas de resonancia magnética mejoradas se han utilizado ampliamente en humana para evaluar las arterias de las extremidades inferiores en su totalidad, con alta precisión para detectar estenosis vascular y trombos sin efectos secundarios (señales venosas de las señales arteriales). Además, las exploraciones repetitivas se pueden realizar tantas veces como sea necesario porque no se utilizan medios de contraste (Edelman et al., 2019; Miyazaki et al., 2019). Constituyen un método no invasivo para visualizar vasos y se puede utilizar para adquirir imágenes de todo el sistema vascular, tanto en cavidad torácica como en cavidad abdominal, sin medio de contraste.

En la familia de los félidos, la angiografía por resonancia magnética sin contraste, técnica de imagen no invasiva basada en la resonancia magnética, ha sido utilizada para la evaluación anatómica y funcional de estructuras cardiovasculares intratorácicas. Estas técnicas incluyen imágenes de sangre negra y sangre brillante. Se adquieren secuencias

de recuperación de inversión de eco de espín rápido de sangre negra para anular la señal del flujo de sangre o grasa en la imagen resultante. Estas secuencias son útiles para visualizar las paredes de las cámaras cardíacas y los vasos sanguíneos (Arencibia et al., 2018).

Diferentes trabajos de equipos multidisciplinares intentan extrapolar a la especie humana los resultados obtenidos en las investigaciones utilizando al perro como modelo de experimentación. Dong et al. (1998) realizaron un estudio comparado empleando diferentes medios de contraste paramagnéticos para la visualización de la anatomía vascular del abdomen usando tres perros. Schoenberg et al. (2000) aplicaron la angiorresonancia para valorar diferentes grados de estenosis renal inducida, empleando el perro como modelo. Huang y Wright (2007) describieron una nueva secuencia para visualizar los vasos abdominales en el perro.

En medicina veterinaria son escasos los trabajos de angiorresonancia en perros. Cavrenne y Mai (2009) expusieron un protocolo de evaluación renal con esta técnica, y Mai (2009) en el mismo sentido lo aplicó al sistema portal. Sharpley et al. (2009) publicaron un caso de trombosis aórtica cuyo diagnóstico se confirmó mediante angiorresonancia con medio de contraste. Brusehschwein et al. (2010) trataron la viabilidad diagnóstica de la técnica para determinar "shunt portosistémicos" en diez perros de seis razas diferentes.

Los estudios de angiorresonancia en el abdomen felino son escasos y la mayoría de ellos se han realizado en el perro. Hay que destacar que, en los trabajos de Arencibia et al., (2016) se describe la secuencia por resonancia magnética time-o-flight (TOF) del corazón y vasos asociados con reconstrucciones volumétricas en un gato. También, Arencibia et al., (2019) realiza una evaluación anatómica de las estructuras cardiovasculares intratorácicas mediante la secuencia de resonancia magnética: recuperación de doble inversión de espín eco rápido y la resonancia magnética de precesión libre en estado estable, en un gato normal. El conocimiento del abdomen felino normal mediante angiorresonancia es necesario para la evaluación del trayecto y tamaño de los vasos abdominales, así como vasos congénitos aberrantes, estenosis vascular o trombos.

La resonancia magnética se ha utilizado en medicina veterinaria durante los últimos años centrándose en la evaluación de la región cefálica, el sistema nervioso

central y las alteraciones del aparato locomotor. La utilización de imágenes por RM en la evaluación del abdomen se ha informado en diferentes estudios en medicina veterinaria (Newell, 2000). En humanos, se ha encontrado que la resonancia magnética proporciona información complementaria frente a la tomografía computarizada (Alagappan et al., 1997) y en algunas enfermedades como la enfermedad hepática difusa (Semelka et al., 1997) o la estadificación de la neoplasia pancreática, dónde la resonancia reemplazó a la tomografía como la técnica de imagen transversal de elección. La relativa falta de utilización de la resonancia y la tomografía en la enfermedad abdominal en medicina veterinaria puede deberse a la necesidad de sedación, anestesia general y los artefactos debidos al movimiento respiratorio. Además, la disponibilidad de los ultrasonidos puede haber disminuido la demanda de imágenes transversales abdominales. Desafortunadamente, existen algunas enfermedades como la colangiohepatitis o la pancreatitis crónica en las que los hallazgos ecográficos pueden tener un beneficio limitado (Nyland et al., 1995).

La descripción de la apariencia normal por resonancia del abdomen felino con técnicas de imagen estándar es esencial antes de la utilización de la resonancia magnética en pacientes clínicos. Estudios como el de Lee et al. (2022) evalúan la capacidad de la resonancia magnética sin contraste (NE-MRA) para visualizar la aorta felina y las arterias ilíacas externas en gatos clínicamente sanos y comparar los resultados con los obtenidos usando gadolinio como medio de contraste (CE-MRA) en un aparato de resonancia de 1.5 T. Planteando que las técnicas NE-MRA podrían usarse para visualizar la aorta y las arterias ilíacas externas de gatos clínicamente sanos. Además, plantean la hipótesis de que el TOF 3D, independiente de la frecuencia cardíaca, proporcionaría una mejor visualización de la aorta y las arterias ilíacas. (Lee et al., 2022).

III.5. ESTUDIO DE LA VASCULARIZACIÓN MEDIANTE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA E IMPRESIÓN 3D

La anatomía comparada y la fisiología relacionan estructura y función en el espacio tridimensional. En bastantes trabajos científicos, estas disciplinas han realizado descripciones e ilustraciones en el plano bidimensional, pero en los últimos años se han presentado los modelos tridimensionales por ordenador. Sin embargo, la comprensión de

ciertas estructuras anatómicas complejas se ve obstaculizada por la reproducción tridimensional en pantallas planas (inherentemente dos dimensiones). Una forma de evitar este problema es la producción de modelos impresos a escala en tres dimensiones (Lauridsen et al. 2018). Se han aplicado a imágenes de resonancia magnética y tomografía computarizada estas técnicas para producir modelos digitales de anatomía vascular abdominal felina muy adecuados para obtener impresiones 3D. Estos modelos pueden ser utilizados para la formación académica y entrenamiento prequirúrgico para clínicos veterinarios. Trabajos como los de Raffan et al. (2017); Lauridsen et al. (2018); Wilhite et al. (2019); Rojo et al, (2020, 2023) muestran cómo la técnica de impresión 3D aporta a la medicina veterinaria una poderosa herramienta para mejorar la enseñanza de los estudiantes, promover la investigación, facilitar la planificación quirúrgica, mejorar la comunicación de los clínicos veterinarios con el cliente. Además, el uso de modelos tridimensionales ayuda a reducir el número de animales necesarios, lo cual facilita el cumplimiento de las nuevas regulaciones europeas en materia de bienestar animal.

Se espera que aumente el uso de prototipos rápidos a medida que la adquisición volumétrica mediante RM y TC se vuelva más rutinaria. Existe un gran potencial para explorar este método e introducir una nueva dimensión en la formación veterinaria que ayude a mejorar la comprensión de la anatomía de los animales.

RELACIÓN DE ARTÍCULOS

IV. RELACIÓN DE ARTÍCULOS

IV.1. ARTÍCULO 1

Título: Sectional anatomic and tomographic study of the feline abdominal cavity for obtaining a three-dimensional vascular model

Autores:

¹ Daniel Rojo Ríos, ¹ José M^a Vázquez Autón, ¹ Cayetano Sánchez Collado, ² Alberto Arencibia Espinosa, ³ María I. García García, ⁴ Marta Soler Laguía, ⁴ David Kilroy, ¹ Gregorio Ramírez Zarzosa.

¹ Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

² Departamento de Morfología, Anatomía y Embriología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35416 Las Palmas de Gran Canaria, España.

³ Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

⁴ Division of Veterinary Science Centre, University College Dublin, School of Veterinary Medicine, Belfield, Dublin 4, Ireland

Revista: Iranian Journal of Veterinary Research Shiraz University

Abstract: Unlike dogs, feline abdominal studies are rare. Note that anatomical studies in felines are scarce and almost unique using feline cadaver by means of sectional anatomy and computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI). Aims: In this study, a non-pathological vascularization model of feline abdomen was conducted on three adult cats was using anatomical and diagnostic imaging techniques. Methods: A live pet cat and two cat cadavers were used in this study. Cat cadavers were injected with colored latex to show well-differentiated vascular structures and serial sections of cat abdomen were then provided. Computed tomography was performed by injecting an iodinated contrast medium through the cephalic vein of a live cat immediately before scanning. The CT images showed the arterial and venous vascular formations hyper-attenuated with two tomographic windows. The correlation between anatomical sections and their CTs was studied to identify vascular and visceral structures. Results: Hyper-attenuated vascular structures with the contrast medium were identified and marked along their path in the series of Dicom images with the Amira program. In this approach, sequentially and semiautomatically, vascular volumetric reconstruction was obtained without visceral formations. With the OsiriX program, volumetric reconstruction was automatic and maintained the fidelity of all visceral and vascular formations. Conclusion: We conclude that these improved prototypes could be used in veterinary clinics as normal vascular models and as a basis for obtaining future 3D models of vascular anomalies such as portosystemic shunts.

URL: https://ijvr.shirazu.ac.ir/article_5843.html

IV.2. ARTÍCULO 2

Título: Creation of Three-Dimensional Anatomical Vascular and Biliary Models for the Study of the Feline Liver (*Felis silvestris catus* L.): A Comparative CT, Volume Rendering (Vr), Cast and 3D Printing Study

Autores:

¹ Daniel Rojo Ríos, ¹ Gregorio Ramírez Zarzosa, ² Marta Soler Laguía, ³ David Kilroy, ¹ Francisco Martínez Gomariz, ¹ Cayetano Sánchez Collado, ¹ Francisco Gil Cano, ⁴ María I. García García, ⁵ José Raduán Jáber and ⁵ Alberto Arencibia Espinosa

¹ Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

² Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

³ Veterinary Science Centre, University College Dublin, Belfield, D04 V1W8 Dublin, Ireland.

⁴ Support Research Service SACE-ACTI, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain;.

⁵ Departamento de Morfología, Anatomía y Embriología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35416 Las Palmas de Gran Canaria, España.

Abstract: In this study, six adult feline cadavers were examined using CTA, 3D printing, and casts injected with epoxy. The aorta, the portal vein, and the gallbladder of 3 feline cadavers were separately injected with a 50% mixture of colored vulcanized latex and hydrated barium sulfate as contrast medium to analyze by CT the arterial, venous and biliary systems. The other three cadavers were injected with a mixture of epoxy resin in the aorta, gallbladder and hepatic veins, separately. After the corrosion and washing process, hepatic vascular and biliary casts were obtained. The images obtained by CT showed the vascular and biliary system using a soft tissue window. For the identification of vascular and biliary structures, the 3D prints together with the 3D reconstructions were analyzed, and the results were compared with the casts obtained with epoxy resin. Each of the arterial, venous and biliary branches associated with each of the liver lobes were identified with the help of the printings. In conclusion, the creation of 3D prototypes of nonpathological feline hepatic parenchyma can be used in the veterinary clinic as a basis for the detection of pathological problems in addition to obtaining future pathological hepatic 3D models.

URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/10/1573>

IV.3. ARTÍCULO 3

Título: Anatomical and Three-Dimensional Study of the Female Feline Abdominal and Pelvic Vascular System Using Dissections, Computed Tomography Angiography and Magnetic Resonance Angiography

Autores:

¹ Daniel Rojo Ríos, ¹ Gregorio Ramírez Zarzosa, ² Marta Soler Laguía, ³ David Kilroy, ¹ Francisco Martínez Gomariz, ¹ Cayetano Sánchez Collado, ¹ Francisco Gil Cano, ⁴ María I. García García, ¹ María Dolores Ayala Florenciano and ⁵ Alberto Arencibia Espinosa

¹ Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

² Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100 Murcia, España.

³ Veterinary Science Centre, University College Dublin, Belfield, D04 V1W8 Dublin, Ireland.

⁴ Support Research Service SACE-ACTI, University of Murcia, 30100 Murcia, Spain;.

⁵ Departamento de Morfología, Anatomía y Embriología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35416 Las Palmas de Gran Canaria, España.

Revista: Animals

Abstract: This study describes the anatomical characteristics of the abdominal and pelvic vascular system of two healthy mature female cats via three-dimensional contrast enhanced computed tomography angiography, non-contrast enhanced magnetic resonance angiography and three-dimensional printing. Volume-rendering computed tomography angiography images were acquired from the ventral aspect using RadiAnt, Amira and OsiriX MD Dicom three-dimensional formats, and threedimensional printing was obtained and compared with the corresponding computed tomography angiography images. Non-contrast enhanced magnetic resonance angiography was made using the time-of-flight imaging in ventral, oblique and lateral views. In addition, three cadavers with colored latex injection were dissected to facilitate the identification of the vascular structures. Threedimensional computed tomography angiography showed the main vascular structures, whereas with the time-of-flight blood appeared with a high signal intensity compared with associated abdominal and pelvic tissues. Three-dimensional computed tomography angiography images and time-of-flight sequences provided adequate anatomical details of the main arteries and veins that could be used for future feline anatomical and clinical vascular studies of the abdomen and pelvis.

URL: <https://www.mdpi.com/2306-7381/10/12/704>

CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

Artículo 1

- La correlación entre las imágenes de OsiriX, Amira y la impresión 3D son un buen ejemplo de lo que un modelo tridimensional normal de la vascularización del abdomen felino puede proporcionar como ayuda a los veterinarios. En el futuro, se deberían crear modelos impresos tridimensionales de derivaciones portosistémicas para ayudar a los médicos a comprender estas anomalías para su posterior resolución quirúrgica y podrían contribuir a la enseñanza de la anatomía normal.

Artículo 2

- La combinación de la angio-TC y las imágenes anatómicas inyectadas con látex y epoxi por la vena cava caudal, arteria hepática y soporte de la vesícula biliar nos permitió diferenciar la irrigación arterial, el drenaje venoso y la circulación de bilis en el hígado felino.

La correlación entre las imágenes de OsiriX, Amira y la impresión 3D son un buen ejemplo de lo que un modelo tridimensional normal de la vascularización del hígado felino puede aportar como ayuda al trabajo clínico veterinario. En el futuro, se podrán crear modelos impresos tridimensionales de derivaciones portosistémicas para ayudar a los médicos a comprender estas anomalías para su

posterior resolución quirúrgica y podrían contribuir a la enseñanza de la anatomía normal. Las imágenes y la impresión en 3D de los sistemas vascular y biliar hepático serán un recurso útil para el clínico para la planificación preoperatoria de diferentes cirugías (derivaciones, masas hepáticas, etc.) en pacientes felinos.

Artículo 3

- El uso de disecciones anatómicas con inyecciones de látex coloreado ha permitido una descripción precisa de las estructuras vasculares en imágenes de ATC y ARM. Las imágenes obtenidas a través de este estudio proporcionaron una referencia anatómica básica a los médicos para el diagnóstico de enfermedades de estas regiones y para un mayor uso y desarrollo de estas técnicas en la medicina felina.

RESUMEN GENERAL

VI. RESUMEN GENERAL

VI.1. INTRODUCCIÓN

Los perros desde siempre han sido las mascotas preferidas por los amantes de los animales, sin embargo, en los últimos años, los gatos cada vez están más equiparados a estos y, por lo tanto, su presencia en las clínicas veterinarias es cada vez más frecuente. Actualmente, en estos centros, para el diagnóstico y posterior tratamiento quirúrgico preciso de determinadas patologías en los felinos, así como en los perros, se van introduciendo de forma paulatina, técnicas diagnósticas no invasivas como son la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM). Para ello, se suelen remitir a pesar de su alto coste, a hospitales clínicos veterinarios que dotados con estos equipos realizarán la adquisición de imágenes, así como su posterior análisis. Otras técnicas utilizadas, más tradicionales y económicas como la radiología (RX) y la ecografía (US), no ofrecen al veterinario niveles de precisión diagnóstica tan altos como los proporcionados por la tomografía y la resonancia. Para el diagnóstico de enfermedades del abdomen y pelvis en los gatos con cualquiera de estas técnicas de imagen es fundamental tener un conocimiento previo de su anatomía. Para ello, primero se debe realizar una descripción de la anatomía de las cavidades abdominal y pelviana mediante disecciones por los flancos derecho e izquierdo y, anatomía seccional secuencial en los diferentes planos espaciales (horizontal, sagital y transversal) tanto en machos y como en hembras.

VI.2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es correlacionar las imágenes de disección y, sobre todo de anatomía seccional, con las imágenes obtenidas mediante las diferentes técnicas de diagnóstico por imagen de la forma más precisa. Además, es fundamental para mejorar el estudio del sistema circulatorio, inyectar látex y resina epoxi coloreados por la arteria carótida común (rojo) y la vena yugular externa (azul) en cadáveres y posteriormente realizar radiografías, tomografías y resonancias con medio de contraste vascular. En definitiva, indicar que el objetivo final es obtener reconstrucciones tridimensionales por ordenador e impresiones 3D, esto último dirigido a estudiantes y veterinarios especialistas en diagnóstico por imagen en la especie felina, para que interpreten con mayor exactitud las imágenes (RX, TC y RM) a la hora de localizar el proceso patológico y para posteriormente resolverlo mediante técnicas quirúrgicas.

1. Mejorar el conocimiento de la anatomía de las cavidades abdominal y pelviana del gato mediante técnicas regladas de disección y anatomía seccional en los tres planos espaciales, tanto en macho como en hembra. (Artículos 1, 2 y 3)
2. Mejorar el conocimiento y estudio de la anatomía de las cavidades abdominal y pelviana del gato mediante técnicas de diagnóstico por imagen no invasivas, rápidas y eficaces. con el fin de realizar posteriormente un tratamiento de la patología lo más certero posible, lo cual beneficiará en un futuro a los clínicos que trabajen con esta especie. (Artículos 1, 2 y 3).
3. Valorar las técnicas de diagnóstico por imagen indicadas para la cavidad abdominal que son por orden de preferencia y uso por parte de los clínicos en primer lugar la radiografía, después la ecografía, la tomografía y ahora están cada vez más presentes las resonancia magnética así como la endoscopia/laparoscopia. (Artículos 1, 2 y 3).
4. Correlacionar imágenes de anatomía seccional vasculares transversales con imágenes de TC de contraste y RM (con y sin contraste) de las cavidades abdominal y pelviana del gato. (Artículo 1).

5. Obtener corrosiones vasculares y biliares de las cavidades abdominal y pelviana para ayudar a la interpretación de reconstrucciones tridimensionales vasculares con medio de contraste. (Artículo 2).
6. Obtener reconstrucciones tridimensionales e impresiones 3D de las principales estructuras vasculares de las cavidades abdominal y pelviana mediante tomografía computerizada de contraste para ayudar al clínico a preparar las intervenciones con un conocimiento espacial del abdomen felino. (Artículos 1, 2 y 3).
7. Estudiar la vascularización de las cavidades abdominal y pelviana empleando angiorresonancias con y sin medio de contraste y correlacionarlas con las disecciones. (Artículo 3).

VI.3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio, utilizamos un total de 14 felinos, para la tomografía de contraste y secuencia TOF de resonancia magnética tres felinos mestizos vivos (un gato y dos gatas) y once cadáveres para las disecciones, anatomía seccional, inyección de látex coloreado y obtención de moldes con resina epoxi. Todos los cadáveres utilizados procedían del Servicio de Zoonosis y Control de Plagas del Ayuntamiento de Murcia, que fueron sacrificados humanitariamente por causas ajenas a este estudio. Para los procedimientos con animales vivos se obtuvo el consentimiento de los dueños de mascotas y los procedimientos experimentales fueron supervisados y aprobados por el comité de ética y cuidado animal de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España (MV-2015/08) en el artículo 1 y por el Comité de Ética Animal de Medicina Veterinaria de la Universidad de Murcia, España (REGA ES300305440012 CEEA: 305/2017; prorrogado el 25/07/2022 como proyecto Tipo II) en los artículos 2 y 3.

Artículo 1

Animales empleados

Para obtener los cortes macroscópicos (secciones transversales del abdomen y pelvis) se utilizaron dos cadáveres de gatos mestizos enteros del Servicio de Zoonosis y Control de Plagas del Ayuntamiento de Murcia. Ambos cadáveres obtenidos del Servicio

de Salud Pública fueron sacrificados humanitariamente por causas ajenas a este estudio. También se utilizó un gato doméstico vivo para la tomografía de contraste, con el consentimiento por escrito del dueño de la mascota utilizada para esta investigación. Los gatos del Servicio de Salud Pública tenían el estómago moderadamente lleno, al contrario que la mascota viva, que no se alimentó previamente a realizar la anestesia, protocolo obligatorio para poder realizar una angiografía por tomografía computarizada. Todos los procedimientos experimentales fueron supervisados y aprobados por el comité de ética y cuidado animal de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España (MV-2015/08).

Radiología y Tomografía Computarizada

El gato vivo empleado para el estudio radiológico y de tomografía computarizada del abdomen y pelvis fue preanestesiado con dexmedetomidina (Dexdomitor, Orion Farma) (40 mcg/kg) y Butorfanol (Thorphasol, Esteve) (0,4 mg/kg) por vía intramuscular (IM). Veinticinco minutos después de la premedicación, se colocó un catéter de calibre 20 en la vena cefálica derecha y se lavó con solución salina (8 ml/kg). La anestesia fue inducida con propofol (Propofol-Lipuro 1%, Braun) 4 mg/kg., y se mantuvo con una mezcla de isoflurano al 1,5% (Forane, Abott) con oxígeno al 100%, utilizando un circuito de reinhalación semicerrado. Toda la exploración tomográfica se realizó con ventilación mecánica. El gato fue examinado en decúbito esternal utilizando un escáner helicoidal de 16 detectores (CT HiSpeed Siemens SOM5). Después del examen inicial, sólo se realizó una angiografía por TC utilizando medio de contraste no iónico iohexol (Omnitrac, Schering) a 800 mg/kg y a 3 ml/s en un catéter por la vena cefálica mediante un inyector angiográfico (A-60, Nemoto) cerca del cuerpo a temperatura de 38,5°C. La tomografía computarizada comenzó al nivel de la cúpula diafragmática y el punto final de la exploración fue al nivel de la cavidad pélvica. La adquisición de datos y la inyección del medio de contraste se iniciaron simultáneamente y se tuvieron en cuenta las fases arterial y venosa.

Los parámetros técnicos fueron los siguientes: voltaje del tubo (120 Kv), corriente del tubo (120 mAs), tiempo de rotación del tubo (1 s/rotación), modo de escaneo: helicoidal, paso del colimador: 1.5, espesor de corte: 3 mm (o: 1,2 mm) e intervalo de reconstrucciones: superposición del 50%. El campo de visión de visualización fue de 25 cm y la matriz de imagen de 512 × 512. En la estación de trabajo de TC, las imágenes se

obtuvieron con algoritmos de tejidos blandos y hueso y, se reformatearon en planos sagital y dorsal con proyección de máxima intensidad (PMI) y representación volumétrica (RV). Las imágenes se revisaron en una Estación de Trabajo del Sistema de Comunicación y Archivo de Imágenes (ETSCA) (procesador digital AGFA Healthcare CR10-X) con ventana de tejidos blandos (WW=652, WL=-34) y mediastino-vascular (WW=352, WL=220). Los archivos Dicom generados por el escáner CT fueron analizados con los programas OsiriX y Amira. Además, mediante la aplicación de diferentes algoritmos de postprocesado se obtuvieron imágenes de máxima intensidad de proyección (MIP), reconstrucciones superficiales y volumétricas (RS/RV), que dieron como resultado una impresión 3D de las estructuras del abdomen felino a través del programa Slicer 3.0. El coste de realizar la impresión 3D era de entre 75 y 100 euros por modelo, dependiendo del tamaño de la escala.

Evaluación anatómica

Los cadáveres de gatos fueron transportados a la sala de disección y se realizó una limpieza vascular bombeando solución salina al 2%. Posteriormente, se les inyectó a través de la arteria carótida común y la vena yugular externa látex rojo y azul, respectivamente. Para obtener las secciones anatómicas, los especímenes fueron inicialmente congelados a -20°C. Los bloques abdominales se prepararon y luego se congelaron a -80 °C durante al menos 48 h antes de seccionarlos con una sierra de banda (Sala de Disección, Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, España). Se obtuvieron alrededor de 200 secciones transversales con un espesor de 0.7 a 1 cm. Luego se fotografiaron las secciones tanto por su cara craneal como caudal para evaluar su correlación con las imágenes de TC.

Artículo 2

Animales empleados

Para este estudio, utilizamos cadáveres de 6 gatos mestizos (2 machos y 4 hembras) del Servicio de Zoonosis y Control de Plagas del Ayuntamiento de Murcia, que fueron sacrificados humanitariamente por causas ajenas a este estudio. Luego, los especímenes se utilizaron para el estudio tomográfico del hígado con medio de contraste. Este proyecto fue

supervisado y aprobado por el comité de ética de la Universidad de Murcia, España (REGA ES300305440012 CEEA:305/2017).

Tomografía Computarizada

Los tres cadáveres a los que se les realizó la tomografía computarizada previamente fueron transportados a la sala de disección (Sala de Disección, Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, Murcia, España) y se realizó el lavado de los vasos sanguíneos con solución salina al 2% a través de la arteria carótida común, a la cual luego se le inyectó látex vulcanizado de colores (azul, rojo y verde) (NV001, Ballons CP, Espinardo, Murcia, España) y sulfato de bario hidratado al 50% (12 g/100 ml de agua destilada) para analizar el sistema venoso, arterial y biliar empleando como vía de entrada la aorta, la vesícula biliar y la vena porta. Posteriormente, se realizaron tomografías computarizadas en el Hospital Veterinario de la Universidad de Murcia, España (tomógrafo de 2 detectores dual HiSpeed de General Electric, General Electric Healthcare, Madrid, España). Los diferentes parámetros y secuencias que se emplearon para el estudio arterial, venoso y biliar se reflejaron en una tabla. Los archivos de imágenes DICOM generados por el tomógrafo se analizaron con los programas AMIRA 5.6 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.) y OsiriX MD 13.0.2 (Pixmeo, Bernex, Suiza); posteriormente, mediante diferentes algoritmos de postprocesado se obtuvieron imágenes de máxima intensidad de proyección (MIP), reconstrucciones superficiales y volumétricas (RS/RV). Finalmente, se obtuvieron impresiones 3D arteriales, venosas y biliares del hígado felino utilizando el programa Grabcad Print 1.71.7.21930 (Waltham, MA, EE. UU.) y la impresora Stratasys F170-FDM (Los Ángeles, CA, EE. UU.). Para los modelos se utilizó plástico ABS y material de soporte soluble. Posteriormente el material de soporte se disolvió en un baño de agua con aditivo a 70°C. Finalmente, los modelos impresos fueron pintados con varios colores para identificar las diferentes estructuras anatómicas.

Técnicas de corrosión y Preparación de Moldes

Procedimiento previo a la preparación del molde. Los otros tres cadáveres de gatos fueron transportados a la sala de disección (Sala de Disección, Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia,

España) donde lavaron los vasos sanguíneos con solución salina a través de la arteria carótida común y la vena yugular.

Procedimiento para la preparación del molde. Posteriormente se inyectó resina epoxi coloreada: azul para el sistema venoso a través de la vena cava caudal en dirección inversa hacia el hígado, rojo para el sistema arterial a través de la aorta descendente en dirección contraria al corazón y verde para el sistema biliar a través de la vesícula biliar en dirección hacia el hígado y la vía biliar (cerrada) (E20 plus BIODUR®, Biodur Products, Biodur, Heidelberg, Alemania). Luego se extrajeron los hígados de la cavidad abdominal. Para el proceso de digestión orgánica se utilizó sosa cáustica (hidróxido de sodio).

Procedimiento final para la obtención del molde. Los tejidos hepáticos tras ser digeridos, finalmente fueron lavados con agua para limpiar los moldes hepáticos. Los moldes obtenidos fueron fotografiados y se compararon con las imágenes tomográficas (AMIRA y OsiriX) y las impresiones 3D.

Artículo 3

Animales empleados

Se emplearon dos gatas vivas, una para la tomografía de contraste y otra para la resonancia magnética sin contraste. Después de la evaluación clínica, los protocolos anestésicos en ambos animales para cada estudio consistieron en premedicación con una combinación de medetomidina (Domtor, Orion Farma) 0,075 mg/kg y ketamina (Ketaset, Zoetis Inc., Kalamazoo, MI 100 mg/ml) 5 mg/kg inyectados IM, e inducción con propofol IV (Propofol-Lipuro 1%, Braun) 4-6 mg/kg vía vena cefálica. Luego se mantuvo la anestesia con una mezcla de agentes anestésicos volátiles en oxígeno (isoflurano (Forane, Abbott) 2-3% en un flujo de 0,8 l/min de O₂). Se utilizó ventilación mecánica durante todos los estudios a una velocidad de 10 a 12 respiraciones/min y los gatos recibieron solución salina fisiológica intravenosa a 5 ml/h.

En el estudio de disección se utilizaron tres cadáveres de gatas mestizas del Servicio de Zoonosis y Control de Plagas del Ayuntamiento de Murcia (España). Los animales fueron sacrificados humanitariamente por razones no relacionadas con este estudio. Este estudio fue supervisado y el protocolo de investigación autorizado por el Comité de Ética

Animal de Medicina Veterinaria de la Universidad de Murcia, España (REGA ES300305440012 CEEA: 305/2017; prorrogado el 25/07/2022 como proyecto Tipo II).

Las disecciones anatómicas nos permitieron evaluar la calidad de las imágenes obtenidas con las técnicas elegidas (tomografía, resonancia e impresión 3D) a la hora de identificar estructuras vasculares. Los cadáveres frescos de gato fueron transportados a la sala de disección y se realizó un lavado de los vasos sanguíneos con solución salina al 2%. Luego, los cadáveres se inyectaron, a través de la arteria carótida común y la vena yugular externa, con látex rojo y azul (NV001, Ballons CP, Espinardo, Murcia, España), respectivamente. Posteriormente, se congelaron los cadáveres sin fijar con repleción vascular a -20 °C durante al menos 15 días para endurecer el látex antes de realizar disecciones anatómicas. Tras las disecciones, los gatos fueron embalsamados (1% formol, 5% glicerina, 10% alcohol isopropílico y 5% fenol y agua) mediante inmersión en un recipiente. Varios órganos y estructuras vasculares abdominales y pélvicas fueron marcados e identificados siguiendo la Nómina Anatómica Veterinaria Ilustrada.

Tomografía de contraste e impresión 3D

Se realizó la tomografía de contraste siguiendo el protocolo de fase triple, adquiriendo la fase arterial simple (20 s después del inicio de la inyección del medio de contraste), la fase venosa (40 s después del inicio de la inyección) y la fase retardada (120 s después del inicio de la inyección). Se utilizó como medio de contraste Iomeprol (Iomeron, Madrid, España, 300 mgI/ml) y se administró a dosis de 800 mgI/Kg, a 3 ml/s, vía vena cefálica con un inyector mecánico (Auto Enhance A-60; Nemoto-Kyorindo, Tokio, Japón). La tomografía de contraste se adquirió con el animal en decúbito dorsal utilizando una tomógrafo de 16 cortes (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, España). Los parámetros técnicos fueron los siguientes: voltaje del tubo: 120 Kv, corriente del tubo: 80 mAs, tiempo de rotación del tubo: 1.5 s, factor de paso espiral: 0.94 y grosor de corte: 3 mm. La amplitud del campo de visión fue de 35 cm y la matriz de adquisición 512 × 512. En el tomógrafo, las imágenes transversales se obtuvieron con ventana ósea y de tejidos blandos y, posteriormente se generaron los planos sagital y dorsal, de máxima intensidad de proyección y reconstrucción volumétrica. Las imágenes se generaron empleando ventana de tejidos blandos (WW = 652, WL = -34) y ventana ósea (WW = 1500, WL = 300). Se realizaron ajustes al ancho y nivel de la ventana de imagen

según fue necesario. Para evaluar mejor la apariencia de las estructuras vasculares y pélvicas, se usaron imágenes Dicom de la fase venosa empleando tres programas Dicom 3D estándar (OsiriX MD 13.0.2, Pixmeo, Bernex, Suiza; AMIRA 5.6, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EEUU; RadiAnt DICOM Viewer 2023.1; Medixant Co., Poznan, Polonia) para obtener representaciones volumétricas tridimensionales. Posteriormente se realizó la impresión 3D de los sistemas arterial y venoso de las cavidades abdominal y pélvica mediante el programa Slicer 3.0. A continuación, se obtuvo la impresión 3D utilizando el programa Grabcad Print 1.71.7.21930 (Waltham, MA, EE. UU.) y la impresora Stratasys F170-FDM (Los Ángeles, CA, EE. UU.). Finalmente, el modelo impreso fue pintado con diferentes colores para identificar órganos y estructuras vasculares.

Resonancia magnética sin contraste

La angiografía por resonancia magnética sin contraste se realizó con un escáner de resonancia magnética de alto campo (1,5 Tesla) (General Electric Sigma Excite, Schenectady, NA, EE. UU.), utilizando una bobina de cabeza humana de 8 canales. El animal se colocó en decúbito dorsal y se utilizó la sincronización electrocardiográfica retrospectiva (ECG) con el movimiento respiratorio del paciente para mitigar los artefactos de movimiento en las imágenes debido al movimiento visceral y la pulsatilidad de los vasos pequeños. Utilizando herramientas de software de estos paquetes estándar, de la imagen 3D se eliminaron manualmente las vísceras (intestino delgado y grueso, hígado, bazo) ubicadas debajo del techo abdominal y pélvico para una mejor visualización de las estructuras vasculares.

Se adquirieron imágenes de resonancia con la secuencia "tiempo de vuelo" time-of-flight (TOF) 3D ventral, oblicua y lateral con los siguientes parámetros: TR: 25 ms; TE: 6.9 ms; grosor de corte: 2 mm; ángulo de giro: 20 y matriz de adquisición: 256 × 256. Las estructuras vasculares abdominales y pélvicas se evaluaron según su señal de hiperintensidad y se compararon con las imágenes tridimensionales tomográficas de reconstrucción volumétrica, la impresión 3D y las disecciones anatómicas. Para la interpretación de las imágenes de tomografía de contraste, secuencia de resonancia magnética TOF y la impresión 3D se emplearon tratados de anatomía y las disecciones macroscópicas para facilitar la identificación de las estructuras vasculares abdominales y pélvicas.

VI.4. RESULTADOS

Artículo 1

Para indicar los niveles de corte realizados en el estudio se usó una imagen radiográfica del gato que se dividió en tres regiones para establecer un análisis más completo de las estructuras vasculares a nivel del abdomen craneal, medio y caudal. Secciones anatómicas y tomografía de contraste.

Abdomen craneal

Al inicio de la cavidad abdominal se observó el fondo de estómago, los lóbulos hepáticos (caudado, cuadrado, derecho e izquierdo) y la vesícula biliar. Las arterias y venas replecionadas con látex se diferenciaron claramente en las secciones anatómicas y pudieron correlacionarse con las formaciones vasculares de las imágenes tomográficas, ya que estaban hiperatenuadas por el contraste. Se observó claramente la arteria testicular derecha, pero en el estudio tomográfico no se visualizó la arteria testicular izquierda ya que el medio de contraste no llenó dicha arteria, y en las secciones anatómicas no se observó ninguna arteria testicular debido a su pequeño calibre. También, se distinguieron claramente estructuras vasculares como la aorta torácica, la vena cava caudal y la vena porta (exangüe). Las ramas de la arteria hepática se identificaron como ramas rojas muy pequeñas junto a la vena porta hepática (en el hilio hepático), pero las ramas de las venas hepáticas (eferentes) y las ramas de la vena porta (azul) (aferentes) no se distinguieron entre sí. A este nivel todavía era posible apreciar los lóbulos pulmonares caudales derecho e izquierdo.

Las paredes del estómago y colon mostraron un aspecto hiperatenuado respecto al contenido que se visualizaba hipoatenuado con la ventana mediastino vascular. El hígado estaba hipoatenuado en la tomografía tanto con ventana del mediastino vascular como de tejidos blandos con respecto a los riñones. El uso de medio de contraste intravenoso permitió analizar las venas hepáticas hiperatenuadas. El páncreas después de la introducción del medio de contraste fue más fácil de identificar como una estructura hipoatenuada en relación con el bazo y el hígado. El hígado mostró una baja atenuación con la ventana mediastino vascular con respecto a la ventana de tejidos blandos, lo que permitió

una mejor visualización de los lóbulos hepáticos y la cisura interlobular. La vesícula biliar estaba hipoatenuada en la ventana mediastino vascular y ligeramente hipoatenuada en la ventana de tejidos blandos en comparación con el hígado. Las vías biliares no fueron apreciadas ni en cortes anatómicos ni en tomografías computarizadas. El medio de contraste permitió identificar la aorta, la vena cava caudal y la vena porta hiperatenuadas en ambas ventanas. Las ramas de la vena porta, eran muy pequeñas e hiperatenuadas y no era posible distinguir sus ramas de las ramas de las venas hepáticas. Pudimos diferenciar el duodeno descendente, el colon transversal y los giros yeyunales, y tanto el cuerpo como el antro pilórico del estómago. Las paredes del estómago, colon, duodeno y páncreas estaban hiperatenuadas en ambos tipos de ventanas. Los contenidos del estómago, duodeno y colon se observaron ligeramente hiperatenuados en la ventana de tejidos blandos e hipoatenuados en la ventana mediastino vascular. Los riñones y el bazo aparecieron claramente en las secciones anatómicas y estaban hipoatenuados en ambas ventanas de tomográficas. Observamos, ventral a la columna vertebral, la aorta abdominal, y al lado derecho del abdomen, la vena cava caudal y debajo de ella, la arteria y vena mesentérica craneal. Se localizaron ramas de la arteria y vena esplénicas en cortes anatómicos y en ambas ventanas tomográficas.

Abdomen medio

Se observaron el duodeno descendente, el colon ascendente, las espirales yeyunales y el lóbulo derecho del páncreas, así como ambos riñones, bazo, mesenterio y omento mayor. Las estructuras vasculares identificadas a este nivel fueron la vena cava caudal, la arteria y vena renal derecha, la vena renal izquierda, la arteria y la vena esplénica.

Abdomen caudal

Se distinguieron el duodeno descendente y ascendente, el colon ascendente y descendente, los giros yeyunales, el lóbulo pancreático derecho, el bazo y el duodeno ascendente, así como la vena cava caudal, la arteria y la vena esplénica y, la aorta abdominal. Los vasos yeyunales (ramas de la arteria y vena mesentérica craneal) estaban perfectamente delineados en ambas secciones anatómicas y en ambas ventanas tomográficas. Los vasos esplénicos permitieron la identificación del páncreas con ambos tipos de ventanas. Se observó la porción descendente del colon y con látex coloreado las

estructuras vasculares. La arteria y vena sacra media, la arteria ilíaca interna, la vena ilíaca común, la arteria ilíaca externa y la arteria rectal craneal estaban muy atenuadas en las tomografías computarizadas con ambos tipos de ventana.

Reconstrucciones volumétricas e impresión 3D

En la reconstrucción volumétrica de la cara izquierda de la cavidad abdominal utilizando OsiriX y Amira e imágenes impresas en 3D se observaron claramente el hígado, el bazo y ambos riñones. En las imágenes con OsiriX se apreciaban bien los giros yeyunales y el colon descendente, pero no el riñón derecho. Sin embargo, se reconocieron claramente estructuras vasculares como la aorta abdominal, la vena cava caudal, la arteria testicular izquierda y la arteria ilíaca externa. Las venas hepáticas y las ramas de la vena mesentérica craneal se observaron tanto con Amira como con imágenes impresas en 3D. La visualización de la vena porta sólo fue posible en las imágenes de Amira. La vena ilíaca común no se distinguió bien en las imágenes con OsiriX, pero se observó claramente en las impresiones con Amira e impresión 3D. El hígado y ambos riñones se observaron claramente en el lado derecho de la cavidad abdominal en la reconstrucción volumétrica de OsiriX y Amira y, en las imágenes impresas en 3D; sin embargo, aunque con la imagen de OsiriX se visualizaron los giros yeyunales y el colon descendente, no se identificó el riñón derecho. El bazo sólo fue visto con Amira y las imágenes impresas en 3D. En cuanto a las estructuras vasculares, se observaron claramente la vena cava caudal, la vena ilíaca común y la arteria ilíaca externa junto con la arteria testicular izquierda. Finalmente, destacar que las ramas de las venas mesentérica craneal, venas hepática y porta se observaron solo con Amira y en las imágenes de impresión 3D.

En las reconstrucciones volumétricas (OsiriX y Amira) e impresión 3D en visión ventral, la cavidad abdominal mostró claramente el hígado, ambos riñones, estómago, bazo, asas yeyunales, colon descendente y, el recto solo en la imagen de OsiriX. El bazo y los riñones se observaron con Amira y con imágenes impresas en 3D. Se apreciaron bien la vena cava caudal, la vena ilíaca común y la arteria ilíaca externa junto con la arteria testicular izquierda. Las ramas de la vena mesentérica craneal entre los giros yeyunales se observaron en la imagen de OsiriX, mientras que las imágenes impresas en 3D y Amira mostraron claramente las afluentes de la vena porta (venas mesentérica craneal, gastroduodenal y esplénica) y las venas hepáticas.

En las reconstrucciones volumétricas utilizando OsiriX y Amira, e imágenes impresas en 3D (vista dorsal), la cavidad abdominal mostró claramente el hígado, el estómago, ambos riñones, el bazo, las asas yeyunales, el colon descendente y, el recto solo en la imagen de OsiriX. El bazo, los riñones y las venas hepáticas se observaron con Amira y con imágenes impresas en 3D, las arterias y venas renales y la arteria testicular izquierda. En todas las imágenes se observaron ramas de la vena mesentérica craneal y vasos esplénicos. Las venas hepáticas se observaron solo con Amira y con imágenes impresas en 3D.

VI.5. DISCUSIÓN

Artículo 1

Para la interpretación de las secciones anatómicas es necesario considerar las variaciones en el tamaño, forma y sus relaciones con los órganos abdominales, que dependen en parte de su grado de desarrollo. Los órganos y estructuras abdominales fueron interpretados, identificados y diferenciados según el nivel de la corte. Para facilitar la identificación de las diferentes estructuras anatómicas, especialmente las vasculares, se han utilizado referencias óseas (cuerpos vertebrales, costillas) y viscerales (lóbulo hepáticos, riñón, estómago y duodeno) para identificar la continuidad de determinadas estructuras como la vena cava caudal, aorta torácica y abdominal, vena porta y, arteria y vena mesentérica craneal.

Todas las estructuras viscerales fueron identificadas fácilmente mediante tomografía; sin embargo, para reconocer las estructuras vasculares fue necesario seguir cada vaso mediante la secuencia de imágenes del programa Amira. El estudio del abdomen canino mediante tomografía con medio de contraste realizado por Teixeira et al. (2007) no emplearon secciones anatómicas, sin embargo, se observaron muy claramente las formaciones vasculares al estar hiperatenuadas. Además, las venas hepáticas se observaron con ambos tipos de ventana y en nuestros cortes anatómicos se distinguieron por estar teñidas con látex azul. Las ramas viscerales de la aorta, en el abdomen medio y caudal, observadas en nuestro trabajo, coincidieron en su mayoría con las referidas en los estudios realizados en perros. De forma similar al trabajo realizado por Teixeira et al. (2007)

pudimos apreciar todas las ramas viscerales de la aorta abdominal, excepto las testiculares y la arteria mesentérica caudal. Además, observamos que la descripción de los conductos biliares intrahepáticos en el perro no era como en nuestro estudio felino, ni tampoco detectamos la presencia de un conducto hepático común, solo con esto último coincidimos con Schaller (1992). Pocas publicaciones han correlacionado la tomografía con cortes anatómicos en el abdomen canino, pero Smallwood y George (1992) analizaron la topografía de los uréteres, la vejiga urinaria, el ovario y el útero hasta la arteria ilíaca interna y externa, pero no hubo referencias a las venas ni tampoco realizaron inyección vascular con látex previa a los cortes anatómicos, por lo que este estudio no aportó información que facilitara la identificación de los vasos. Estos anteriores autores describieron de forma similar las principales vísceras y vasos sanguíneos más grandes, como la aorta abdominal, la vena porta y la vena cava caudal. Pero su estudio no describió ninguna rama visceral de la aorta abdominal ni afluentes de la vena cava caudal para ayudar a identificar estas formaciones en el abdomen felino. Los estudios de Zwingenberger et al. (2005) sobre el sistema vascular portal y hepático del perro mediante angiografía por tomografía o tomografía de doble fase, ayudaron a corroborar nuestra identificación de las venas hepáticas, mesentérica craneal, gastroduodenal, esplénica y porta. Sin embargo, no pudimos identificar la vena mesentérica caudal ni la ramificación de la vena porta intrahepática en los diferentes lóbulos hepáticos como se describe en su trabajo. En nuestro estudio identificamos dos ramas de la vena esplénica que desembocan en la vena cava caudal.

Bertolini et al. (2006) enfatizaron en la utilidad de la angiotomografía multicorte tridimensional con máxima intensidad de proyección (MIP) y reconstrucción volumétrica (RV) en perros con derivaciones portosistémicas, describiendo los vasos principales (aorta abdominal, vena cava caudal, vena porta y el vaso anómalo: porto-cava o porto-ácigos). Este artículo nos permitió corroborar la disposición de nuestras formaciones vasculares, excepto las ramas derivadas de los troncos principales. Creemos que nuestro trabajo proporcionará información valiosa para el estudio tridimensional de la vascularización, ayudando al estudio de anomalías vasculares.

Estudios realizados en el abdomen del gato por Samii et al. (1998) que combina anatomía seccional y tomografía con medio de contraste, y Samii et al. (1999) mediante resonancia magnética nos ayudó a estudiar algunos grandes vasos como la aorta abdominal,

la vena cava caudal y la vena porta. Las imágenes de tomografía del abdomen felino de Shojaei et al. (2006) nos permitieron localizar y analizar las imágenes de la aorta abdominal, la vena porta y la vena cava caudal. Encontramos información adicional para identificar las principales estructuras del abdomen craneal del gato en el trabajo de Newell et al. (2016) empleando resonancia magnética. Nuestro estudio no localizó dos ramas en la vena renal derecha e izquierda, ni la arteria accesoria renal izquierda descrita en el estudio angiográfico por tomografía del riñón felino de Bouma et al. (2003). El estudio por resonancia magnética de Dennis (2005), realizado en 95 perros y 5 gatos, mostró la posición de las arterias celíaca y mesentérica craneal, pero no mostró ninguna imagen de resonancia magnética en el gato, con lo cual no es comparable con nuestras imágenes.

Scavelli et al. (1986) realizaron estudios de resonancia magnética con medio de contraste de derivaciones portosistémicas en gatos y por Frank et al. (2003) en perros, lo que nos permitió apreciar el patrón vascular normal. Tanto estos autores anteriormente mencionados como Schwarz et al. (2009) en el estudio de las derivaciones portosistémicas caninas usaron la angiotomografía y la resonancia magnética, y Oui et al. (2013) al describir múltiples anomalías de la vena cava caudal en un perro empleando solamente la tomografía, coincidieron en indicar la importancia de obtener reconstrucciones volumétricas para entender estas anomalías vasculares y en fomentar la necesidad de realizar un estudio en un modelo vascular normal.

Un estudio radiográfico con medio de contraste o arteriografía realizado por Kneller et al. (1972) en gatos, facilitaron la descripción en nuestro estudio de la disposición de las ramas viscerales de la aorta abdominal y su similitud topográfica con la del perro.

El estudio angiotomográfico realizado por Grabherr et al. (2005) en tres cadáveres (dos perros y un gato) utilizando un fluido de aceite diesel y con medio de contraste lipofílico, produjeron una gran reconstrucción volumétrica tridimensional pese al escaso detalle en su interpretación; sin embargo, es un buen estudio de la disposición de formaciones vasculares en carnívoros, lo que nos ayudó a producir un modelo 3D. Para realizar nuestro estudio tomográfico de contraste y reconstrucción tridimensional nos basamos en la configuración del escáner utilizado en el estudio del oído humano por Fatterpekar et al. (2006) y también utilizamos esta investigación como referencia para realizar la impresión 3D. En cuanto a la reconstrucción, coincidimos con Lauridsen et al. (2018) en la adquisición de la imagen realizada con un tomógrafo de 16 detectores. El

tratamiento de las imágenes se realizó con Amira, pero también utilizamos el programa OsiriX, que nos permitió comparar los resultados de ambos programas. Para preparar la impresión 3D generamos un archivo con el programa en Lenguaje de Triangulación Estándar (LTE) como en los de Hespel et al. (2014) y Lauridsen et al. (2018).

La correlación entre las imágenes de OsiriX, Amira y la impresión 3D es un buen ejemplo de lo que puede ayudar a los médicos veterinarios un modelo tridimensional normal de la vascularización del abdomen felino. En el futuro, se deberían crear modelos impresos en 3D de derivaciones portosistémicas para ayudar a los clínicos a comprender estas anomalías para una mejor resolución quirúrgica de los mismos y, además, podrían contribuir a mejorar la enseñanza de la anatomía normal.

VI.6. RESULTADOS

Artículo 2

Se crearon modelos tridimensionales de las estructuras que componen el parénquima hepático, arterias, venas y conductos biliares y su distribución dentro del hígado, mediante la reconstrucción volumétrica uniendo la segmentación volumétrica automática y la segmentación manual que proporciona el programa AMIRA. Se siguió el curso de cada una de las estructuras hacia (arterial, portal) o desde (venosa o biliar) dentro de cada lóbulo hepático mediante la superposición de las estructuras del sistema venoso (venas porta y hepática), arterial y biliar. Esto nos permitió ubicar cada una de las estructuras hepáticas en relación con el lóbulo al que irrigan, drenan o desde donde se secreta la bilis. Cuando se generó el modelo 3D, pudimos analizar cuidadosamente las estructuras en todos los niveles, correlacionando las imágenes obtenidas en la reconstrucción volumétrica de Amira y OsiriX, la segmentación manual de Amira y el modelo impreso en 3D.

El riego arterial del hígado procede de la arteria hepática que es rama de la arteria celíaca. Observamos las otras dos ramas de la arteria celíaca: la arteria gástrica izquierda en posición central y la arteria esplénica hacia la izquierda. La arteria hepática en el hilio o porta hepático se divide en las ramas derecha e izquierda.

La rama derecha emite una rama que va al lóbulo hepático derecho y termina en cuatro subramas dirigidas dorsocaudalmente. Finalmente, la rama derecha se divide en tres ramas que se dirigen al lóbulo hepático medial derecho y a la vesícula biliar.

La rama izquierda envía una pequeña rama dorsal hacia la apófisis papilar del lóbulo caudado, dos ramas mediales izquierdas continúan y las ramas ventrales se dirigen hacia el lóbulo medial izquierdo y el lóbulo cuadrado. La rama izquierda finalmente se divide en cuatro ramas que irrigan el lóbulo lateral izquierdo.

En el molde del sistema arterial obtenido con la técnica de corrosión, sólo podemos observar la división de la arteria hepática en las ramas derecha e izquierda y sus ramas principales.

Distinguimos en este estudio dos tipos de drenaje venoso: funcional y metabólico. Comenzamos con el estudio del drenaje venoso funcional que conduce los nutrientes absorbidos por el sistema digestivo a través de la vena porta. Primero examinamos las principales afluentes de la vena porta hepática: las venas gastroduodenal (en el plano derecho), mesentérica craneal (central, con respecto a la vena porta) y esplénica (en el plano izquierdo).

La vena porta se divide en la rama izquierda, que emite una primera rama, la porción transversa, que transporta la sangre a los lóbulos cuadrado y caudado (apófisis papilar). Esta rama izquierda continúa hacia el lóbulo medial derecho y medial izquierdo. La rama derecha al dividirse se dirige a los lóbulos lateral derecho y caudado (apófisis caudada). Desde estas ramas la sangre portal discurre hacia todos los lóbulos hepáticos para que los hepatocitos procesen los nutrientes. No se pudo obtener el molde de la vena porta con la técnica de corrosión debido a la alta densidad de la resina epoxi y a la dificultad para limpiar la vena porta y sus ramas intrahepáticas durante el proceso previo de la técnica.

Las principales venas hepáticas están asociadas al drenaje venoso metabólico. La sangre procedente del lóbulo lateral izquierdo es drenada por la vena hepática izquierda, la de los lóbulos medial izquierdo, cuadrado y caudado (apófisis papilar) es drenada por la vena hepática media. La sangre procedente del lóbulo medial derecho es drenada por la vena hepática medial derecha mientras que la del lóbulo hepático del lado derecho y el lóbulo caudado (apófisis papilar) es drenada por la vena hepática lateral derecha y las venas hepáticas accesorias; estos últimos vasos (accesorios), son de pequeño calibre y

desembocan directamente en la vena cava caudal. Las venas hepáticas de gran calibre lo hacen ventralmente en la vena cava.

En el molde de corrosión pudimos apreciar el trayecto de las venas hepáticas desde los lóbulos hasta sus conexiones con la vena cava caudal.

La bilis producida por los hepatocitos discurre a través de los conductos biliares desde las pequeñas ramificaciones periféricas del molde (canalículos). Los conductos biliares intrahepáticos desde los lóbulos lateral y medial derecho y el lóbulo caudado (apófisis caudada y papilar) drenan la bilis al conducto hepático derecho intrahepático. La bilis producida por los lóbulos hepáticos lateral y medial izquierdo y cuadrado, junto con una rama del lóbulo caudado (apófisis caudada) drenan al conducto hepático izquierdo intrahepático. Los conductos intrahepáticos emergen del hígado como conductos extrahepáticos. El conducto hepático izquierdo extrahepático se conecta con el final del conducto cístico. El conducto hepático derecho extrahepático se conecta a mitad del trayecto del conducto cístico; y tanto el conducto cístico como el conducto hepático izquierdo extrahepático se unen y forman el conducto colédoco. El conducto colédoco desemboca en el duodeno descendente en la papila duodenal mayor. El molde del sistema biliar obtenido mediante la técnica de corrosión nos permite ver la misma disposición que en las reconstrucciones tridimensionales.

VI.7. DISCUSIÓN

Artículo 2

Los estudios relacionados con la anatomía abdominal felina aún son escasos, a pesar del aumento de pacientes felinos en las clínicas veterinarias. El estudio del parénquima hepático felino se ha estructurado en tres partes: arterial, venoso y biliar.

El circuito arterial generalmente sigue el patrón descrito en carnívoros por Nickel et al. (1981) y Sandoval (2000) que describieron la arteria hepática, antes de entrar al hígado en los carnívoros, se divide en las ramas derecha e izquierda (lateral y medial). La arteria cística surge de la rama medial izquierda en los carnívoros. En nuestro estudio en gatos, no identificamos el origen de la arteria cística. Schaller (1992); Mari y Acocella (2015) utilizaron dibujos esquemáticos para describir el suministro de sangre al hígado de

los carnívoros. Su estudio indicaba que desde una rama lateral derecha que va hasta el lóbulo derecho arrancaba la arteria hepática derecha. Desde el lóbulo derecho sale una rama discurre hacia el lóbulo caudado (apófisis caudada).

Sin embargo, en el gato, la arteria que irriga la apófisis caudada sale de la arteria hepática derecha, antes de dar las ramas lateral y medial. Por otro lado, según Schaller (1992); Mari y Acocella (2015), en carnívoros, la rama medial derecha sale de la arteria hepática antes de su bifurcación, lo cual coincide con nuestro estudio.

Distinguimos un circuito venoso portal funcional (aferente) al hígado que suministra nutrientes como lo describe Nickel et al. (1979,1981) y otro circuito hepático (eferente), responsable de la nutrición de los hepatocitos a través de las venas hepáticas. Los metabolitos viajan hacia las venas hepáticas desde la vena centrolobulillar hasta la vena cava caudal junto con los nutrientes procesados procedentes de la vena porta.

En nuestro estudio encontramos que las venas gastroduodenal, mesentérica craneal y esplénica convergen para formar la vena porta hepática, lo cual coincide con los resultados de Nickel et al. (1979) y Sandoval (2000). En segundo lugar, Nickel et al. (1979,1981), Schaller (1992), Sandoval (2000) y Mari y Acocella (2015) dividen el tronco de la vena porta en el hilio hepático en dos ramas (derecha e izquierda); el derecho menos desarrollado se dirige hacia el lóbulo derecho y caudado, y el izquierdo más grueso se dirige hacia el lóbulo izquierdo y cuadrado, siendo un patrón general para todas las especies domésticas.

Coincidimos con Schaller (1992) y Nickel et al. (1979) que la división de la vena porta en el perro da la rama derecha de la vena porta para los lóbulos lateral derecho y caudado (apófisis caudada), que coincide nuestros hallazgos en el gato. Sin embargo, no identificamos en el gato la porción transversa, ni la porción umbilical a la que se refiere Nickel et al. (1979) y Schaller (1992) en carnívoros, cerdos, caballos y rumiantes. Existen otros estudios realizados por Nickel et al. (1979), Scavelli et al. (1986), Gaschen (2009) y Rojo et al. (2020) que no analizan las ramas de la vena porta dentro del hígado. Metzger et al. (2022) analizaron el sistema venoso portal en gatos. Nuestro estudio con una de las seis representaciones esquemáticas del sistema venoso portal intrahepático en el cual se divide la vena porta en dos ramas principales a nivel del hilio hepático.

Con respecto al circuito hepático eferente, estamos de acuerdo con el punto de vista expresado por De Sordi et al. (2014). Las venas hepáticas (derecha (lateral y medial), media

e izquierda) y venas hepáticas accesorias observadas en perros fueron también observadas en los gatos de nuestro estudio, aunque Metzger et al. (2022), Schaller, (1992), Nickel et al. (1979) no describe ninguna división a la derecha. Sin embargo, apreciaban y describían las venas media e izquierda, pero no las venas hepáticas accesorias, que desembocan de forma independiente a la vena cava, las cuales también observamos en nuestro estudio en gatos (moldes con la técnica de corrosión e impresión 3D).

Finalmente, Ursic et al. (2007) que realizó un estudio de los cambios anatómicos en el riego venoso de la vena porta en perros, resaltó la gran complejidad del sistema de drenaje de la vena porta en gatos.

En cuanto al sistema biliar, coincidimos con la descripción de Nickel et al. (1979) del circuito que transfiere la bilis desde los lóbulos hepáticos hasta la vesícula biliar y el conducto colédoco. En nuestro estudio, describimos el circuito que comienza desde los lóbulos hasta la confluencia de los conductos hepáticos derecho e izquierdo en el gato mediante tomografía de contraste para obtener reconstrucciones volumétricas e impresiones tridimensionales. Nuestros hallazgos indican que la bilis producida en los lóbulos hepático derecho y caudado desemboca en el conducto hepático derecho. La bilis que se produce en la apófisis papilar va tanto hacia los conductos hepático derecho como al izquierdo. La bilis secretada en el lóbulo hepático izquierdo (lateral y medial) y cuadrado desemboca en el conducto hepático izquierdo (Bragulla & Vollmerhaus, 1978).

Otros trabajos como los de Schaller (1992) y Sandoval (2000) proporcionan sólo dibujos esquemáticos del sistema biliar. Estudios de tomografía en el perro como el Teixeira et al. (2007), no analiza el circuito biliar. No coincidimos con el patrón biliar descrito en carnívoros por Sandoval (2000) cuando lo aplicamos a nuestro estudio en el gato.

Además, en nuestro estudio, el conducto hepático derecho desemboca en el conducto cístico; el conducto izquierdo y el cístico forman el conducto colédoco. Estos hallazgos nuestros no coinciden con el estudio de Sandoval (2000) pero sí con Crouch (1969) y Hudson et al. (1993) y con algunos de los 30 gatos estudiados por Bragulla & Vollmerhaus, (1978).

Asimismo, coincidimos con Bragulla & Vollmerhaus, (1978), Schaller (1992), Hudson et al. (1993) y Sandoval (2000) en que el conducto hepático común está ausente

en carnívoros y el conducto colédoco está presente en gatos. Sin embargo, Hudson et al. (1993) llama al conducto colédoco como conducto hepático común.

En el estudio de Bragulla & Vollmerhaus, (1978) toda la bilis recogida por los conductos hepáticos derecho e izquierdo desemboca en el conducto cístico. Estamos de acuerdo en que el conducto hepático derecho casi siempre desemboca en el conducto cístico, y finalmente el conducto cístico y el conducto hepático izquierdo forman el conducto colédoco. En los dos gatos de nuestro estudio, este patrón fue observado en el sistema biliar extrahepático. Sin embargo, Bragulla & Vollmerhaus, (1978) describen 17 variaciones de este sistema en los 30 casos estudiados mediante corrosión, lo que dificulta establecer un patrón en el gato. Aun así, consideramos que son datos importantes a tener en cuenta para futuros estudios del sistema biliar en esta especie.

VI.8. RESULTADOS

Artículo 3

Disección del techo del abdomen pelvis

La aorta abdominal se encuentra en la parte dorsal del abdomen y su primera rama abdominal es la arteria celíaca que irriga los órganos celíacos (estómago, hígado, bazo, páncreas y duodeno descendente). La arteria mesentérica craneal, que se desprende de la aorta abdominal caudalmente a la arteria celíaca, se ramifica a través del intestino delgado y grueso. La arteria mesentérica caudal irriga las partes terminales del intestino grueso y recto. Diferenciamos caudalmente a la arteria mesentérica craneal, las arterias adrenales caudal izquierda y media derecha que irrigan las glándulas adrenales. Caudalmente a la mesentérica craneal arranca primero la arteria renal derecha, que surca dorsal a la vena cava caudal y junto a la vena renal derecha llegan al hilio renal. La arteria renal izquierda emerge caudal a la arteria renal derecha, transita pegada al techo del abdomen y dorsolateralmente a las venas renal y ovárica izquierda. Además, se puede observar que la arteria adrenal caudal izquierda se origina en la arteria renal izquierda y que la arteria adrenal media derecha se origina en la aorta abdominal, posteriormente bifurcándose en dos ramas que discurren hacia la glándula adrenal derecha.

A la derecha de la aorta abdominal y caudal a la arteria renal izquierda, la arteria ovárica derecha se ramifica y discurre ventralmente a la vena cava caudal. Ésta, continúa su trayecto junto a la vena ovárica derecha, pasa ventralmente al músculo psoas mayor y queda sostenida por el ligamento ancho, hasta que llega al ovario derecho. Ligeramente caudal a la arteria ovárica derecha se observa el trayecto de la izquierda que, junto con la vena, llega al ovario izquierdo. Además, observamos que la rama uterina de la arteria ovárica derecha, es un vaso de gran calibre que irriga el cuerno uterino derecho y se anastomosa con la arteria uterina derecha. La rama tubárica de la arteria ovárica derecha tiene un calibre significativamente menor. Caudalmente a las arterias ováricas, observamos una rama accesoria de la arteria ovárica izquierda que discurre a través del ligamento ancho (mesometrio) hasta llegar al mesovario y mesosálpinx, junto al ovario. Apreciamos sólo una pequeña porción del origen de la arteria ovárica accesoria derecha obliterada. Caudalmente a las arterias ováricas se origina de la arteria mesentérica caudal que irriga el colon transversal y descendente y, la porción craneal del recto. Observamos la terminación de la aorta abdominal caudalmente al origen de las arterias circunflejas ilíacas profundas. En primer lugar, observamos la bifurcación de gran calibre de las arterias ilíacas externas (derecha e izquierda). Caudalmente a éstas, la aorta termina en la bifurcación de las arterias ilíacas internas (derecha e izquierda) y con el arranque de la arteria sacra media.

Las arterias ilíacas internas se dividen en dos ramas, la arteria glútea caudal y la arteria pudenda interna. La arteria pudenda interna derecha que discurre medialmente a la tuberosidad isquiática da origen a la arteria vaginal derecha, que a su vez da origen a la arteria rectal media. Además, se observaron claramente las arterias uterinas derecha e izquierda (muy tortuosas) como ramas de las arterias vaginales derecha e izquierda que discurren lateroventralmente hasta el recto para llegar a la vagina. Antes de alcanzar la vagina, la arteria uterina derecha se bifurca y discurre craneoventralmente hasta el útero. Las arterias uterinas derecha e izquierda se anastomosan con las ramas uterinas de las arterias ováricas derecha e izquierda, respectivamente. Finalmente, identificamos la arteria uretral que arranca desde la arteria uterina.

En el sistema venoso, observamos como la vena cava caudal se sitúa paralela y a la derecha de la aorta abdominal. Transporta sangre venosa desde el miembro pelviano y la cavidad pelviana, pudiendo apreciarse a la vena ilíaca común derecha desembocando

en la vena cava caudal. Al drenar desde los ovarios, la vena ovárica derecha fluía directamente hacia la vena cava caudal, mientras que la vena ovárica izquierda drenaba en la vena renal izquierda. Además, identificamos la vena adrenal derecha desembocando en la vena cava caudal y la vena adrenal izquierda, como la ovárica izquierda, drena en la vena renal izquierda. Ambas venas renales desembocan en la vena cava caudal. Además, observamos la vena porta discurriendo hasta el hilio hepático. Finalmente, distinguimos el plexo venoso ovárico relleno de látex de color azul, así como las venas uterinas que aparecían dilatadas y rodeadas por la arteria uterina.

Angiografía por tomografía computarizada e impresión 3D

Se obtuvieron reconstrucciones volumétricas (RV) tridimensionales utilizando los visores DICOM RadiAnt, Amira y OsiriX e impresión 3D. Éstas RV permitieron analizar e identificar las arterias y venas abdominales y pélvicas, gracias a su elevada atenuación observada tras la administración de medio de contraste yodado.

Sistema arterial

Las ramas viscerales de la aorta abdominal, en particular la arteria celíaca y sus ramas, así como la arteria mesentérica craneal se visualizaron bien en la impresión 3D. Sin embargo, estas estructuras vasculares no se apreciaron completamente en las reconstrucciones volumétricas. Las arterias adrenales y renales no se observaron con RadiAnt. Con Amira, sólo pudimos observar la arteria renal izquierda. Ambas arterias renales fueron identificadas íntegramente con el programa OsiriX e impresión 3D. Las arterias ováricas no fueron visibles con ninguno de los programas utilizados. Con RadiAnt, observamos la totalidad de la arteria uterina izquierda que arrancaba de la arteria vaginal, pero la arteria uterina derecha no era visible. La arteria mesentérica caudal se distinguió pero no se veía clara con RadiAnt y Amira, mientras que se identificó por completo tanto con OsiriX como con la impresión 3D. Finalmente, la terminación de la aorta abdominal se observó a nivel de la articulación entre la sexta y séptima vértebra lumbar, donde las arterias ilíacas externa e interna se desprendían ventralmente junto al final de la vena cava caudal. Las arterias ilíacas externas se pudieron ver completamente con Radiant, Amira y OsiriX, pero no tan bien con la impresión 3D. Las arterias ilíacas

internas no se apreciaron bien con RadiAnt e impresión 3D pero si en su totalidad con Amira y OsiriX.

Sistema Venoso

La sangre venosa de las vísceras pélvicas y del miembro pelviano drenan hacia las venas ilíacas internas y externas, lo cual se observó con todos los visores usados; sin embargo las venas uterinas en los cuernos uterinos hasta los ovarios se observaban mal con RadiAnt, Amira y OsiriX y no eran visibles en absoluto con la impresión 3D. Además, las venas uterinas desembocan en las venas vaginales, que a su vez drenan en las venas ilíacas internas (derecha e izquierda) antes de desembocar en las venas ilíacas comunes (derecha e izquierda) que están conectadas a la vena cava caudal. Desde el ovario derecho y los riñones derecho e izquierdo, la sangre drenaba directamente a la vena cava caudal a través de la vena ovárica derecha y las venas renales derecha e izquierda. Además, se observó que la vena ovárica izquierda drenaba directamente en la vena renal izquierda. Estos detalles se apreciaron con todos los visores utilizados.

Se observó el drenaje venoso funcional de los intestinos, estómago y bazo a través de las venas esplénica, mesentérica craneal y gastroduodenal que convergían en la vena porta. La vena gastroduodenal no era visible en absoluto en ninguna imagen ya que drena desde el lado derecho. Sin embargo, las venas esplénica, mesentérica craneal y porta se observaron completamente con RadiAnt y OsiriX, pero no fueron visibles con Amira y la impresión 3D. Para visualizar las arterias celíaca y mesentérica craneal, así como la vena porta y la vena cava caudal, se resecó parcialmente el hígado. Finalmente, se observaron los riñones derecho e izquierdo en su totalidad con todo el software empleado.

Angiografía por resonancia magnética

Se seleccionaron y presentaron cuatro imágenes tridimensionales representativas de la secuencia de resonancia magnética "tiempo de vuelo" time-of-flight (TOF) de las cavidades abdominal y pelviana en diferentes vistas. Así, las imágenes TOF se muestran en varias orientaciones (ventral, oblicua derecha e izquierda y lateral derecha). En las imágenes TOF identificamos el hígado, bazo, riñones, uréteres y ovarios, lo que nos

permitió describir las principales arterias y venas, así como sus ramas más importantes debido a la alta intensidad de señal.

Sistema arterial

Se observó en su totalidad la aorta abdominal, situada a la izquierda de la vena cava caudal. A nivel de la cavidad pelviana se aprecia claramente la bifurcación de la aorta en arterias ilíacas externas izquierda y derecha. Asimismo, identificamos los orígenes de las arterias celíaca, mesentérica craneal y ovárica, aunque en la vista ventral no se vieron completamente, mientras que en las vistas oblicua y lateral los vasos se vieron pero con poca claridad. Las otras ramas aórticas (renal, mesentérica caudal, uterina derecha y arterias adrenales media derecha e izquierda) se identificaron todas en las vista ventral, pero no en las vistas oblicua o lateral derecha.

Sistema venoso

Las imágenes TOF mostraron las venas uterinas fluyendo hacia las venas vaginales. Estos últimos vasos se unían a las venas ilíacas internas, que a su vez drenaban en las venas ilíacas comunes. Finalmente, se conectaron a la vena cava caudal. Además, la vena cava caudal se topografía a la derecha de la aorta en la vista ventral. En la vista lateral derecha, la vena cava caudal se observó ventral a la aorta abdominal pero se apreciaba mal y la vena porta fue identificada pero poco clara. Se pudo observar la vena ovárica derecha en su totalidad drenando directamente a la vena cava caudal y de igual manera la vena ovárica izquierda desembocando en la vena renal izquierda. Finalmente, se identificaron con precisión las venas esplénica, gastroduodenal y mesentérica craneal que drenaban en la vena porta, que se introduce en el hígado por el hilio hepático, antes de dividirse en ramas derecha e izquierda.

VI.9. DISCUSIÓN

Artículo 3

En este estudio, se evaluaron las estructuras vasculares de las cavidades abdominal y pelviana de la gata utilizando como referencia anatómica disecciones

macroscópicas para compararlas con reconstrucciones volumétricas tridimensionales tomográficas con medio de contraste y con las imágenes obtenidas empleando la secuencia TOF (sin medio de contraste) de resonancia magnética. Los resultados de nuestra investigación muestran que el empleo de disecciones anatómicas inyectadas con látex coloreado, ayudan a identificar los principales vasos sanguíneos, así como sus más importantes ramas, lo cual mejora la precisión anatómica del estudio. Nuestro estudio coincide con el de otros autores que han utilizado preparaciones anatómicas con repleción vascular para facilitar la identificación de las formaciones vasculares de las cavidades abdominal y pelviana (Rojo et al., 2020; Metzger et al., 2022; Rojo et al., 2023). En nuestro trabajo, las imágenes tomográficas con medio de contraste se adquirieron mediante un equipo de tomográfico de 16 detectores, que contribuyó a tener una adecuada visión del sistema vascular del abdomen y pelvis. La literatura revisada contenía algunos estudios sobre la anatomía abdominal y pélvica felina mediante tomografía de contraste (Head et al., 2003; Gavrias et al., 2016; Rojo et al., 2020; Makara et al., 2022; Metzger et al., 2022; Rojo et al., 2023).

Otros investigadores han aplicado la tomografía con medio de contraste para evaluar el estado de los vasos renales en gatos sanos, para la selección de donantes felinos apropiados para el trasplante renal (Bouma et al., 2003; Cáceres et al., 2008; Mai et al., 2013), y también hay un artículo reciente que combina reconstrucciones volumétricas con medio de contraste, disecciones anatómicas e impresiones 3D para el estudio de la vascularización y sistema biliar del hígado felino (Rojo et al., 2023). A diferencia de estudios previos (Makara et al., 2015; Gavrias et al., 2016; Rojo et al., 2023) hemos tratado de mostrar las ramas de los grandes vasos (aorta y vena cava caudal) en el techo del abdomen con imágenes tridimensionales. Por lo tanto, nuestro estudio no solo se limita a realizar un examen detallado de la vascularización de órganos específicos de la cavidad abdominal y pélvica como el hígado (Rojo et al., 2020; Makara et al., 2015; Rojo et al., 2023) o los riñones (Bouma et al., 2003; Cáceres et al., 2008; Mai et al., 2013).

Para este estudio, las reconstrucciones volumétricas tridimensionales correspondientes a las imágenes de tomografía de contraste del abdomen y pelvis, se obtuvieron utilizando las aplicaciones que contienen los programas para Windows RadiAnt (2023.1) y Amira (5.6) y de Apple OsiriX (MD 13.0.2). Las imágenes generadas

mostraron las principales arterias y venas, así como sus ramas. En todas las imágenes de reconstrucciones volumétricas tridimensionales, numerosas arterias estaban bien definidas, incluyendo la aorta torácica y abdominal, las arterias ilíacas externa e interna y la arteria celíaca. El programa OsiriX (MD 13.0.2) generó las mejores imágenes de la arteria mesentérica craneal y caudal y, de las arterias renales en comparación con las creadas por RadiAnt con en el que solo pudimos diferenciar la arteria mesentérica craneal; sin embargo, con la reconstrucción realizada por Amira pudimos observar tanto la arteria mesentérica craneal como la renal izquierda. Respecto a los tres paquetes de programas analizados, debemos señalar que la reconstrucción volumétrica no está disponible para los veterinarios, en ocasiones, debido a que hay un conocimiento limitado de la gama de herramientas de que disponen estos programas (Amira (5.6), OsiriX (MD 13.0.2), RadiAnt (2023.1)) (Perandini et al., 2010). Un estudio analítico clasificó a OsiriX MD (13.0.2) y RadiAnt (2023.1) como los mejores programas para realizar reconstrucciones volumétricas (Brühnschwein et al., 2020). Además, el uso de todas las adquisiciones de reconstrucción tomográfica con medio de contraste proporcionó información anatómica precisa sobre las principales venas del abdomen y pelvis.

En este estudio, se han utilizado tres programas diferentes, que son los que podemos encontrar frecuentemente en las distintas áreas de la medicina veterinaria. Por lo tanto, elegimos OsiriX porque es uno de los programas disponibles comercialmente y se afirma que es el visor DICOM más utilizado en el mundo, especialmente entre los radiólogos certificados en centros de referencia veterinaria y aquellos que realizan telerradiología. En este proyecto, el programa OsiriX (MD 13.0.2) proporcionó las mejores imágenes de estructuras vasculares; sin embargo, estamos de acuerdo con Salonen et al (2022), que destaca una desventaja de OsiriX® en el sentido de que sólo es compatible con el sistema operativo Mac®. El segundo programa utilizado fue Amira (5.6), habitualmente utilizado en instituciones de investigación y universidades. Varios artículos describen el uso de este programa (Czeibert et al., 2019; Haverkamp et al., 2019; Rojo et al., 2020; Dietrich et al., 2021; Buttelmann et al., 2023; Rojo et al. 2023). En nuestro estudio, al comparar las imágenes de reconstrucción volumétrica de Amira con la de OsiriX, con el primero no fue posible observar ciertos vasos como las venas porta y esplénica o las venas ilíacas interna y externa. Además, es un software caro y, a menudo, no resulta rentable fuera de los grandes centros de investigación o

universidades. El tercer programa utilizado en nuestro estudio fue RadiAnt (2023.1), que se considera un programa atractivo, aplicable a todas las modalidades de imágenes y se considera como el visor de imágenes Dicom de Windows preferido por Butteltmann et al. (2023). Al comparar las imágenes obtenidas con RadiAnt con las de OsiriX, con ambos no se observaron las venas ilíacas interna y externa. Sin embargo, RadiAnt mostró claramente la vena porta y sus ramas, algo que no se vio con Amira.

Para nuestro estudio, se seleccionó una secuencia gradiente eco TOF de sangre brillante en visones ventral, oblicua derecha, oblicua izquierda y lateral derecha. Las imágenes TOF fueron muy útiles para identificar las estructuras vasculares abdominales y pelvianas. Todas ellas se identificaron basándose en una alta intensidad de señal en comparación con otros tejidos que mostraron menos intensidad de señal. Así, la imagen obtenida en visión ventral nos permitió identificar numerosas arterias y venas en comparación con las vistas oblicuas derecha e izquierda y lateral derecha. Esto se debió a la superposición de estructuras cuando se rotaron dichas imágenes.

Además, las imágenes TOF sin contraste permitieron identificar el trayecto de las arterias y las venas, así como sus principales ramificaciones. Para una mejor visualización de estos vasos sanguíneos abdominales y pélvicos, nos hemos basado en la vista ventral y, en menor medida, en las vistas oblicuas derecha e izquierda, ya que la vista lateral derecha no ayudó en la identificación de las ramas. En gatos clínicamente sanos en un estudio, se mostraron resultados similares a los nuestros con secuencias sin contraste TOF 3D, aunque se compararon con secuencias de pulso de ECG-FSE 3D y la ARM mejorados con contraste. Además, este estudio proporcionó imágenes TOF tridimensionales en visiones dorsales y laterales para la evaluación de la aorta abdominal y las arterias ilíacas externas (Lee et al., 2002). Sin embargo, en nuestra investigación de las cavidades abdominal y pelviana se emplearon imágenes TOF tridimensionales con vistas dorsales y laterales para observar con precisión las principales arterias y venas y sus ramas asociadas de la aorta abdominal y la vena cava caudal.

En clínica de perros y gatos, en los últimos años se han detectado cada vez más anomalías del sistema portal con la creciente disponibilidad de técnicas de imagen avanzadas en la práctica veterinaria (Bertolini, 2010, 2019; Konstantinidis et al. 2023). Se han informado de otras anomalías congénitas del sistema venoso mediante tomografía de contraste (Pey et al. 2015; Jirasakul et al., 2020; Spediacci et al., 2022). El

conocimiento de las anomalías congénitas y adquiridas y sus consecuencias es de gran importancia para la toma de decisiones clínicas en cirugía y para la planificación de procedimientos intervencionistas (Bertolini, 2010; Nelson et al., 2011; Bertolini, 2019).

En nuestro estudio, se utilizaron imágenes tridimensionales de tomografía de contraste e imágenes de angiorresonancia de las cavidades abdominal y pelviana que proporcionaron información anatómica precisa de las principales venas y que podrían ser útiles en la evaluación de derivaciones portales anómalas. El uso de la tomografía de contraste para la detección de los segmentos extrahepáticos de la vena porta (derivaciones clásicas: portocava y sus ramas) es el método más adecuado para localizar la anomalía y planificar la cirugía. El uso del programa RadiAnt permitió una observación muy detallada de las ramas de la vena porta extrahepáticas y otros vasos (renales y ováricos). OsiriX proporcionó una visión incompleta de estas, y las mismas no fueron apreciadas con Amira. Es importante indicar que se deberían utilizar las vistas ventral, oblicua y lateral. El segmento intrahepático de la vena porta se observó completamente usando las reconstrucciones volumétricas de RadiAnt y OsiriX, aunque tomó más tiempo eliminar los tejidos adyacentes para apreciarlo completamente, mientras que no se observó completamente con Amira. Sin embargo, con la resonancia magnética (TOF) las proyecciones oblicua y lateral mostraron la totalidad del segmento intrahepático de la vena porta, aunque no se veían del todo en la visión ventral.

Finalmente, en este estudio se utilizó la impresión 3D de cadáveres de gatos para facilitar una mejor interpretación de las imágenes tomográficas y las de resonancia (TOF). En medicina veterinaria, varios trabajos sobre impresiones 3D y técnicas de obtención de moldes con la técnica de corrosión han proporcionado una herramienta valiosa para ayudar a preparar cirugías, mejorar el conocimiento anatómico y fomentar la investigación (Lauridsen et al., 2016; Wilhite y Wolfel, 2019; Rojo et al., 2020, Metzger et al., 2022; Rojo et al., 2023). Las disecciones anatómicas inyectadas con látex coloreado, las adquisiciones con tomografía de contraste, la angiorresonancia magnética (TOF) y la impresión 3D de las cavidades abdominal y pélvica felina nos han permitido identificar los grandes vasos y sus ramas principales. La correlación entre las imágenes de RadiAnt, Amira y OsiriX, la impresión 3D y la vascularización de las cavidades abdominal y pélvica felina podría contribuir a aumentar el conocimiento de la anatomía vascular entre los médicos e investigadores veterinarios.

Las principales limitaciones de nuestro estudio han sido el número de gatos sanos utilizados ($n = 2$). Sería recomendable realizar más estudios para confirmar los resultados obtenidos. Decidimos realizar el estudio tomográfico con un espesor de corte de 3 mm ya que es el espesor estándar elegido habitualmente en los centros veterinarios que utilizan un tomógrafo, tanto en los que pueden optar por máquinas de sólo dos detectores, como en los que cuentan con dispositivos más modernos (16 o más detectores). Obtuvimos y analizamos la fase arterial aunque no se muestra en este informe; estas arterias se observaron en la fase venosa que se utilizó para las reconstrucciones volumétricas tridimensionales.

VI.10. CONCLUSIONES

- La correlación entre las imágenes de OsiriX, Amira y la impresión 3D son un buen ejemplo de lo que un modelo tridimensional normal de la vascularización del abdomen felino puede proporcionar como ayuda a los veterinarios. En el futuro, se deberían crear modelos impresos tridimensionales de derivaciones portosistémicas para ayudar a los médicos a comprender estas anomalías para su posterior resolución quirúrgica.
- La combinación de la tomografía con medio de contraste y las imágenes anatómicas inyectadas con látex y epoxi por la vena cava, arteria hepática y la vena porta, nos permite diferenciar el riego arterial, la circulación venosa y la biliar en el hígado felino.
- La correlación entre las imágenes de OsiriX, Amira y la impresión 3D son un buen ejemplo de lo que un modelo tridimensional normal de la vascularización del hígado felino puede aportar como ayuda a los clínicos veterinarios. En el futuro, se deben crear modelos impresos tridimensionales de derivaciones portosistémicas para ayudar a los médicos a comprender estas anomalías para su posterior resolución quirúrgica y que podrían contribuir a la enseñanza de la anatomía normal.
- La imagen y la impresión tridimensional del sistema circulatorio y biliar hepático será un recurso útil para el clínico cuando planifique la fase previa a la operación de diferentes cirugías (derivaciones, masas hepáticas, etc.) en pacientes felinos.

- El uso de disecciones anatómicas inyectadas con látex coloreado ha permitido una descripción precisa de las estructuras vasculares en imágenes de tomografía de contraste y angiorresonancia. Las imágenes obtenidas a través de este estudio proporcionaron una referencia anatómica básica a los médicos para el diagnóstico de enfermedades de estas regiones y para un mayor uso y desarrollo de estas técnicas en la medicina felina.

EXTENDED SUMMARY

VII. EXTENDED SUMMARY

VII.1. INTRODUCTION

The boom experienced in recent years in the number of feline patients in veterinary clinics and the increase in interest in advanced imaging tests as a substantial diagnostic tool in veterinary clinical medicine, makes the use of these increasingly common diagnostic imaging techniques for the detection of vascular pathologies, which has focused our interest on this species and specifically on the anatomical region of the abdominal and pelvic cavity.

The application of abdominal imaging diagnostic techniques has traditionally been carried out in the canine species and has been extrapolated due to its proximity to the cat, but publications that focus on the feline species are becoming more and more frequent, establishing the marked differences between one species and another. Even so, publications related to diagnostic imaging techniques applied to the abdominal cavity in cats are still very scarce. Crawford et al. (2003) highlight the existence of few and low-quality works on the anatomy of the feline abdomen using computed tomography.

Teixeira et al. (2007) conducted a study of the normal anatomy of the canine abdomen using helical computed tomography images of the abdomen in four adult mixed-breed dogs. Also, Smallwood et al. (1992) studied both the thorax and the cranial abdomen of the dog using computed tomography.

There are several abdominal vascular imaging diagnostic techniques used in dogs and cats, angiography work in dogs and cats (Wise, 2005), magnetic resonance imaging

compared with ultrasound at cardiac level in dogs (McDonald et al., 2005), angiography by computed tomography (CTA) for the portal system in dogs (Zwingenberger et al., 2005) and angiography using intravenous contrast resonance imaging in dogs (MRA) (Kuriashkin and Losonsky, 2000). Dennis et al. (2005) conducted a study to establish whether the location of the celiac and cranial mesenteric arteries were consistent enough to allow them to be used as anatomical landmarks. Also, works have been published in order to study canine congenital vascular alterations using CT and MRI (Frank et al., 2003; Broffman et al., 2015). Oui et al. (2013) performed the first report in a dog with persistent left cranial vena cava and multiple abdominal malformations. Schwarz et al. (2009) describe, using computed tomography and magnetic resonance imaging, the characteristics of segmental caudal vena cava aplasia and the vascular anomalies associated with this malformation in dogs.

Zwingenberger et al. (2005) describe the use of a dual-phase angiotomography technique to diagnose arterioportal fistulas in four dogs.

In other tomographic studies, the canine pancreas (Cáceres et al., 2006), the adrenal glands (Bertolini et al., 2006), the genitourinary excretory system through intravenous urography (Rozear et al., 2003) and the joints have been analyzed. lumbosacral intervertebrals (Axlund et al., 2003). The liver is an attached gland associated with the digestive system of the cranial abdomen that meets many of the pathological particularities of feline patients, such as cirrhosis, steatosis, shunt and neoplasms, among others (Gaschen, 2009; Moon Larson, 2016; Soler et al., 2017).

Works such as those of Samii et al. (1998), in which they correlated sectional anatomy and CT images, concluded that anatomical sections are useful in identifying a large number of thoracic and abdominal structures visible on CT images. Cabeza et al. (2003) directed their study to demonstrate the feasibility and utility of computed tomography and radiolabeled granulocytes in the evaluation of the feline pancreas in six disease-free cats. Other CT studies performed in living cats, such as that of Shojaei et al. (2006) who used iodinated contrast medium, which provided a reference guide for the evaluation of CT images of the feline abdomen with the idea of helping interpret CT images in which pathological or experimental changes in this region are analyzed.

According to the literature consulted, there are very few specific studies based on imaging techniques of the feline liver. Gaschen (2009) highlighted the complementarity

of CT and MRI techniques with radiology and ultrasound in the standardization of the study of the liver in dogs and cats, to examine the biliary system in both healthy animals and those with anomalies of the hepatobiliary system. On the other hand, Moon (2016) highlighted the use of ultrasound as a valuable non-invasive imaging modality for the evaluation of liver and biliary diseases. Other studies, such as that of Soler et al. (2017) described the use and combination of different imaging techniques such as radiography, ultrasound and CT for testing an accessory hepatic lobe in a cat.

Unlike the dog, the work carried out on the feline abdomen is rarer, we highlight the one performed on cadavers using sectional anatomy and CT by Samii et al. (1998). Other conventional CT studies used live cats (Shojaei et al., 2006) or contrast CT (Samii et al., 1998). Head et al., (2003) test the feasibility and utility of computed tomography for evaluation of the feline pancreas in six normal cats. According to the studies of Bouma et al. (2003) CT scans of feline renal vascular anatomy are feasible, and reconstruction techniques provide excellent anatomical detail of the vascularization.

Samii et al. (1999) correlated sectional anatomy with magnetic resonance imaging in felines. Subsequently, Newell et al. (2000) obtained contrast-enhanced magnetic resonance images of the cranial and midabdomen in 15 clinically normal cats.

Lee et al. (2022) indicated that contrast angiotomography (CTA) has the disadvantages of exposing the patient to a large amount of ionized radiation and causing contrast-induced nephropathy. MR imaging has become one of the most versatile and powerful tools in diagnostic imaging in both human and veterinary medicine (Kuriashkimn et al., 2000). Gadolinium contrast-enhanced (CE) magnetic resonance angiography (MRA) produces high sensitivity (81-99.5%) and high specificity (89-99%) for detecting arterial stenosis in human patients (Meaney et al. 1999; Steffens et al. 2003). Different studies have shown a correlation between gadolinium-based contrast media and nephrogenic systemic fibrosis in human patients with kidney failure, suggesting that gadolinium causes damage by affecting glomerular filtration rate (Kooiman J, et al, 2012; Buhaescu, I. and Izzedine H., 2008) Enhanced MRA (EN) techniques have been widely used to evaluate the entire lower extremity arteries, with high accuracy in detecting vascular stenosis and thrombus without secondary venous signals from arterial signals. Additionally, repetitive scans can be performed as many times as necessary because no contrast media is used (Edelman RR, et al, 2019; Miyazaki M, et al, 2019.) They

constitute a non-invasive method to visualize vessels and can be used to acquire images of the entire vascular system, both in the thoracic cavity and the abdominal cavity, without contrast medium. Non-contrast MRA (NCE) techniques can be classified as black blood or bright blood modalities based on the appearance of the vascular lumen. In dark blood spin echo (SE) sequences, tissues in a slice will receive both the 90° (excitation) pulse and the 90° (refocusing) pulse. Both pulses are slice-selective. Therefore, the blood in the slice at the time of the 180° pulse will not have received the 90° pulse and therefore there will be no magnetization to refocus to an echo. This causes signal loss at high speed. In bright blood gradient echo (GRE) sequences, no signal loss occurs at high speed, since the gradient that forms the echo in GRE is not slice-selective (Ho et al., 2003).

Different works multidisciplinary teams try to extrapolate the results obtained in the research to the human species using the dog as an experimental model. DONG et al., (1998) establishes a comparative study of different paramagnetic contrast media for visualization of the vascular anatomy of the abdomen using three dogs. Schoenberg et al., (2000), apply MRA to assess different degrees of induced renal stenosis, using the dog as a model. Huang and Wright (2007) describe a new sequence to visualize the abdominal vessels.

In veterinary medicine, there are few studies on MRA in dogs. Cavrenne and Mai (2009) present a renal evaluation protocol using this technique, and Mai (2009) in the same sense applies it to the portal system. Sharpley et al., (2009) publish a case of aortic thrombosis whose diagnosis was confirmed by contrast-enhanced MRA. Brusehschwein et al., (2010) talk about the diagnostic feasibility of the technique to determine "portosystemic shunts" in ten dogs of six different breeds. MRA studies in the feline abdomen are scarce and most of them are in dogs. I want to highlight the works of Arencibia et al., (2016) where they describe three-dimensional TOF magnetic resonance angiography of the heart and associated vessels in a cat, as well as Arencibia et al., (2019) where they perform an anatomical evaluation of the intrathoracic cardiovascular structures using fast spin-echo double inversion recovery and steady-state free precession MRI in a normal cat.

Knowledge of the MRA appearance of the normal feline abdomen is necessary for the evaluation of the course and size of the abdominal vessels, as well as congenital aberrant vessels, vascular stenosis or thrombi. Magnetic resonance imaging (MRI) has

been used in veterinary medicine in recent years in the evaluation of the head and central nervous system and in orthopedics. The use of MR images in the evaluation of the abdomen has been demonstrated in different veterinary medicine studies Newell (2000).

In humans, MRI has been found to provide complementary information compared to computed tomography (CT), Alagappan et al. (1997) and in some diseases such as diffuse liver disease, Semelka et al. (1997) or the staging of pancreatic neoplasia, where MRI replaced CT as the cross-sectional imaging technique of choice. The relative lack of use of MRI in the diagnosis of abdominal diseases in veterinary medicine may be due to the need for sedation, general anesthesia and artifacts due to respiratory motion. Additionally, the availability of ultrasound may have decreased the demand for transverse abdominal MR imaging. Unfortunately, there are some diseases such as cholangiohepatitis or chronic pancreatitis in which ultrasound findings may have limited benefit (Nyland et al., 1995).

Description of the normal anatomy of the feline abdomen using standard imaging techniques is essential before of the use of magnetic resonance imaging in clinical patients. Studies such as that of Lee et al. (2022) evaluate the ability of NE-MRA to visualize the aorta and external iliac arteries in clinically healthy cats and we compare the results with those obtained using 3D ECG-FSE, 3D TOF NE-MRA, and gadolinium CE-MRA using 1.5-T MRI, suggesting that NE-MRA techniques could be used to visualize the aorta and external iliac arteries of clinically healthy cats. Furthermore, they hypothesize that 3D TOF, independent of heart rate, would provide better visualization of the aorta and iliac arteries.

Comparative anatomy and physiology are disciplines related to structures and mechanisms in three-dimensional (3D) space. . Most scientific works in these fields have been based on written descriptions and two-dimensional (2D) illustrations, but in recent years 3D virtual modeling has entered the scene. However, understanding complex anatomical structures is hampered by reproduction on inherently 2D flat displays. One way to avoid this problem is to produce 3D printed scale models (Lauridsen et al. 2016). These models can be used for academic training and pre-surgical training for veterinary clinicians. Works such as those of Wilhite et al.; Lauridsen et al.; Raffan et al.; Rojo et al.; show how the 3D printing technique provides veterinary medicine with a powerful tool to improve student teaching, promote research, facilitate surgical planning and improve

client communication of veterinary clinicians. The use of rapid prototyping is expected to increase as volumetric acquisition in MRI becomes more routine. There is great potential to explore this method and introduce a new dimension to veterinary training.

VII.2. OBJECTIVES

1. Improve the knowledge and study of the anatomy of the feline abdomen through anatomical techniques applied to imaging diagnosis.
2. Use non-invasive, fast and effective diagnostic techniques in order to subsequently carry out the most accurate treatment of the pathology possible.
3. Improve knowledge of the normal anatomy of the abdominal cavity of the cat, through regulated techniques of dissection and sectional anatomy in the three spatial planes, both in male and female, to then be able to interpret the images obtained with the different diagnostic techniques per image.
4. Assess the imaging diagnostic techniques indicated for the abdominal cavity, which are, in order of preference and use by clinicians, first radiography, then ultrasound, tomography, magnetic resonance imaging and endoscopy.
5. Correlate images vascular dissection and sectional anatomy with contrast CT and MRI (with and without contrast) of the abdomen and pelvis of the cat.
6. Obtain three-dimensional reconstructions and 3D prints of the main anatomical structures of the feline abdomen.

VII.3. MATERIALS AND METHODS

For this study, we used a total of 14 animals. Three live animals for the CTA and MRA, 1 male, 3 years old and weighing 3 kg, and 2 females, 2 and 6 years old respectively, and both weighing 4 kg. 11 cadavers were also used, 4 male cats aged 2-4 years and weighing 3-4.5 kg, and 7 females aged 2-4 years and weighing 3-4 kg for dissections, sectional anatomy, and latex injection. colouring and obtaining epoxy casts. All the corpses used came from the Zoonoses and Pest Control Service of Murcia, and were humanely sacrificed for reasons unrelated to this study. For the procedures with live animals, consent was obtained from the pet owners and the experimental procedures were

supervised and approved by the ethics and animal care committee of the University of Las Palmas de Gran Canaria, Spain (MV-2015/08) in article 1 and by the Animal Ethics Committee of Veterinary Medicine of the University of Murcia, Spain (REGA ES300305440012 CEEA: 305/2017; extended on 07/25/2022 as a Type II project) in articles 2 and 3.

Article 1

Animals

Three entire, two crossbreed cat cadavers (*Felis silvestris catus*, L.), males, 3-4 years old and about 3.5-4 kg belonging to Zoonoses Service of Murcia were used to obtain gross sections of the abdomen. A live 3 years old male domestic cat (3 kg) was also used for CT angiography study. Written informed consent was obtained from the owner of the cat used for this research. Both cadavers obtained from the Public Health Service were humanely euthanized for causes unrelated to this study. The Public Health Service cats had a moderately filled stomach but the live pet was off feed because it was anesthetized for CT angiography. Verbal consent of pet owners and experimental procedures were supervised and approved by animal care and ethics committee of the University of Las Palmas de Gran Canaria, Spain (MV- 2015/08).

Radiology and techniques computed tomography

The live pet cat was used for a radiological and CT study of the abdomen. The study was made under the supervision of the Ethics Commission of the University of Las Palmas of Gran Canaria (MV-2015/08). The cat was pre-anaesthetized with dexmedetomidine (Dexdomitor, Orion Farma) (40 mcg/kg) and Butorphanol (Thorphasol, Esteve) (0.4 mg/kg) intramuscular (IM). Twenty-five min after premedication a 20-gauge catheter was placed in the right cephalic vein and flushed with saline solution (8 ml/kg). Anaesthesia was induced with propofol (Propofol-Lipuro 1%, Braun) 4 mg/kg. Anaesthesia was maintained with a mixture of 1.5% isoflurane (Forane, Abott) in 100% oxygen, using a semi-closed circle rebreathing circuit. Mechanical ventilation was performed throughout the scan. The cat was examined in sternal recumbency using a 16-detector helical scanner (CT HiSpeed Siemens SOM5). After the initial examination,

only one CT angiography was performed using non-ionic contrast medium iohexol (Omnitrast, Schering) at 800 mg/kg and at 3 ml/s into cephalic vein catheter by angiographic injector (A-60, Nemoto) near body temperature (38.5°C). The CT scan started at the level of diaphragmatic dome and the end point of the scan was at the level of the pelvic cavity. Data acquisition and contrast medium injection were started simultaneously and arterial and venous phases were taken into account.

Technical parameters were as follows: tube voltage (120 kV), tube current (120 mAs), tube rotation time (1 s/rotation), helical scan mode, collimator pitch of 1.5, 3 mm (o: 1.2 mm) slice thickness and reconstructions interval with 50% overlap. The display field of view was 25 cm and image matrix 512 × 512. On the CT workstation, images were obtained with soft tissue and bone algorithms and reformatted in sagittal and dorsal planes, maximum intensity projection (MIP) and volume rendering (VR). Images were reviewed in a Picture Archiving and Communication System (P ACS) workstation (AGFA Healthcare CR10-X digital processor) in soft tissue (WW=400, WL=40) and mediastinum-vascular windows (WW=350, WL=40). The Dicom files generated by the CT scanner were analyzed with the OsiriX and Amira programs. Through the application of different post-processing algorithms, images of MIP, surface and volumetric reconstructions were subsequently obtained, which resulted in a 3D printing of the structures of the feline abdomen through the program Slicer 3.0. The cost of performing 3D printing was about 75 to 100 € per model, depending on the size scale.

Anatomical evaluation

The cat cadavers were transported to the dissection room and vascular pumping with 2% saline solution was carried out. Subsequently, these specimens were injected via the common carotid artery and external jugular vein with red and blue latex, respectively. To obtain the anatomical sections, the specimens were initially frozen at -20°C. Abdominal blocks were prepared and then frozen at -80°C for at least 48 h before sectioning with a band saw machine (Anatomical Lab., Department of Anatomy and Embryology, University of Murcia, Spain). About 200 cross sections were obtained with 0.7-1 cm thickness. Sections were then photographed at both their cranial and caudal aspects to evaluate their correlation with the CT images.

Article 2

In this article were used six cats (*Felis silvestris catus*, L.) two males and four females, from 2 to 3 years old, 3-3.5 kg weight from the Center for Zoonoses and Pest Control of the Murcia City Council. They were humanely euthanized for causes unrelated to this study. Specimens were then used for a contrast medium tomographic study of the liver. This project was supervised and approved by the ethics committee of the University of Murcia, Spain (REGA ES300305440012 CEEA:305/2017).

Computed tomography technique

Three feline cadavers were transported to the dissection room (Anatomical Laboratory, Department of Anatomy and Embryology, University of Murcia, Spain) and pumping out of the vasculature was performed with 2% saline solution via the common carotid artery, which was then injected with a colored vulcanized latex (blue, red and green) (NV001, Ballons CP, Espinardo, Murcia), and with 50% hydrated barium sulfate (12g/100ml of distilled water), to analyze the venous, arterial and biliary system via the aorta, gallbladder and portal vein. CT scans were then performed at the Veterinary Hospital of the University of Murcia, Spain (General Electric HiSpeed dual 2-detector CT, General Electric Healthcare, Madrid, Spain). Different parameters and sequences were used for the arterial, venous and biliary study.

The dicom image files generated by the CT scanner were analyzed with the AMIRA (Thermo Fisher Scientific, MA, USA) and OsiriX MD (Pixmeo, Switzerland) programs and followed by different post-processing algorithms images of maximum intensity projection (MIP), superficial and volumetric reconstructions (volume rendering) were obtained. Finally, arterial, venous and biliary 3D printing of the feline liver were obtained using Grabcad Print program and Stratasys F170-FDM printer. The ABS plastic and soluble support material were used for models, then support material was dissolved in an additive water bathe at 70° C. Finally, printed models were painted with different colours in order to identify the different anatomical structures.

Corrosion Technique

The other three feline cadavers were transported to the dissection room (Anatomical Laboratory, Department of Anatomy and Embryology, University of Murcia, Spain) where pumped out and injection of a coloured epoxy took place: blue for the venous system via the portal vein, red for the arterial system via the aorta and green for the biliary system via the gallbladder (E20 plus BIODUR®). For the organic digestion process, caustic soda was used followed by washing with water to clean hepatic casts. Finally, specimens were photographed to compare with CT images.

Article 3

In this article were used two healthy live female cats (*Felis silvestris catus*, L.) aged 2 and 6 years old and weighing 3.2 kg and 4.2 kg were used for the CTA and MRA, respectively. After clinical evaluation, the anesthetic protocols in both animals for each study consisted of premedication with a combination of medetomidine (Domtor, Orion Farma) 0.075 mg/kg and ketamine (Ketaset, Zoetis Inc., Kalamazoo, MI 100 mg/mL) 5 mg/kg injected IM, and induction with IV propofol (Propofol-Lipuro 1%, Braun) 4-6 mg/kg via the cephalic vein. The anesthesia was then maintained with a mixture of volatile anesthetic agents in oxygen (isoflurane (Forane, Abbott) 2-3% in a flow of 0.8 L/min of O₂). Mechanical ventilation was used throughout the studies at a rate of 10-12 breaths/min and the cats received IV physiological saline solution at 5 mL/h.

In the dissection study, three crossbreed female cat cadavers were used. The cats ranged in age from 2 to 4 years old, and each weighed approximately 4 kg, and were acquired from the Zoonoses Service of Murcia (Spain). The animals were humanely euthanized for reasons unrelated to this project. This study was supervised, and the research protocol authorized by the Animal Ethical Committee of Veterinary Medicine of the University of Murcia, Spain (REGA ES300305440012 CEEA: 305/2017; extended on 25/07/2022 as project Type II).

Anatomical dissections allowed us to evaluate the quality of the images obtained with the chosen techniques (CT, MRI and 3D Printing) when identifying vascular structures. The fresh cat cadavers were transported to the dissection room and vascular pumping with 2% saline solution was carried out. These specimens were then injected via

the common carotid artery and external jugular vein with red and blue latex (NV001, Ballons CP, Espinardo, Murcia, Spain), respectively. Subsequently, fresh cadavers with vascular repletion were frozen at -20 °C for at least 15 days to harden the latex before performing anatomical dissections. After the dissections, the cats were embalmed (1% formaldehyde, 5% glycerin, 10% isopropyl alcohol and 5% phenol and water) by immersion in a container. Several organs, and abdominal and pelvic vascular structures were labelled according to the Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature.

Computed Tomography Angiography and 3D Printing

Triple-phase contrast enhanced CT was performed obtaining the plain arterial phase (20 s after the start of injection of the contrast medium), the venous phase (40 s after the start of the injection), and the delayed phase (120 s after the start of the injection). Iomeprol (Iomeron, Madrid, Spain, 300 mgI/ml) was used as contrast medium and administered at a dose of 800 mgI/Kg, at 3 mL/s, via the cephalic vein with a power injector (Auto Enhance A-60; Nemoto-Kyorindo, Tokyo, Japan).

CTA was acquired with the animal in dorsal recumbency using a 16-slice CT unit (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, Spain). The technical parameters were 120 kV tube voltage, 80 mAs tube current, 1.5 s tube rotation time, spiral pitch factor of 0.94 and 3 mm slice thickness. The display field of view was of 35 cm and the image matrix was 512 × 512. On the CT workstation, images were obtained with soft tissue and bone algorithms and reformatted in sagittal and dorsal planes, maximum intensity projection and VR. The images were reviewed in a PACS workstation using soft tissue (WW = 400, WL = 40) and bone windows (WW = 1500, WL = 300). Adjustments to image window width and level were made as needed.

To better evaluate the appearance of the vascular and pelvic structures, Dicom files of the venous phase were adjusted using three standard Dicom 3D software packages (OsiriX MD 13.0.2, Pixmeo, Bernex, Switzerland; AMIRA 5.6, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA; RadiAnt DICOM viewer 2023.1; Medixant Co., Poznan, Poland) to produce three-dimensional volumetric representations. Subsequently, 3D printing of the arterial and venous systems of the abdominal and pelvic cavities was performed using the Slicer 3.0 program. Next, 3D printing was obtained using the Grabcad Print 1.71.7.21930 program (Waltham, MA, USA) and Stratasys F170-FDM printer (Los Angeles, CA, USA).

Finally, the printed cast was painted with different colors to identify organs and vascular structures.

Magnetic Resonance Angiography

Non-contrast enhanced MRA was performed with a high-field (1.5 Tesla) MRI scanner (General Electric Sigma Excite, Schenectady, NA, USA), using a human head coil of 8-channel. The animal was placed in dorsal recumbency, and retrospective electrocardiographic gating (ECG) was used to mitigate motion artifacts in the images by the visceral motion and pulsatility of the small vessels. Using software tools of these standard packages, the viscera (small and large intestine, liver, spleen) located below the abdominal and pelvic roof were manually removed for a better visualization of the vascular structures.

Ventral, oblique and lateral 3D TOF images were acquired with the following parameters: TR: 25 ms; TE: 6.9 ms; Slice thickness: 2 mm; Flip angle: 20 and Acquisition Matrix: 256×256 . Abdominal and pelvic vascular structures were assessed according to their hyperintensity signal and compared to the three-dimensional volume-rendering CT images, 3D printing and anatomical dissections. The interpretation of the CTA, 3D printing and MRA images was based on the study of anatomy textbooks and gross dissections to facilitate the identification of the abdominal and pelvic vascular structures.

VII.4. RESULTS

Article 1

The radiographic image was divided into three visualization of the hepatic lobes and interlobar fissure. The gallbladder was hypo-attenuated in the vascular mediastinum window and slightly hypo-attenuated in the soft tissue window compared with the liver. Bile ducts were not appreciated either in anatomical sections or in CT scans. The contrast medium allowed the identification of the hyper-attenuated aorta, caudal vena cava, and portal veins in both windows. The portal veins were very small and hyper-attenuated and it was not possible to distinguish their branches from the branches of the hepatic veins.

We could distinguish between the descending duodenum, the transverse colon and the jejunal coils, and both the body and the pyloric antrum of the stomach. The walls of

the stomach, colon, duodenum, and pancreas were hyper-attenuated in both types of windows. The contents of the stomach, duodenum, and colon were observed as slightly hyper-attenuated in soft tissue and hypo-attenuated in the mediastinum vascular window. The kidneys and the spleen appeared clearly in anatomical sections and were hypo-attenuated in both CT windows. We observed, ventral to the vertebral column, the abdominal aorta, and to the right side of the abdomen, the caudal vena cava and underlying it, the cranial mesenteric artery and vein. Branches of the splenic artery and vein were located in anatomical sections and both CT Windows.

Middle abdomen. The descending duodenum, the ascending colon, the jejunal coils and the pancreatic right lobe were observed, as well as both kidneys, spleen, mesentery, and the greater omentum. The vascular structures identified at this level were the caudal vena cava, right renal artery and vein, left renal vein, splenic artery, and vein.

Caudal abdomen. The descending and ascending duodenum, the ascending and descending colon, the jejunal coils, pancreatic right lobe, spleen, and ascending duodenum were observed as well as vascular structures such as the caudal vena cava, the splenic artery and splenic vein and abdominal aorta. Jejunal vessels (branches of the cranial mesenteric artery and vein) were perfectly delineated in both anatomical sections and both CT windows. The splenic vessels allowed the identification of the pancreas with both types of windows.

The descending portion of the colon and vascular structures with colored latex was observed. In CT scans with both window types, vascular structures such as the median sacral artery and vein, internal iliac artery, common iliac vein, external iliac artery, and cranial rectal artery were highly attenuated.

Volumetric reconstructions and 3D printing

In volumetric reconstruction using OsiriX and Amira, and in 3D printed images of the left aspect of the abdominal cavity, the liver, the spleen, and both kidneys were clearly observed. In OsiriX images jejunal coils and the descending colon were well appreciated but not the right kidney. However, vascular structures such as the abdominal aorta, caudal vena cava, left testicular artery and external iliac artery were clearly recognized. The hepatic veins and branches of the cranial mesenteric vein were seen both in Amira and in 3D printed images. Visualization of the portal vein was possible only in

the Amira images. The common iliac vein was not well distinguished in the OsiriX images, but it was clearly observed in the Amira and 3D prints. The liver and both kidneys were clearly observed on the right side of the abdominal cavity in the volumetric reconstruction OsiriX and Amira, and 3D printed images; however, while jejunal coils and the descending colon were visualized in the OsiriX image, the right kidney was not identified. The spleen was only seen in Amira and 3D printed images. Regarding vascular structures, the caudal vena cava, common iliac vein and external iliac artery together with the left testicular artery were clearly observed. Finally, it was noted that the branches of the cranial mesenteric, hepatic and portal veins were seen only in Amira and 3D printing images.

In the images of volumetric reconstruction (OsiriX and Amira) and 3D printing in ventral vision, the abdominal cavity clearly showed the liver, both kidneys, stomach, spleen, jejunal coils, descending colon, and rectum in the OsiriX image. The spleen and kidneys were seen in Amira and 3D printed images. The caudal vena cava, the common iliac vein, and the external iliac artery along with the left testicular artery were well appreciated. The branches of the cranial mesenteric vein between the jejunal coils were observed in the OsiriX image, while the Amira and 3D printed images clearly showed the tributaries of the portal vein (cranial mesenteric, gastroduodenal, and splenic veins) and hepatic veins.

In volumetric reconstruction using OsiriX and Amira, and 3D printed images (dorsal view), the abdominal cavity clearly showed the liver, stomach, both kidneys, stomach, spleen, jejunal coils, descending colon, and rectum in the OsiriX image. The spleen, kidneys, and hepatic veins were seen in Amira and 3D printed images. Renal arteries and renal veins, the left testicular artery, branches of the cranial mesenteric vein, and splenic vessels were observed in all images. The hepatic veins were seen only in Amira and 3D printed images.

VII.5. RESULTS

Article 2

Models of the structures composing the liver parenchyma, arteries, veins and bile ducts and their distribution within the liver were developed by joining volumetric reconstruction by automatic volumetric segmentation and reconstruction that provides the AMIRA program. The course of each of the structures to or from each liver lobe was followed. To do this, the superposition of structures, the venous, arterial and that of the biliary system were overlapped. This allowed us to place each of the liver structures in relation to the lobe to irrigate or drain or from the lobe where bile is secreted.

When the 3D model was produced, we were able to carefully analyze the structures at all levels, making the correspondence with the images obtained in volume rendering of Amira and OsiriX, the segmentation and the 3D printed model.

The arterial supply of the liver is from the hepatic artery whose course was traced from the celiac artery. We observed the other two branches of the celiac artery: the left gastric artery in a central position and the splenic artery to the left. The hepatic artery in the liver porta is divided into the right branch and the left branch.

The right branch emits a branch that goes to the right hepatic lobe and ends in four sub-branches dorsocaudally that right branch ends divided in three branches that are directed to the right medial hepatic lobe and gallbladder.

The left branch sends a small dorsal branch towards the papillary process of the caudate lobe, two left medial branches continues and ventral branches travel to the left medial lobe and the quadrate lobe. The left branch divides into four branches which supply the left lateral lobe.

In the corrosion mold of the arterial supply, we can see only the division of the hepatic artery in the right and left branches and its main branches.

We distinguish two types of venous drainage in this study: functional and metabolic. We begin with the study of the functional venous drainage that conveys the digestive system through the portal vein. We first examined the main tributaries of the portal vein: gastroduodenal veins (right), cranial mesenteric vein (central, with respect to vena porta) and splenic veins (left).

The portal vein splits into the left branch that emits a first branch, the transverse portion, which transports the blood to the quadrate lobe and caudate lobe (papillary process). The left branch continues towards the right medial lobe and to the left medial lobe. A right branch that divides is directed towards the lateral right lobe and caudate lobe (caudate process). From these branches portal blood travels to all the liver lobes so that the nutrients are processed by the hepatocytes.

A corrosion mold of the portal vein could not be performed.

The principal hepatic veins are associated with metabolic venous drainage. The blood from the left lateral lobe is drained by the left hepatic vein, from the left medial, quadrate lobe and caudate lobe (papillary process) is drained by the middle hepatic vein, of the right medial lobe is drained by the medial right hepatic vein, from the right side hepatic lobe and the caudate lobe (papillary process) is drained by the lateral right hepatic vein and the accessory hepatic veins. All this blood flows into the caudal vena cava.

In the corrosion mold we were able to appreciate the liver veins from the lobes to their connections to the caudal vena cava.

The formation of bile from the hepatocytes runs through the bile ducts from the small peripheral ramifications of the molds (canaliculi). Bile ducts from the right and medial lobe and caudate lobe (caudate and papillary processes) drain the intrahepatic right liver conduit. The bile from the left and medial, quadrate and medial lobes, a branch from the caudate lobe (caudate process) drain the intrahepatic left liver duct. Intrahepatic ducts emerge from the liver as extrahepatic ducts. The extrahepatic left liver duct connects with the cystic duct. The extrahepatic right duct connects with the cystic duct and then both the extrahepatic left cystic duct and the hepatic duct make up the bile duct (ductus choledochus). The bile duct joins the descending duodenum at the major duodenal papilla.

The corrosion mold of the bile system allows us to see the same disposition as in three-dimensional reconstructions.

VII.6. RESULTS

Article 3

Gross Dissections

Four figures corresponding to anatomical dissections with colored latex injection are presented. Figures were obtained from the abdominal and pelvic roof and from the abdominal lateral wall. Several abdominal and pelvic arteries and veins were well-visualized due to the colored latex substance injected.

Arterial System

The abdominal aorta is located in the dorsal abdomen, and its first abdominal branch is the celiac artery that supplies the celiac organs (stomach, liver, spleen, pancreas, and proximal duodenum). Caudal to the celiac artery is the cranial mesenteric artery that branches through the small and large intestine. The caudal mesenteric artery supplies the terminal parts of the digestive system; all these branches were observed. We differentiated caudal to the cranial mesenteric artery, the right middle and left caudal adrenal arteries that supply the adrenal glands. Caudal to the cranial mesenteric artery, the right renal artery arises, passing dorsal to the caudal vena cava and the right renal vein until it reaches the renal hilus. The left renal artery emerges caudal to the right renal artery, close to the roof of the abdomen and dorsolateral to the left ovarian and renal veins. In addition, it can be seen that the left caudal adrenal artery originates from the left renal artery and that the right middle adrenal artery is derived from the abdominal aorta, subsequently bifurcating into two branches that course towards the right adrenal gland.

To the right of the abdominal aorta and caudal to the left renal artery, the right ovarian artery branches off, coursing ventral to the caudal vena cava. It continues ventral to the psoas major muscle and, together with the right ovarian vein and supported by the broad ligament, they reach the right ovary. Slightly caudal to the right ovarian artery, the path of the left ovarian artery can be seen which, together with the left ovarian vein, reaches the left ovary. In addition, we observed the uterine branch of the right ovarian artery, a large caliber vessel which supplies the right uterine horn and anastomoses with the right uterine artery. The tubal branch of the right ovarian artery is significantly smaller in caliber. Caudal to the ovarian arteries, we observed an accessory branch of the left ovarian artery coursing through the broad ligament (mesometrium) reaching the mesovarium and mesosalpinx, close to the ovary. We appreciated only a small portion of the origin of the obliterated right accessory ovarian artery, indicated with an ellipse.

Caudal to the ovarian arteries is the origin of the caudal mesenteric artery that supplies the distal transverse colon, the descending colon and the cranial portion of the rectum. We observed the termination of the abdominal aorta caudal to the origin of the deep circumflex iliac arteries. First, we observed the large caliber bifurcation of the external iliac arteries (right and left). Caudal to this, the aorta ends at the bifurcation of the internal iliac arteries (right and left) and the median sacral artery.

The internal iliac arteries divide into two branches, the caudal gluteal and the internal pudendal arteries. The right internal pudendal artery that courses medially to the ischial spine was displaced to the left. It gives off the right vaginal artery, which in turn gives off the middle rectal artery. In addition, the right and left uterine arteries (very tortuous) were clearly seen as branches of the right and left vaginal arteries that travel lateroventrally to the rectum to reach the vagina. Before reaching the vagina, the right uterine artery branches off and courses cranioventrally to the uterus. The right and left uterine arteries anastomose with the uterine branches of the right and left ovarian arteries, respectively. Finally, we identified the urethral artery arising from the uterine artery.

Venous System

We observed how the caudal vena cava is located parallel to the abdominal aorta. Conveying venous blood from the pelvic limb and the pelvic cavity, we could appreciate the right common iliac vein entering the caudal vena cava. Arriving from the ovaries, the right ovarian vein flowed directly into the caudal vena cava, while the left ovarian vein drained into the left renal vein. We also identified the right adrenal vein draining into the caudal vena cava; however, the left adrenal vein emptied into the left renal vein. Both renal veins entered the caudal vena cava. In addition, we were able to observe the portal vein coursing towards the porta hepatis. Finally, we saw the ovarian venous plexus filled with colored blue latex, as well as the uterine veins that appeared dilated and surrounded by the uterine artery.

Computed Tomography Angiography and 3D Printing

Three-dimensional volume-rendering images using RadiAnt, Amira and OsiriX DICOM viewers are presented. An additional image was obtained by 3D printing. Volume-rendering showed an adequate representation of several abdominal and pelvic

arteries and veins, and these were identified by their elevated CT density by the administration of iodinated contrast media.

Arterial System

The visceral branches of the abdominal aorta, notably the celiac artery and its branches, as well as the cranial mesenteric artery were well visualized in 3D printing. However, these vascular structures were not fully appreciated in volumetric reconstructions. The adrenal and renal arteries were not observed with RadiAnt. With Amira, we were able to observe only the left renal artery. Both renal arteries were entirely identified with the OsiriX program and 3D printing. The ovarian arteries were not visible with any of the software used. With RadiAnt, we observed the entirety of the left uterine artery which arose from the vaginal artery, but the right uterine artery was not visible. The caudal mesenteric artery was seen but poorly represented with RadiAnt and Amira, whereas it was entirely identified with both OsiriX and 3D printing. Finally, the termination of the abdominal aorta was seen at the level of the joint between the sixth and seventh lumbar vertebrae, where the external and internal iliac arteries arose ventral to the end of caudal vena cava. The external iliac arteries were fully seen with Radiant, Amira and OsiriX but poorly represented with 3D printing. The internal iliac arteries were poorly represented with RadiAnt and 3D printing but they were entirely observed with Amira and OsiriX.

Venous System

The venous blood from the pelvic viscera and the pelvic limb drain into the internal and external iliac veins, which was seen with all the software used; while the uterine veins from the uterine horns and ovaries were observed but they were poorly represented with RadiAnt, Amira and OsiriX and not visible at all with 3D printing. Also, the uterine veins empty into the vaginal veins, which in turn drain into the internal iliac veins (right and left) before emptying into the common iliac veins (right and left) which are connected to the caudal vena cava. From the right ovary and right and left kidneys, blood drained directly into the caudal vena cava via the right ovarian vein and right and left renal veins. In addition, the left ovarian vein was entirely seen draining into the left renal vein. These details were observed with all the software used.

Functional venous drainage from the intestines, stomach and spleen was observed through the splenic, cranial mesenteric and gastroduodenal veins that converged in the portal vein. The gastroduodenal vein was not visible at all on the images as it drains from the right side. However, the splenic, cranial mesenteric and portal veins were fully seen with RadiAnt and OsiriX but were not visible with Amira and 3D printing. In order to visualize the celiac and cranial mesenteric arteries, as well as the portal vein and the caudal vena cava the liver was partially removed. Finally, the right and left kidneys were observed in their entirety with all the software used.

Magnetic Resonance Angiography

Four representative three-dimensional TOF MRA images of the abdominal and pelvic regions in different views were selected and presented. Thus, the TOF images are shown in several aspects (ventral, right and left oblique and right lateral). In the TOF images, we identified the liver, spleen, kidneys, ureters and ovaries, which allowed us to describe the principal arteries and veins, as well as their most important branches due to the high signal intensity.

Arterial System

The abdominal aorta, positioned to the left of the caudal vena cava was observed in its entirety. At the level of pelvic cavity, the bifurcation of the aorta into left and right external iliac arteries was clearly seen. Likewise, we identified the origins of the celiac, cranial mesenteric and ovarian arteries although these were not fully seen in the ventral view, whereas in the oblique and lateral views the vessels were seen but poorly represented. The other aortic branches (renal, caudal mesenteric, right uterine and right and left middle adrenal arteries) were all identified in the ventral but not in the oblique or right lateral views.

Venous System

The TOF images showed the uterine veins flowing into the vaginal veins. These latter vessels joined the internal iliac veins, which in turn drained into the common iliac veins. Finally, they connected to the caudal vena cava. In addition, the caudal vena cava was located to the right side of the aorta in the ventral view. In the right lateral view, the

caudal vena cava was observed ventral to the abdominal aorta but poorly represented and the portal vein was identified but inadequately represented. The right ovarian vein can be seen in its entirety draining directly into the caudal vena cava and likewise the left ovarian vein flowing into the left renal vein. Finally, the splenic, gastroduodenal and cranial mesenteric veins were accurately identified draining into the portal vein, which enters the liver at the hepatic porta, before dividing into right and left branches.

VII.7. DISCUSSION

Article 1

For the interpretation of anatomical sections, it is necessary to consider variations in the size, shape and anatomical relations of the abdominal organs, which partly depend on their degree of fullness. The abdominal organs and structures were interpreted, identified and differentiated according to the level of the section. To facilitate the identification of different anatomical structures, especially the vascular ones, bone (vertebral bodies, ribs), and visceral references (hepatic lobes, kidney, stomach and duodenum) have been used to identify the continuity of certain structures such as the caudal vena cava, aorta, portal vein and the cranial mesenteric artery and vein.

All the visceral structures were easily identified by means of CT; however, to recognize vascular structures it was necessary to follow each vessel using the image sequence of the Amira program. The study of CT with contrast media performed on the canine abdomen by Teixeira et al. (2007) did not employ anatomical sections, nevertheless, vascular formations were observed very clearly as they were hyper-attenuated. In addition, the hepatic veins were seen with both types of windows and in our anatomical sections were distinguished by being dyed with blue latex. The images of the visceral branches of the abdominal aorta of the middle and caudal abdomen observed in our study mostly coincided with those observed in the studies in the dog. Similarly to Teixeira et al. (2007), we could appreciate all the visceral branches of the abdominal aorta, except the testicular and the caudal mesenteric vessels. On the other hand, we observed a description of the intrahepatic bile ducts in the dog, which was not detected in our feline study, nor a common hepatic duct; this found is in compliance with

Schaller (1992). Few publications have correlated CT with anatomical sections in the canine abdomen, but Smallwood and George (1992) analyzed topography of the ureters, urinary bladder, ovary and uterus to the internal and external iliac artery, but there were no references to the veins nor was there vascular filling with latex in the anatomic sections, so this study did not provide information to facilitate the identification of vasculature. These authors similarly described the main viscera and the larger blood vessels such as the abdominal aorta, portal vein, and caudal vena cava. However, their study did not describe any visceral branch of the abdominal aorta or tributaries of the caudal vena cava to aid the identification of these formations in the feline abdomen. Studies of Zwingenberger et al. (2005) about the portal and hepatic vascular system of the dog by CT angiography or CT of dual phase, helped to corroborate our identification of the hepatic veins, cranial mesenteric, gastroduodenal, splenic and portal veins. However, we were not able to identify the caudal mesenteric vein or the branching of the intrahepatic portal vein into the different hepatic lobes as described in their work. In our study, we identified two branches of the splenic vein draining into the caudal vena cava. Bertolini et al. (2006) emphasized the usefulness of three-dimensional (3D) multislice CT angiography with MIP and volume rendering (VR) in dogs with portosystemic shunts, describing the main vessels (abdominal aorta, caudal vena cava, portal vein and the anomalous vessel: porto-caval or porto-azygous). This manuscript allowed us to corroborate the arrangement of our vascular formations, except for the branches derived from the main trunks. We believe that this work will provide valuable information for the 3D study of vascularization, aiding the study of vascular anomalies.

Studies carried out in the abdomen of the cat by Samii et al. (1998) which combines sectional anatomy and CT with contrast media, and Samii et al. (1999) using MRI, helped us to study some large vessels such as the abdominal aorta, caudal vena cava and portal vein. The CT images of the feline abdomen by Shojaei et al. (2006) allowed us to localize and analyze the images of the abdominal aorta, the portal vein and the caudal vena cava. We found additional information in identifying the main structures of the cranial abdomen of the cat in the work of Newell et al. (2016) employing MRI. Our study did not locate two branches in the right and left renal vein, nor the left renal accessory artery described in the angiographic CT study of the feline kidney by Bouma et al. (2003). MRI study of Dennis (2005), performed on 95 dogs and 5 cats, showed the position of the

celiac and cranial mesenteric arteries, but it did not show any MRI image in the cat, not comparable with our images. Studies of MRI with contrast medium of portosystemic shunts were exerted in cats by Scavelli et al. (1986) and in dogs by Frank et al. (2003) allowed us to appreciate the normal vascular pattern. Both authors and Schwarz et al. (2009) in the study of canine shunts through the use of CT angiography and MRI, and Oui et al. (2013) describing multiple anomalies of the caudal vena cava in a dog using CT, agreed and indicated the importance of obtaining volumetric reconstructions to clarify these vascular anomalies and encourage the need to perform a study in a normal vascular model.

A radiographic study with contrast medium or arteriography performed by Kneller et al. (1972) in cats supported our study's description of the disposition of the visceral branches of the abdominal aorta and its similar topography to the dog.

CT angiographic study conducted by Grabherr et al. (2005) in three cadaver specimens (two dogs and a cat) using a fluid of diesel oil and a lipophilic contrast media, produced a large 3D volumetric reconstruction but with poor detail in its interpretation; however, it is a good study of the disposition of vascular formations in carnivores, which helped us in producing a 3D model. In order to carry out our tomographic study of contrast and 3D reconstruction, we relied on the scanner settings used in the study of the human ear by Fatterpekar et al. (2006) and we also used this research as a reference to perform the 3D printing. Regarding the reconstruction, we concur with Lauridsen et al. (2018) in the acquisition of the image made with a 16 detector CT scanner. The treatment of the images was done with Amira, we also used the program OSIRIX, which allowed us to compare the results of both programs. To prepare 3D printing we generated a Standard Triangle Language (STL) file as in Hespel et al. (2014) and Lauridsen et al. (2018).

The correlation between the images of OsiriX, Amira, and 3D printing is a good example of what a normal 3D model of the feline abdomen vascularization can help veterinary clinicians. In future, 3D printed models of portosystemic shunts should be created to help clinicians understand these anomalies for more surgical resolution and could contribute to the teaching of normal anatomy.

VII.8. DISCUSSION

Article 2

Studies related to feline abdominal anatomy are still scarce, despite the increase in feline patients in veterinary clinics. This study of feline liver parenchyma is structured in three parts: arterial, venous and biliary.

The arterial circuit generally follows the pattern described in carnivores by Sandoval (2000); Nickel et al. (1981) who described the hepatic artery, before entering the liver in carnivores, as dividing into lateral and medial right and left branches. The cystic artery arises from the medial left branch in carnivores. In our study of cats, we did not identify the origin of the cystic artery. Mari and Acocella (2015); Schaller used schematic drawings to describe the blood supply to a carnivore's liver. Their study indicated that the right hepatic artery arises from a right lateral branch towards the right lobe. From the right lobe, a branch travels towards the caudate lobe (caudate process).

However, in cats, the artery supplying the caudate process leaves the right hepatic artery before giving off lateral and medial branches. According to Mari and Acocella (2015) and Schaller (1992), in carnivores, the right medial branch leaves the hepatic artery before its bifurcation, which agrees with our current study.

We distinguished a functional portal venous circuit (afferent) to the liver that supplies nutrients as described in Nickel et al. (1981) and another hepatic circuit (efferent), responsible for the nutrition of liver cells, provided by the hepatic veins. Metabolites travel towards the hepatic veins from the centrilobular vein to the caudal vena cava together with the processed nutrients coming from the portal vein.

Our study found that the gastroduodenal, cranial mesenteric and splenic veins combined to form the hepatic portal vein, which is in agreement with the results of Sandoval (2000) and Nickel et al. (1981). Second, Sandoval (2000); Nickel et al. (1981); Mari and Acocella (2015); Schaller (1992); Nickel et al. (1981) divided the trunk of the portal vein at the hepatic porta into two branches (right and left); the less developed right towards the right lobe and caudate lobe, and the thicker left towards the left lobe and quadrate lobe, a general pattern for all domestic species.

According to Schaller (1992) and Nickel et al. (1981) the division of the canine portal vein produces a right branch of the portal vein for the right lateral lobe and the caudate lobe (caudate process), which concurs with our findings. However, we did not

identify, in cats, the transverse portion or the umbilical portion referred to Schaller (1992) and Nickel et al. (1981) in carnivores, pigs, horses and ruminants. Other studies carried out by Gaschen (2009); Nickel et al. (1981); Scavelli et al. (1986) and Rojo et al. (2020) did not follow the branches of the portal vein within the liver. Metzger et al. (2022) analyzed the portal venous system in cats. Our study agrees with one of the six schematic representations of the intrahepatic portal venous system which divided the portal vein in two main branches at the level of the porta.

With respect to the efferent liver circuit, we agree with the views expressed by De Sordi et al. (2014). The hepatic veins (right (lateral and medial), middle and left) and hepatic accessory veins observed in dogs were also observed in the cats in our study, although Metzger et al. (2022); Schaller (1992); Nickel et al. (1981) do not describe any division on the right. However, they observed and described the middle and left veins, but not the accessory liver veins that travel independently to the vena cava, which were observed in our study of cats (corrosion and 3D casts).

Finally, Ursic et al. (2007) carried out a study of anatomical changes in the portal vein supply in dogs and commented on the complexity of the drainage system of the portal vein in cats.

As for the biliary system, we agree with the description by Nickel et al. (1981) of the circuit that transfers bile from the liver lobes to the gallbladder and bile duct. By using contrast CT to obtain volumetric reconstructions and three-dimensional impressions, our study described the circuit from the lobes to the confluence of the right and left hepatic ducts in cats. Our findings indicate that the bile produced in the right hepatic and caudate lobes enters the right hepatic duct. Bile from the papillary process goes to both the right and the left hepatic ducts. The bile produced in the left hepatic lobe (lateral and medial) and quadrate lobe enters the left hepatic duct.

Other works, such as Sandoval; and Schaller, provide only schematic drawings. CT research on dogs, such as Teixeira et al. (2007) does not analyze the biliary circuit. We do not concur that the biliary pattern described in carnivores by Sandoval applies to cats.

In addition, in our study, the right hepatic duct flows into the cystic duct; the left and cystic duct form the bile duct. These findings do not coincide with Sandoval (2000), but they are in agreement with Crouch (1969); Hudson and Hamilton (1993) and with some of the 30 cats studied in Bragulla and Vollmerhaus (1987).

Likewise, we agree with Sandoval (2000); Schaller (1992); Bragulla and Vollmerhaus (1987); Hudson and Hamilton (1993) that the common hepatic duct is absent and that the common bile duct is present in cats. However, Hudson and Hamilton (1993) refers to the common bile duct as the common hepatic duct.

In Bragulla and Vollmerhaus (1987), the authors observed that all the bile collected by the right and left hepatic ducts empties into the cystic duct. We agree that the right hepatic duct almost always empties into the cystic duct and, finally, that the cystic and left hepatic duct form the common bile duct. In the two cats in our study, this pattern was shown in the extrahepatic biliary system. However, Bragulla and Vollmerhaus (1987) describe 17 variations of this system in the 30 cases studied through corrosion, which makes it difficult to establish a pattern in cats. Even so, we consider that these are important data to consider for future studies of the feline biliary system.

VII.9. DISCUSSION

Article 3

In the present study, feline abdominal and pelvic vascular structures were evaluated using gross dissections as an anatomical reference to compare with three-dimensional VR CTA as well as TOF images. Results from the current research show that the use of anatomical dissections injected with colored latex helps in the identification of the major blood vessels as well as their main branches and this enhances the anatomical accuracy of the study. Our study concurs with other authors who have used anatomical preparations with vascular repletion to facilitate the examination of the vasculature of the abdominal and pelvic cavities Rojo et al. (2020), Metzger et al. (2022), Rojo et al. (2023). In our work, CTA images were acquired by means of a 16-slices spiral CT unit, which contributed a suitable view of the abdominal and pelvic vascular system. The reviewed literature contained a few studies on feline abdominal and pelvic anatomy using CTA Gavrias et al. (2016), Head et al. (2003). Other researchers have applied CTA for the assessment of the characteristics of the renal vessels in healthy cats for the selection of appropriate feline renal transplant donors Bouma et al. (2003), Mai et al (2013) and there is also one recent report that combine CTA VR reconstructions,

anatomical dissections and 3D printings for the study of the vascularization and bile circulation of the feline liver Rojo et al. (2023). Compared with previous works Gavrias et al. (2016), Makara et al. (2016), we have tried to show 3D images of the branches of the great vessels (aorta and caudal vena cava) in the roof of the abdomen. Therefore, our study does not make a detailed examination of the vascularization of specific organs of the abdominal and pelvic cavity such as the liver Rojo et al. (2020), Makara et al. (2016), Rojo et al. (2023) or kidneys Bouma et al. (2003), Mai et al (2013).

For this study, the three-dimensional VR corresponding to CTA images of the abdomen and pelvis were made using 3D post-processing software: RadiAnt 2023.1, Amira 5.6 and OsiriX MD 13.0.2 DICOM Viewers. These images showed the main characteristics of the main arteries and veins as well as their regional branches. In all three-dimensional VR images, numerous arteries were well defined, including the thoracic and abdominal aorta, the external and internal iliac arteries, and the celiac artery. OsiriX MD 13.0.2 software provided the best views of the cranial and caudal mesenteric artery and renal arteries compared to RadiAnt VR in which we could only differentiate the cranial mesenteric artery; however, with the Amira reconstruction image we could observe both the cranial mesenteric and left renal arteries. Regarding the three software packages analyzed, we must state that VR is not available to veterinarians, sometimes, due to limited knowledge of the range of available software tools (Amira 5.6, OsiriX MD 13.0.2, RadiAnt 2023.1) Perandini et al. (2010). An analytical study ranked OsiriX MD 13.0.2 and RadiAnt 2023.1 as the best software for performing VR Brühshwein et al. (2020). In addition, the use of all reconstructed CTA acquisitions supplied accurate anatomical information on the main abdominal and pelvic veins. In this study, three different software have been used, which are the ones that we can frequently find in the different areas of veterinary medicine. Thus, we chose OsiriX as it is one of the commercially available programs and is claimed to be the most widely used DICOM viewer in the world OsiriX Lite DICOM-Viewer (2022), especially among certified radiologists in veterinary referral centers and those doing teleradiology. In this project, OsiriX MD 13.0.2 software provided the best views of the vascular structures; however, we agree with Salonen et al. (2022) which highlights a disadvantage of OsiriX® in that it is only compatible with the Mac® operating system. The second software used was Amira 5.6, usually used in research institutions and universities. Several articles describe the use of this software Rojo et al

(2020), Rojo et al. (2023), Haverkamp et al. (2019), Buttelmann et al. (2023). In the present study, when comparing the use of Amira's volumetric rendering image with that of OsiriX, it was not possible to observe certain veins as the portal and splenic veins or the internal and external iliac veins. Furthermore, it is an expensive software and is often not profitable outside large research centers or universities. The third software used in our study was RadiAnt 2023.1 as it is considered an attractive package, applicable for all imaging modalities RadiAnt Dicom View (2022) and the preferred Windows DICOM viewer RadiAnt Dicom View (2022). When comparing images obtained with RadiAnt with those of OsiriX, the internal and external iliac veins were not observed. However, RadiAnt showed the portal vein and its branches clearly, which were not seen with Amira.

For our study, a TOF bright-blood gradient-echo sequence was selected in ventral, right oblique, left oblique and right lateral view aspects. TOF images were very useful for identifying abdominal and pelvic vasculature. All vascular structures were identified based on high signal intensity compared to other tissues that showed less signal intensity. Thus, the image obtained in a ventral view allowed us to identify numerous arteries and veins in comparison with the right and left oblique, and right lateral aspects. This is due to the overlapping of structures when rotating the corresponding images.

In addition, the non-contrast TOF images allowed the identification of the course of the arteries and the veins, as well as their main ramifications. For better visualization of these abdominal and pelvic blood vessels, we have relied on the ventral aspect, and to a lesser extent, on the right and left oblique views, as the right lateral view did not assist in structure identification. In clinically healthy cats, similar non-contrast 3D TOF results were reported although these were compared with 3D ECG-FSE pulse sequence and contrast enhanced MRA. This study provided three-dimensional TOF images in dorsal and lateral views for the evaluation of the abdominal aorta and external iliac arteries Lee et al. (2002). However, our research of the abdominal and pelvic cavities used three-dimensional TOF images to observe accurately the main arteries and veins and their branches associated with the abdominal aorta and the caudal vena cava.

In small animals, anomalies of the portal system have been increasingly detected in recent years with the growing availability of advanced imaging techniques in veterinary practice Bertolini et al. (2010), Konstantinidis et al. (2023). Other congenital anomalies of the venous system using CTA have been reported Pey et al. (2015), Spediacci et al.

(2022). Knowledge of the congenital and acquired anomalies and their consequences is of great importance for clinical decision-making in surgery and for planning interventional procedures Bertolini et al. (2010), Nelson et al. (2011), Bertolini et al. (2019).

In our study, three-dimensional CTA and MRA images of the abdominal and pelvic cavities provided accurate anatomical information of the main veins and would be useful in the evaluation of anomalous portal connections. The use of VR CT with contrast for detection of the extrahepatic segments of the portal vein (classic shunts: portocaval and its branches) is the most appropriate method for locating the anomaly and for planning surgery. The use of the RadiAnt viewer allowed highly detailed observation of the extrahepatic portal branches and other vessels (renal and ovarian). OsiriX provided an incomplete view, and observations were not possible with Amira. It is important to indicate that the ventral, oblique and lateral views should be used. The intrahepatic segment of the portal vein was completely observed using RadiAnt and OsiriX VR CT, although it took more time to remove adjacent tissues to fully appreciate it, whereas it was not completely observed with Amira. However, with MRA the oblique and lateral views showed the entirety of these segments although they were poorly represented in the ventral view.

Finally, 3D printing from cadaver cats was used in this study to facilitate a better interpretation of the CTA and the TOF images. In veterinary medicine, several reports of 3D printing and advanced corrosion casting technologies have supplied a valuable tool to aid surgery scheduling, improve anatomical knowledge and encourage research Lauridsen et al. (2016), Wilhite et al. (2019), Rojo et al. (2020), Metzger et al. (2022), Rojo et al. (2023). Colored latex vascular anatomical dissections, CTA acquisitions, TOF MRA and 3D printing of the feline abdominal and pelvic cavities have allowed us to identify the great vessels and their main branches. The correlation between RadiAnt, Amira and OsiriX images and 3D printing, and the vascularization of the feline abdominal and pelvic cavities could contribute to increasing knowledge of vascular anatomy among veterinary clinicians and researchers.

The main limitations of our study have been the number of healthy cats used ($n = 2$). It would be advisable to carry out more studies to confirm the results obtained. We decided to perform the CT study with a slice thickness of 3 mm as it is the standard thickness usually chosen in veterinary centers using a CT device, both in those that can

opt for machines of only two detectors, and in those with more modern devices (16 or more detectors). We did obtain and analyze the arterial phase although it is not shown in this report; these arteries were observed in the venous phase that was used for the 3D reconstructions (VR).

VII.10. CONCLUSIONS

- The correlation between OsiriX, Amira images and 3D printing is a good example of what a normal three-dimensional model of the vascularization of the feline abdomen can provide to assist veterinarians. In the future, three-dimensional printed models of portosystemic shunts should be created to help physicians understand these abnormalities for subsequent surgical resolution.
- The combination of CT with contrast medium and anatomical images injected with latex and epoxy through the vena cava, hepatic artery and portal vein, allows us to differentiate the arterial irrigation, venous circulation and bile in the liver feline.
- The correlation between OsiriX, Amira images and 3D printing are a good example of what a normal three-dimensional model of the vascularization of the feline liver can provide to help veterinary clinicians. In the future, three-dimensional printed models of portosystemic shunts should be created to help clinicians understand these abnormalities for subsequent surgical resolution and could contribute to the teaching of normal anatomy.
- The 3D image and impression of the hepatic vascular and biliary circulatory system be a useful resource for the clinician for preoperative planning of different surgeries (shunts, liver masses, etc.) in feline patients.
- The use of anatomical dissections with coloured latex injections has allowed a precise description of vascular structures in images of CTA and MRA. The images obtained through this study provided a basic anatomical reference to doctors for the diagnosis of diseases of these regions and for greater use and development of these techniques in feline medicine.

BIBLIOGRAFÍA

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Arencibia, A.; Corbera, J.A.; Ramírez, G.; Contreras, S.; Morales, M.; Jáber, J.R.; Orós, J.; Vázquez, J.M. Three-dimensional time of flight magnetic resonance angiography of the heart and associated vessels in a cat. *J. Vet. Cardiol.* 2016, 18, 413-417.
- Arencibia, A.; Corbera, J.A.; Gil, F.; Ramírez, G.; Jáber, J.R.; Morales, M.; Vázquez, J.M. Anatomical assessment of intrathoracic cardiovascular structures using fast spin-echo double inversion recovery and steady-state free precession magnetic resonance imaging in a normal cat. *J. Vet. Cardiol.* 2019, 24, 28-35.
- Arfi, A.; Arfi-Rouche, J.; Barrau, V.; Nyangoh Timoh, K.; Touboul, C. Three-dimensional computed tomography angiography reconstruction of the origin of the uterine artery and its clinical significance. *Surg. Radiol. Anat.* 2018, 40, 85-90; DOI: 10.1007/s00276-017-1941-9.
- Francois, C.J. Abdominal magnetic resonance angiography. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 2020, 28, 395-405.
- Axlund, T. and Hudson, J. (2003). Computed tomography of the normal lumbosacral intervertebral disc in 22 dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 630-634.
- Ayache, J.B.; Collins, J.D. MR angiography of the abdomen and pelvis. *Radiol. Clin. North Am.* 2014, 52, 839-859.
- Barr, F. *Diagnostic Ultrasound the Dog and Cat*; Blackwell Sci. Pub.: London, UK, 1990; pp. 1-193.

- Bertolini, G; Furlanello, T; De Lorenzi, D and Caldin, M. (2006). Computed tomographic quantification of canine adrenal gland volume and attenuation. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 47: 444-448.
- Bertolini, G. Acquired portal collateral circulation in the dog and cat. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2010, 51, 25-33.
- Bertolini, G. Anomalies of the portal venous system in dogs and cats as seen on multidetector-row computed tomography: an overview and systematization proposal. *Vet. Sci.* 2019, 6, 10.
- Boffman, P. and Thrall, D. (2006). Magnetic resonance imaging findings in a dog with caudal aortic thromboembolism and ischemic myopathy. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 47: 334-338.
- Bouma, J.L.; Aronson, L.R.; Keith, DG and Mark Saunders, H. (2003). Use of computed tomography renal angiography for screening feline renal transplant donors. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 636-641.
- Boiso, A.M.; Fernandez, J.L.; Isarrán, M.A.S.; Chacón-M. de Lara, F.; Rodríguez, J.H. *Manual Práctico de Ecografía Comparada en Pequeños Animales*; Málaga College of Veterinarians: Málaga, Spain, 1999; pp. 1-126.
- Bragulla, H.; Vollmerhaus, B.A. Corrosion anatomy study of the bile duct system in the cat liver. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 1987, 100, 78-82.
- Burillo, F.L. *Atlas Veterinario de Diagnóstico por Imagen*; Servet: Zaragoza, Spain, 2010; pp. 1-288.
- Buttelmann, G.; Harder, L.K.; Nolte, I.; Wefstaedt, P. Impact of body weight and sex in selected dog breeds on the canine adrenal gland dimensions measured by computed tomographic imaging. *BMC Vet. Res.* 2023, 19, 99.
- Gil Cano, F.; Latorre Reviriego, R.; Ramírez Zarzosa, G.; López Albors, O.; Ayala Florenciano, M.D.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Vázquez Autón, J.M. *Atlas de Anatomía del Gato*; Multimédica Ed. Vet.: Barcelona, Spain, 2022; pp. 1-240.
- Caceres, A.V.; Zwingenberger, A.L.; Hardam, E.; Lucena, J.M. and Schwarz, T. (2006). Helical computed tomographic angiography of the normal canine pancreas. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 47: 270-278.

- Caceres, A.; Zwingenberger, A.; Aronson, L.; Mai, W. Characterization of normal feline renal vascular anatomy with dual-Phase CT angiography. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2008, 49, 350-356.
- Choi, M.; Kim, H.; Yoon, J.; Choi, M. CT features of extrahepatic arterioportal fistula in two cats. *J Small Anim Pract*. 2019 Nov;60(11):697-700. doi: 10.1111/jsap.12957. Epub 2018 Oct 31. PMID: 30381839.
- Cordella, A.; Bertolini, G. Multiphase multidetector-row CT reveals different patterns of hepatic portal venous gas and pneumobilia. *Vet. Radiol. Ultrasound* 2021, 62, 68-75.
- Crawford, J; Manley, P. and Adams, W. (2003). Comparison of computed tomography, tangential view radiography, and conventional radiography in evaluation of canine pelvic trauma. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 619-628.
- Crouch, E.J. Text-Atlas of Cat Anatomy; Lea & Febiger: Philadelphia, PA, USA, 1969; pp. 1-399.
- Dennis, R. (2005). Assessment of location of the celiac and cranial mesenteric arteries relative to the thoracolumbar spine using magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 46: 388-390.
- De Sordi, N.; Bombardi, C.; Chiocchetti, R.; Clavenzani, P.; Trere, C.; Canova, M.; Grandis, A. A new method of producing casts for anatomical studies. *Anat. Sci. Int.* 2014, 89, 255-265.
- Done, S.H.; Goody, P.C.; Evans, S.A.; Stickland, N.C. Atlas en color Anatomía Veterinaria. Ed. Harcourt Brace, Madrid, España, 1997; 1-600.
- Dyce, K.M.; Sack, W.O.; Wensing, C.J.G. Textbook of Veterinary Anatomy 4th Ed. Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, USA, 2010; 1-834.
- Edelman, R.R.; Koktzoglou, I. Non contrast MR angiography: An update. *J. Magn. Reson. Imaging* 2019, 49, 355-373.
- Fatterpekar, G.M.; Dosh, A. and Edelman, B.N. (2006). CT of the temporal bone anatomy and pathology. Clinical case studies in the third dimension. Vol. 2, San Mateo, CA, USA, TeraRecon Inc., PP: 187-208.
- Frank, P.; Mahaffey, M.; Egger, C. and Cornell, K..K.. (2003). Helical computed tomographic photography in ten normal dogs and ten dogs with portosystemic shunt. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 392-400.

- Gaschen, L. Update on hepatobiliary imaging. *Vet. Clin. N. Am. Small. Anim. Pract.* 2009, 39, 439-467.
- Gil Cano, F.; Latorre Reviriego, R.; Ramírez Zarzosa, G.; López Albors, O.; Ayala Florenciano, M.D.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Vázquez Autón, J.M. *Atlas de Anatomía del Perro*. Multimédica Ed.; San Cugat del Vallés, Barcelona, España, 2021; pp. 143-155, 183-187, 196.
- Gil Cano, F.; Latorre Reviriego, R.; Ramírez Zarzosa, G.; López Albors, O.; Ayala Florenciano, M.D.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Vázquez Autón, J.M. *Atlas de Anatomía del Gato*. Multimédica Ed.; San Cugat del Vallés, Barcelona, España, 2022; 1-240.
- Grabherr, S.; Djonov, V.; Friess, A.; Thali, M.J.; Ranner, G.; Vock, P. and Dirnhofer, R. (2005). Postmortem angiography after vascular perfusion with diesel oil and a lipophilic contrast agent. *AJR Am.*, 187: 516-523.
- Gavrias, E.; Miró, F.; Blanco, B.; Lucena, R.; Ginel, P.T.; Nogales, M. Helical computed tomography - Anatomy of the cat abdomen. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Club-Napoca, Food Sci. Technol.* 2016, 73, 149-152.
- Green, D.; Parker, D. CTA and MRA: visualization without catheterization. *Semin. Ultrasound CT. MR.* 2003; 24, 185-191.
- Griffin, S. Feline abdominal ultrasonography: what's normal? what's abnormal? Hepatic vascular anomalies. *J. Feline Med. Surg.* 2019, 21, 645-654.
- Halpern, E.J.; Rutter, C.M.; Gardiner, G.A. Jr.; Nazarian, L.N.; Wechsler, R.J.; Levin, D.B.; Kueny-Beck, M.; Moritz, M.J.; Carabasi, R.A.; Kahn, M.B.; Smullens, S.N.; Feldman, H.I. Comparison of Doppler US and CT angiography for evaluation of renal artery stenosis. *Acad. Radiol.* 1998, 5, 524-532.
- Head, L.L.; Daniel, G.B.; Tobias, K.; Morandi, F.; Denovo, R.C. and Donnell, R. (2003). Evaluation of the feline pancreas using tomography and radiolabeled leucocytes. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 420-428.
- Heath, T. Origin and distribution of portal blood in the sheep. *Am. J. Anat.* 1968, 122, 95-106.
- Heath, T.; House, B. Origin and distribution of portal blood in the cat and the rabbit. *Am. J. Anat.* 1970, 127, 71-80.

- Hespel, A.M.; Wilhite, R. and Hudson, J. (2014). Invited review-applications for 3D printers in veterinary medicine. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 55:347-358.
- Hudson, L.C.; Hamilton, B.A. *Atlas of Feline Anatomy for Veterinarians*; WB Saunders Co.: Philadelphia, PA, USA, 1993; pp. 1-287.
- Johnson, P.T.; Heath, D.G., Bliss, D.F., Cabral, B., Fishman, E.K. Three-dimensional CT: real-time interactive volume rendering. *AJR Am. J. Roentgenol.* 1996, 167, 581-583.
- Jirasakul, J.; Thammasiri, N.; Darawiroj, D.; Choisunirachon, N.; Thanaboonnipat, C. Computed tomographic appearance of circumcaval and circumuterine ureter in a cat. *Vet. Med. Science* 2020, 6, 335-341.
- Kim, J.; Kim, D.H.; Kim, K., Oh, D.; Yoon, J. Non-electrocardiography- and electrocardiography-gated computed tomography angiography for the evaluation of feline coronary arteries. *Front. Vet. Sci.* 2022, 9, 952412.
- Kier, E.L., Conlogue, G.J., Zhuang, Z. High-Resolution Computed Tomography Imaging of the Cranial Arterial System and Rete Mirabile of the Cat (*Felis catus*). *Anat Rec (Hoboken)*. 2019 Nov; 302(11):1958-1967. doi: 10.1002/ar.24251. Epub 2019 Oct 1. PMID: 31502384; PMCID: PMC6856801.
- Kneller, S.K.; Lewis, R.E. and Barrett, R.B. (1972). Arteriographic anatomy of the feline abdomen. *J. Vet. Res.*, 33: 2111-2119.
- Konstantinidis, A.O.; Patsikas, M.N.; Papazoglou, L.G.; Adamama-Moraitou, K.K. Congenital portosystemic shunts in dogs and cats: classification, pathophysiology, clinical presentation and diagnosis. *Vet. Sci.* 2023, 10, 160.
- Korosec, F.R.; Mistretta, C.A. MR angiography: basic principles and theory. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.* 1998, 6, 223-256.
- Lamb, C.R. Ultrasonography of portosystemic shunts in dogs and cats. *Vet. Clin. N. Am. Small. Anim. Pract.* 1998, 28, 725.
- Larson, M. Ultrasound imaging of the hepatobiliary system and pancreas. *Vet. Clin. N. Am. Small. Anim. Pract.* 2016, 46, 453-480.
- Lauridsen, H.; Hansen, K.; Nørgard, M.Ø.; Wang, T. and Pedersen, M. (2018). From tissue to silicon to plastic: three-dimensional printing in comparative anatomy and physiology. *R. Soc. Open Sci.*, 3: 150643.

- Lee, M.; Ko, M.; Ahn, J.; Ahn, J.; Yu, J.; Chang, J.; Oh, S.; Chang, D. Evaluation of the abdominal aorta and external iliac arteries using three-dimensional time-of-flight, three dimensional electrocardiograph-gated fast spin-echo, and contrast-enhanced magnetic resonance angiography in clinically healthy cats. *Front. Vet. Sci.* 2002, 9, 819627.
- Lewin, J.S.; Laub, G.; Hausmann, R. Three-dimensional time-of-flight MR angiography: applications in the abdomen and thorax. *Radiology* 1991, 179, 261-264.
- Liste Bustillo, F.. Atlas veterinario de diagnóstico por imagen.2010.Ed. Servet. Zaragoza. España. Pag.1-287
- Liu, P.S.; Platt, J.L. CT angiography in the abdomen: a pictorial review and update. *Abdom. Imaging* 2014, 39, 196-214.
- Lutterbey, G.; Gieseke, J.; Sommer, T.; Keller, E.; Kuhl, C.; Schild, H.H. A rational study of the great abdominal veins using 2D-TOF- and turbo-spin-echo sequences. *Rofo* 1998, 169, 17-21;
- Mai, W.; Suran, J.N.; Cáceres, A.V.; Reetz, J.A. Comparison between bolus tracking and timing-bolus techniques for renal computed tomographic angiography in normal cats. *Vet. Radiol. Ultrasound* 2013, 54, 343-350.
- Makara, M.; Chau, J.; Hall, E.; Kloeppel, H.; Podadera, J.; Barrs, V. Effects of two contrast injection protocols on feline aortic and hepatic enhancement using dynamic computed tomography. *Vet. Radiol. Ultrasound.* 2015, 56, 367-373.
- Mari, L.; Acocella, F. Vascular anatomy of canine hepatic venous system: A basis for liver surgery. *Anat. Histol. Embryol.* 2015, 44, 212-224.
- Marolf, A.J. Computed tomography and MRI of the hepatobiliary system and pancreas. *Vet. Clin. N. Am. Small. Anim. Pract.* 2016, 46, 481-497.
- Marolf, A.J. Diagnostic imaging of the hepatobiliary system: An update. *Vet. Clin. N. Am. Small. Anim. Pract.* 2017, 47, 555-568.
- Metzger, M.D.; Van der Vekens, E.; Rieger, J.; Forterre, F.; Vicenti, S. Preliminary studies on the intrahepatic anatomy of the venous vasculature in cats. *Vet. Sci.* 2022, 9, 607.
- Michaely, H.J.; Attenberger, U.I.; Kramer, H.; Nael, K.; Reiser, M.F.; Schoenberg, S.O. Abdominal and pelvic MR angiography. *Magn. Reason. Imaging Clin. N. Am.* 2007, 15, 301-314.

- Moreno Boiso, A.; López Fernández, J.; Sánchez Isarrán, M.A.; Chacón M. De Lara, F.; Hervás Rodríguez, J. . Manual Práctico de Ecografía Comparada en pequeños animales. Ed. Los Autores. 1999. Marbella, Málaga, España. Pag 1-126.
- Nelson, N.C.; Nelson, L.L. Anatomy of extrahepatic portosystemic shunts in dogs as determined by computed tomography angiography. Vet. Radiol. Ultrasound. 2011, 52, 498-506.
- Nickel, R.; Schumer, A.; Seiferle, E. The circulatory System the skin and the cutaneous organs of the domestic mammals. In The Anatomy of the Domestic Animals; Verlag Paul Parey: Berlin/Hamburg, Germany, 1981; Volume 3, pp. 1-610.
- Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E. The Viscera of the Domestic Mammals, 2nd ed.; Verlag Paul Parey: Stuttgart/Hamburg, Germany, 1979; pp. 1-401.
- Nielsen, T; Lindstrom, L.; Ingman, J.; Uhlhorn, M. and Hansson, K. (2016). High-frequency ultrasound of Peyer's patches in the small intestine of young cats. J. Feline Med. Surg., 18: 303-309.
- Novellas, R., Dominguez, E., Espada, Y.; Martínez, Y.; Tobón, M. Diagnóstico Ecográfico en el Gato. Ed. Servet. 2015. Zaragoza. España Pag 1-247
- Oui, H.; Kim, J.; Bae, Y.; Oh, J.; Park, S.; Lee, G.; Hoon, J. and Choi, J. (2013). Computed tomography angiography of situs inversus, portosystemic shunt and multiple vena cava anomalies in a dog. J. Vet. Med. Sci., 75: 1525-1528.
- Pechman, R.D. The liver and spleen. In: Thrall DE. Textbook of veterinary diagnostic radiology. W.B. Saunders Company. 2º ED.1994: 426-435.
- Pereles, F.S.; Baskaran, V. Abdominal magnetic resonance angiography: principles and practical applications. Top. Magn. Reson. Imaging 2001, 12, 317-326.
- Pey, P.; Marcon, O.; Drigo, M.; Specchi, S.; Bertolini, G. Multidetector-row computed tomographic characteristics of presumed preureteral vena cava in cats. Vet. Radiol. Ultrasound 2015, 56, 359-366.
- Pérez, A. Hepatología clínica y cirugía hepática en pequeños animales y exóticos. Ed. Servet. Zaragoza. España. 2012.Pag. 29-54
- Raffan, H., Guevar, J., Poyade, M., Rea, P.M. Canine neuroanatomy: Development of a 3D reconstruction and interactive application for undergraduate veterinary education. PLoS One. 2017 Feb 13;12(2):e0168911.

- Roditi, G.; Wieben, O.; Prince, M.R.; Hecht, E.M. MR angiography series: abdominal and pelvic MR angiography. *Radiographics* 2022, 42, E94-E95.
- Rubin, G.D.; Walker, P.J.; Dake, M.D.; Napel, S.; Jeffrey, R.B.; McDonnell, C.H.; Mitchell, R.S.; Miller, D.C. Three-dimensional spiral computed tomographic angiography: an alternative imaging modality for the abdominal aorta and its branches. *J. Vasc. Surg.* 1993; 18, 656-664.
- Rodriguez, K.T.; O'Brien, M.A.; Hartman, S.K.; Mulherin, A.C.; McReynolds, C.J.; McMichael, M.; Rapoport, G.; O'Brien, R.T. Microdose computed tomographic cardiac angiography in normal cats. *J. Vet. Cardiol.* 2014, 16, 19-25.
- Rojo, D.; Vázquez, J.M.; Sánchez, C.; Arencibia, A.; García, M.I.; Soler, M.; Kilroy, D.; Ramírez, G. Sectional anatomic and tomographic study of the feline abdominal cavity for obtaining a three-dimensional vascular model. *Iran. J. Vet. Res.* 2020, 21, 279-286.
- Rojo Ríos, D.; Ramírez Zarzosa, G.; Soler Laguía, M.; Kilroy, D.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Gil Cano, F.; García García, M.I.; Jáber, J.R.; Arencibia Espinosa, A. Creation of three-dimensional anatomical vascular and biliary models for the study of the feline liver (*Felis silvestris catus* L.): a comparative CT, volume rendering (Vr), cast and 3D printing study. *Animals* 2023, 13, 1573.
- Rozear, L. and Tidwell, A.S. (2003). Evaluation of the ureter and ureterovesicular junction using helical computed tomographic excretory urography in healthy dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 44: 155-164.
- Ruberte, J. Sautet, J. *Atlas de Anatomía del perro y del gato* (Vol. 3). 1998. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Sandoval, J. *Tratado de Anatomía Veterinaria*. In Tomo III: Cabeza y Sistemas Viscerales, 2nd ed.; Imprenta Sorles: León, Spain, 2000; pp. 1-457.
- Samii, V.F.; Biller, D.S. and Koblik, P.D. (1998). Normal cross-sectional anatomy of the feline thorax and abdomen: comparison of computed tomography and cadaver anatomy. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 39: 504-511.
- Samii, V.F.; Biller, D.S. and Koblik, P.D. (1999). Magnetic resonance imaging of the normal feline abdomen: an anatomic reference. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 40: 486-490.

- Scavelli, T.D.; Hornbuckle, W.E.; Roth, L.; Rendano Jr, V.T.; De Lahunta, A.; Center, S.A.; French, T.W. and Zimmer, J.F. (1986). Portosystemic shunts in cats: seven cases (1976- 1984). *J. Am. Vet. Med. A.*, 189: 317-325.
- Schaller, O. (1992). *Illustrated veterinary anatomical nomenclature*. 3rd Edn., Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag. PP: 1-614.
- Schwarz, T.; Rossi, F.; Wray, J.D.; Ablad, B.; Beal, M.W.; Kinns, J.; Seiler, G.S.; Dennis, R.; McConnell, J.F. and Costello, M. (2009). Computed tomographic and magnetic resonance imaging features of canine segmental caudal vena cava aplasia. *J. Small Anim. Pract.*, 50: 341-349.
- Shojaei, B.; Vajhi, A.R.; Rostami, A.; Molaei, M.M.; Arashian, I. and Hashemnia, S. (2006). Computed tomographic anatomy of the abdominal region of cat. *Iran. J. Vet. Res.*, 7: 45-52.
- Sisson S.; Grossman J.D. *Anatomía de los animales domesticos* Robert Getty, Tomo II, Ed. 5. Salvat. Barcelona, España. 1982. 1-2302.
- Smallwood, J.E. and George, T.F. (1992). Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: caudal abdomen and pelvis. *Vet. Radiol. Ultrasound.*, 33: 143-167.
- Soler, M.; Carrillo, J.D.; Belda, E.; Buendía, A.; Agut, A. Radiographic, ultrasonographic, and computed tomographic characteristics of an accessory liver lobe in a cat. *Vet. Radiol. Ultrasound* 2019, 60, E29-E32.
- Scrivani, P.V.; Martin-Flores, M.; Van Hatten, R.; Bezuidenhout, A.J. Structural and functional changes relevant to maxillary arterial flow observed during computed tomography and non selective digital subtraction angiography in cats with the mouth closed and opened. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2014, 55, 263-271.
- Spediacci, C.; Longo, M.; Specchi, S.; Pey, P.; Rabba, S.; Mavraki, E.; Di Giancamillo, M.; Panopoulos, I. Computed tomographic appearance of transcaval ureter in two dogs and three cats: A novel CVC congenital malformation. *Front. Vet. Sci.* 2022, 9, 965185.
- Teixeira, M.; Gil, F.; Vázquez, J.M.; Cardoso, L.; Arencibia, A.; Ramirez-Zarzosa, G. and Agut, A. (2007). Helical computed tomography of the canine abdomen. *Vet. J.*, 174: 133-138.

- Torroja, R.N.; Mino, D.D.; Gerlach, Y.E.; Pereira, Y.M.; Restrepo, M.T. Diagnóstico Ecográfico en el Gato; Servet: Zaragoza, Spain, 2015; pp. 1-247.
- Ursic, M.; Ravnik, D.; Hribnik, M.; Pecar, J.; Butinar, J.; Fazarinc, G. Gross anatomy of the portal vein and hepatic artery ramifications in dogs: Corrosion study. *Anat. Histol. Embryol.* 2007, 36, 83-87.
- Vázquez Autón, J.M.; Ramirez Zarzosa, G.; Gil Cano, F.; Latorre Reviriego, R.; Moreno Medina, F.; Lopez Albors, O; Orenes Hernandez, M.; Arencibia Espinosa, A. Atlas de Anatomía Clínica del Perro y el Gato. Ed. Los autores. Murcia, España. 2000; 1-143
- Weatherspoon, K.; Gilbertie, W.; Catanzano, T. Emergency computed tomography angiogram of the chest, abdomen, and pelvis. *Semin. Ultrasound CT. MR.* 2017, 38, 370-383. DOI:10.1053/j.sult.2017.02.004.
- Weisse, C. and Berent, A. *Veterinary Image-guided Interventions.* 2015. Ed. Wiley Blackwell. Ames, Iowa, USA. Pag. 201-260.
- Wang, L.; Li, Q.; Wang, X.M.; Hao, G.Y.; Bao, J.; Hu, S.; Hu, C.H. Enhanced radiation damage caused by iodinated contrast agents during CT examination. *Eur. J. Radiol.* 2017, 92, 72-77.
- Won, W.W.; Sharma, A.; Wu, W. Retrospective comparison of abdominal ultrasonography and radiography in the investigation of feline abdominal disease. *Can. Vet. J.* 2015, 56, 1065-1068.
- Wilhite, R.; Wolfel, I. 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. *Anat. Histol. Embryol.* 2019, 48, 609-620.
- Zwingenberger, A.L.; McLearn, C. and Weisse, C. (2005). Diagnosis of arterioportal fistulae in four dogs using computed tomographic angiography. *Vet. J.*, 46: 472-477.

APÉNDICE

IX. APÉNDICE

Artículo 1


Statistics

Article View: 656

PDF Download: 282

Documents Preprints Patents Secondary documents Research data ↗					
1 document found Analyze results ↗					
☐	All ▾	Export ▾	Download	Citation overview	••• More
				Show all abstracts	Sort by <u>Date (newest)</u> ▾
	Document title	Authors	Source	Year	Citations
☐ 1	Article Sectional anatomic and tomographic study of the feline abdominal cavity for obtaining a three-dimensional vascular model	Royo, D., Vázquez, J.M., Sánchez, C., ...Kilroy, D., Ramírez, G.	Iranian Journal of Veterinary Research , 21(4), pp. 279–286	2020	2
	<a>Show abstract ▾ <a>View at Publisher ↗ <a>Related documents				

Artículo 2

Citations

PMC



3

Crossref



3

PubMed



3

Scopus



3

Web of Science



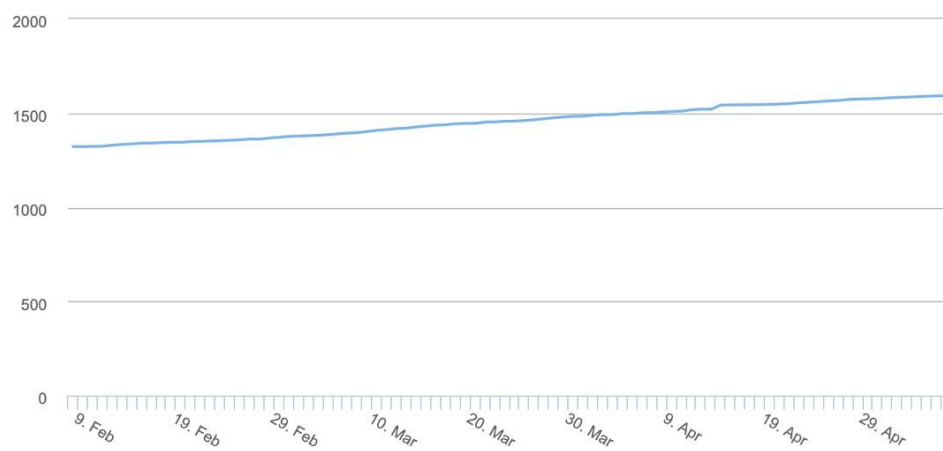
3

Google Scholar

[click to view]

Article Access Statistics

Article access statistics



Artículo 3

Article Access Statistics

