

PROGRAMA DE DOCTORADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMEDICINA

TESIS DOCTORAL

Aportaciones al conocimiento anatómico y Clínico de la cabeza del puercoespín (Hystrix cristata) Mediante Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética Nuclear.

Doctorando

Daniel Morales Bordón

Directores

José Raduán Jaber Mohamad y Mario Encinoso Quintana

Las Palmas de Gran Canaria, 2025



D.JOSE ALBERTO MONTOYA ALONSO, COORDINADOR DEL PROGRAMA DE DOCTORADO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMEDICINA DE LAUNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

INFORMA,

De que la Comisión Académica del Programa de Doctorado, en su sesión de fecha...... tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada, **"Aportaciones al conocimiento anatómico y Clínico de la cabeza del puercoespín (Hystrix cristata)** Mediante Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética Nuclear", presentada por el doctorando D. Daniel Morales Bordón y dirigida por los doctores José Raduán Jaber Mohamad y Mario Encinoso Quintana.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Art^o 11 del Reglamento de Estudios de Doctorado (BOULPGC 04/03/2019) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a......de dos mil veinticinco



D. José Raduán Jaber Mohamad, Doctor en veterinaria y profesor titular de Universidad del Departamento de Morfología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

INFORMA:

Que D. Daniel Morales Bordón, Licenciado en Veterinaria, ha realizado, bajo mi dirección y asesoramiento, el presente trabajo de tesis doctoral titulado: **"Aportaciones al conocimiento anatómico y Clínico de la cabeza del puercoespín (Hystrix cristata) Mediante Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética Nuclear"**, que considero reúne las condiciones y calidad científica necesarias, para su presentación y defensa, para optar al título de Doctor por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.



D. Mario Encinoso Quintana, Doctor en veterinaria, acreditado en Diagnóstico por Imagen, CPCert DI y elective ECVDI

INFORMA:

Que D. Daniel Morales Bordón, Licenciado en Veterinaria, ha realizado, bajo mi dirección y asesoramiento, el presente trabajo de tesis doctoral titulado: **"Aportaciones al conocimiento anatómico y Clínico de la cabeza del puercoespín (Hystrix cristata) Mediante Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética Nuclear"**, que considero reúne las condiciones y calidad científica necesarias, para su presentación y defensa, para optar al título de Doctor por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

ÍNDICE

In	ntroducción	1
0	DBJETIVOS	13
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 1		
	GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA DE LOS ROEDORES	15
	FUNDAMENTOS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC).	29
	Historia de los equipos de TC	30
	Componentes del equipo de TC	35
	Principios físicos	38
	Formación, tratamiento y reconstrucción de la imagen	41
	Medios de contraste en TC	47
	Artefactos en la imagen de TC	47
	ESTUDIOS ANATÓMICOS MEDIANTE TC EN MEDICINA VETERINARIA	51
	Carnívoros domésticos	51
	Ungulados domésticos	57
	Animales exóticos y de vida libre	63
	ESTUDIOS CLÍNICOS MEDIANTE TC EN MEDICINA VETERINARIA	69
	Estudios clínicos relacionados con carnívoros domésticos	69
	Estudios clínicos relacionados con ungulados domésticos	80
	Estudios clínicos relacionados con animales exóticos y de vida libre	85
	FUNDAMENTOS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RM)	87
	Principios físicos	88
	Componentes del equipo de RM	96
	Medios de contraste en RM	98
	Artefactos en la imagen de RM	99
	ESTUDIOS ANATÓMICOS MEDIANTE RMN EN MEDICINA VETERINARIA	102

Carnívoros domésticos103
Ungulados domésticos 107
Animales exóticos y de vida libre 111
ESTUDIOS CLÍNICOS MEDIANTE RMN EN MEDICINA VETERINARIA 117
Carnívoros domésticos 117
Ungulados domésticos 125
Animales exóticos y de vida libre 130
ARTÍCULOS 135
CAPÍTULO 1. ARTÍCULO1 137
CAPÍTULO 2. ARTÍCULO 2 151
CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 3 165
CONCLUSIONES 173
RESUMEN 175
SUMARY 177
BIBLIOGRAFÍA 179

INTRODUCCIÓN.

El orden Rodentia representa el grupo de mamíferos más grande y extenso, abarcando más de 2200 especies divididas en 33 familias, lo que supone más del 40% de todas las especies de mamíferos modernos (Samuelson, 2020; Mancinelli, 2016; Wilson, 2005).

La adaptabilidad a múltiples hábitats y colonización de múltiples nichos ecológicos, hace que nos encontremos ante morfologías, tamaños, hábitos alimentarios, comportamientos, fisiologías y anatomías muy dispares a lo largo de las distintas familias que lo componen. Por ejemplo, los anomaluros y las ardillas voladoras han creado membranas entre las extremidades, que les permiten planear por el aire de un árbol y otro; existen roedores que han evolucionado por separado hacia una morfología cilíndrica, extremidades pequeñas con manos y pies muy desarrolladas y ojos poco desarrollados, adaptados a una vida subterránea, tal es el caso de las ratas topo ciegas o las ratas topo asiáticas, o los geómidos; otros roedores presentan extremidades posteriores aún más largas que les capacitan para saltar, como pueden ser los jerbos, las ratas canguro o las ratas liebre sudafricanas; roedores como ratas almizcleras, el castor, los coipos, las ratas de agua australianas o las ratas cangrejeras, que han evolucionado hacia una anatomía esbelta, membranas natatorias entre las falanges de las extremidades y la cola, pelaje impermeable, ocupando así nichos acuáticos; o los ratones espinosos y los puercoespines del nuevo mundo, que junto a los puercoespines del viejo mundo, familia que ocupa esta tesis, han desarrollado un sistema de defensa frente a depredadores, consistente en un pelaje con espinas, púas y pelos erizados.

El conocimiento de la anatomía de los roedores es esencial para la investigación biomédica y la ecología de la conservación. El estudio detallado de la anatomía permite avances en áreas tan dispares como el desarrollo de nuevos tratamientos médicos, la comprensión de enfermedades, el comportamiento y la etología animal, así como la conservación de la biodiversidad.

La descripción de las regiones anatómicas del orden rodendia ha evolucionado significativamente desde que comenzara con las primeras observaciones empíricas de la antigüedad, hasta los actuales análisis genéticos y estudios de imagen con técnicas avanzadas del siglo XX y XXI, reflejando el avance continuo que la ciencia y la tecnología han experimentado en los dos últimos siglos.

No hay evidencias en la bibliografía de autores antiguos que se hayan centrado exclusivamente en la anatomía de los roedores. Aunque eran conocidos en la edad media, mencionándose en textos de la época como animales que convivían en las poblaciones humanas, no hay evidencias específicas de estudios anatómicos detallados. La anatomía en general era un campo limitado y la disección de animales no era una práctica común.

En el **Renacimiento (siglo XVI)**, con la revitalización del interés por el conocimiento, y por ende por el estudio de la anatomía y la biología, comenzaron a realizarse estudios sistemáticos de diversos animales, incluidos los roedores. Andreas Vesalius, un destacado anatomista de esta época, fue pionero en la realización de disecciones humanas sistemáticas, lo que sentó las bases para el estudio descriptivo y anatómico en el resto de animales.

El estudios de estos animales comenzó con los avances en la anatomía comparada durante los S. XVII, XVIII y XIX.

Durante **Siglo XVII y XVIII** surjen trabajos más específicos sobre anatomía de los roedores. Diversos naturalistas y anatomistas comenzaron a describir con detalle las regiones anatómicas de diferentes especies animales. Un ejemplo de ello, son los trabajos de Marcello Malpighi (1628- 1694), conocido por ellos como el padre de la histología y la anatomía microscópica. Aunque no se centrara exclusivamente en los roedores, sus estudios sobre tejidos animales contribuyeron al conocimiento en general de la anatomía de una gran cantidad de especies, incluyendo entre ellas pequeños mamíferos, semejantes a los roedores.

También en el siglo XVIII, **Carlos Linneo** agrupó taxonómicamente a los roedores en su *Systema Naturae*, basándose en criterios morfológicos, que al igual que sucesivas clasificaciones se basó en la anatomía de la mandíbula y de la musculatura masticatoria. Características morfológicas que han llegado hasta nuestros días para la clasificación de este Orden.

Durante el **siglo XIX**, con el avance de la medicina y la biología, se realizaran descripciones más detalladas de la anatomía del orden rodentia. Científicos como Richard Owen (1804-1892) o Georges Cuvier (1769-1832) contribuyeron significativamente al estudio de la anatomía comparada, incluyendo el estudio de los roedores. En concreto, Cuvier es conocido como uno de los padres de la paleontología y la anatomía comparada. Sus trabajos engloban a muchas especies, y aunque no se centró exclusivamente en los roedores, su trabajo sentó las bases para futuros trabajos sobre anatomía comparada que incluiría a estos animales. Por su parte, Owen fue un anatomísta y paleontólogo británico que realizó estudios detallados de muchas especies animales. Algunos de sus trabajos en anatomía comparada incluye a los roedores.

Ya en el **siglo XX**, con el uso de los roedores como animales de laboratorio, empiezan a aparecer estudios más detallados exclusivamente de los roedores. Los ratones y las ratas, en particular, se convirtieron en modelos cruciales para estudios genéticos, fisiológicos y patológicos. Esto llevó a una comprensión mucho más profunda de su anatomía, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Henry Donaldson (1857-1938) fue uno de los primeros en estudiar específicamente la anatomía y la biología del ratón blanco (*Mus musculus*) en su obra, publicada en 1915 y titulada "The Rat: Reference Tables and Data for the Albino Rat (*Mus Norvegicus*) and the Norway Rat (*Mus Rattus*)". Este trabajo se convirtió en la referencia estándar para el estudio de la anatomía y la fisiología de los roedores de laboratorio.

A día de hoy, la utilización combinada de los métodos de diagnóstico por imagen tradicionales, como son la radiografía o la ecografía, con las tecnologías de vanguardia, como la tomografía computarizada (TC) o la resonancia magnética

3

nuclear (RMN), la microscopía o la genómica, nos brinda una comprensión anatómica integral de los individuos. Estas técnicas adquieren una importancia significativa cuando se trata de individuos de tamaño reducido o constituciones anatómicas no frecuentes, como es el caso de numerosos animales salvajes o de vida libre. La diversidad de la fauna silvestre y la importancia ecológica de estos animales refuerzan el valor de estas técnicas. La diversidad de especies y su papel en los ecosistemas son fundamentales para el equilibrio ambiental, por lo que entender sus anatomías y patologías es crucial para su conservación y la salud del ecosistema en general. Esta importancia adquiere un elevado valor por aportar el conocimiento de las diferentes estructuras anatómicas de una manera no invasiva, y por facilitar la interpretación de las alteraciones anatómicas en el diagnóstico y posterior tratamiento de las lesiones que puedan cursar estos animales.

La radiología tradicional destaca por su bajo coste, su accesibilidad y la facilidad en el procedimiento de ejecución de las pruebas y la rápida obtención de los resultados. Es adecuada para el estudio de las estructuras óseas, sobre todo de huesos largos.

La ecografía, por otro lado, es otra de las técnicas de diagnóstico por imagen frecuentemente empleada, se basa en la emisión y recepción de ondas de ultrasonidos mediante un transductor, y constituye un método de diagnóstico no dañino. Además, es accesible para gran número de centros asistenciales, por su sencilla infraestructura y la rapidez en la obtención y lectura de los resultados. Su aplicación es especialmente interesante en la valoración de tejidos blandos y órganos parenquimatosos.

Los métodos de diagnóstico por imagen avanzado, como la TC, y la RMN, poseen especial relevancia debido a las ventajas que presentan sobre otras pruebas de imagen no avanzadas, tanto para el diagnóstico, tratamiento y pronóstico de numerosas lesiones, como para la descripción de la anatomía de especies animales anteriormente no estudiadas. La posibilidad de obtener secciones corporales desde varios planos tomográficos sin la superposición de estos, proporcionando imágenes con una alta resolución, un gran contraste entre diversas estructuras y muy buena diferenciación tisular permite delinear más detalladamente las estructuras anatómicas y la densidad de tejidos específicos, lo que mejora la capacidad de interpretación. Estas ventajas proporcionan un valor importante para las investigaciones anatómicas de especies de mamíferos domésticos y exóticos.

La TC se basa en la emisión de radiación electromagnética ionizante emitida desde diferentes ángulos alrededor de las estructuras anatómicas a estudiar, obteniéndose así múltiples imágenes que tras procesarlas permiten la reconstrucción de la región en 3D. Su fundamento físico es el mismo que el de los rayos X, pero a diferencia de estos, se obteniene gran número de imágenes. Por otro lado, la RMN utiliza ondas de radiofrecuencia y potentes campos magnéticos para obtener múltiples imágenes detalladas de los tejidos blandos, lo que la hace especial utilidad para examinar el sistema nervioso central. El uso conjunto de ambas técnicas, nos facilita el estudio y la descripción de forma no invasiva, de la anatomía de especies animales que por sus peculiaridades, estos estudios estarían limitados.

El uso rutinario de estos métodos diagnósticos en la medicina veterinaria plantea algunos problemas, como el alto coste económico, el requerimiento de determinadas instalaciones, o la limitación de su aplicación en algunas especies por su volumen o constitución tisular. La microtomografía computarizada (microTC), se presenta como una variante de la TC, la cual usa una determinada fuente de rayos X con enfoque micro-nano. Es ampliamente usada en la investigación científica, y gracias a su resolución se están obteniendo interesantes resultados en el estudio de estructuras de pequeño tamaño.

Pese a estas posibles limitaciones, en la práctica clínica veterinaria los usos de la TC son diversos, ejemplo de ello son los estudios realizados sobre lesiones de columna vertebral (Sharp et al., 1995; Jones et al., 1999; da Costa et al., 2010; Ruoff et al., 2018; Ricciardi et al., 2018), del cráneo (Kaser-Hotz et al., 2002; Dewey et al., 2003; Malinowski, 2006; Drago et al., 2008; de Lucas et al., 2008; Barachetti et al., 2009; Travetti et al., 2010; Motta et al., 2012; Fink et al 2015; Estey 2016; Belmudes

5

et al., 2018; Winer et al., 2018; Arnold et al 2020; Jones et al., 2022), o del sistema nervioso central (Kraft et al., 1989; Hudson et al., 1995; Thomas et al., 1996; Cherubini et al., 2006; Motta et al., 2012; Hyunju et al., 2021); así como a procesos que afectan al ojo y la órbita (Moore et al., 1991; Garosi et al., 2003; Wilfried, 2018). También, en lo relativo al esqueleto (Reichle et al., 2000; Ginja et al., 2009; Murino et al., 2016; Hebel et al 2021), al abdomen (Tidwell et al., 1997; Fife et al., 2004; Head et al., 2005; Zwingenberger, 2009; Terragni et al., 2012; Hoey et al., 2013; Adrian et al., 2015; Miniter et al., 2019; Leel-Harpon et al., 2019; Haverkamp et al., 2019; Tanaka et al., 2019; Tanaka et al., 2021; Russo et al., 2021; Schwarz et al., 2021; Zuercher et al., 2021; Burti et al., 2022); o al tórax (Yoon et al., 2004; Schrarz et al., 2011; Cerquetella et al., 2013; Watton et al., 2017; McGratch et al.2022), y a determinadas patologías osteoarticulares (Van Bree et al., 1993; Widmer et al., 1994; Barret et al., 2009).

Por tanto, las posibilidades de utilización de métodos como la TC y la RMN en la medicina veterinaria son numerosas, y no se limitan al diagnóstico clínico. Los estudios anatómicos realizados sobre especies exóticas y animales salvajes son numerosos, y están permitiendo obtener resultados muy interesantes en lo relativo al conocimiento de la anatomía de estos, resultados que con otras técnicas no sería posible obtener (Arencibia et al., 2000; Banzato et al., 2012; Witkowska et al., 2014; Dagmawi et al., Martínez et al., 2021; 2022; Andrade et al., 2023). De especial interés son los estudios que complementan las imágenes de TC y RMN con cortes anatómicos macroscópicos, permitiendo así una descripción e interpretación más completa de la anatomía (Sánchez et al., 2007; Arencibia et al., 2011; Sucino et al., 2013; Veladiano et al., 2016).

Si nos referimos al puercoespín crestado *(Hystrix cristata,* Linnaeus, 1758), mamíferos sobre los cuales versan los estudios anatómicos de este proyecto de investigación, son escasas las descripciones del sistema nervioso central, y aún más limitados los estudios para tal fin con el uso de tecnologías avanzadas de imagen como la TC y la RMN.

6

El puercoespín crestado, denominado de otras formas como *puercoespín africano*, *puercoespín norafricano* o *puercoespín europeo*, pertenece al orden rodentia, es un roedor histricomorfo, perteneciente a la familia *hystricidae* (puercoespín de viejo mundo), el cual abarca tres géneros, *Hystrix*, Atherurus (puercoespines de cola grande) y Trichys (puercoespines de cola larga). El género Hystrix a día de hoy incluye ocho especies, de las cuales dos son africanas y seis son asiáticas. El resto de puercoespines están incluidos dentro de la familia *Erethizontidae* y son los llamados puercoespines del nuevo mundo.



Figura 1. Clasificación familia hystricidae. Fuente: Elaboración propia

El puercoespín crestado, europeo o norteafricano *(Hystrix cristata),* es un roedor de gran volumen, plantígrado, con globos oculares y pabellones auriculares de pequeño tamaño, con el dorso parcialmente cubierto de púas. El tamaño corporal está entre 57- 68 cm de longitud; con una cola de 5- 13 cm de longitud; y su peso oscila entre 10 y 30 kg. Las hembras suelen tener de dos a tres mamas torácicas por cada lado (Palomo, 2007)



Figura 2. Hystrix cristata. Fuente: wikipedia

Este roedor posee el cráneo, cuello, hombros, extremidades y la parte inferior del cuerpo cubiertos de cerdas gruesas de color negro o marrón. Una de sus características es poseer espinas a lo largo del cráneo, cuello y región dorsal de la columna vertebral, pudiendo elevarse, formando una cresta. A su vez, se identifican púas más resistentes de unos 35 cm de longitud y 1 cm de diámetro, a lo largo de ambos costados y mitad posterior del cuerpo. Estos anejos dérmicos constituyen un sistema de defensa ante depredadores. Las espinas generalmente están marcadas con bandas alternas oscuras y claras. Presenta púas de cascabel al final de la cola, estas púas se ensanchan en el extremo terminal, son huecas y de paredes delgadas, lo que produce un traqueteo parecido a un silbido cuando vibran.

Las extremidades anteriores, que miden 5 cm de largo, tienen cinco dedos con garras bien desarrollados (el pulgar está en regresión), y las extremidades posteriores, que miden entre 10 y 11 cm de largo, tienen también cinco dedos cada una. La región plantar (almohadillas), las premtan desnudas; como animal plantígrado caminan sobre plantas con el talón tocando el suelo. (Yilmaz, 1998; Yilmaz, 1999; Grzimek, 2003;). Este puercoespín se expande desde el oeste de África, en el río Congo, hasta llegar a las costas del Mediterráneo (Marruecos, Túnez, norte de Argelia y Libia), visible frecuentemente en prados con sustrato calizo. A nivel europeo, se extiende en casi todo el territorio de Italia, norte de Grecia y Albania; también se pueden visualizar en Sicilia. En la región de Melilla se han evidenciado un cierto número de individuos próximas al monte Gurugú y en el inicio del Barranco del Río Nano, cercano a Marruecos. A nivel de Ceuta, se han identificado próximos al embalse del Renegado y del Infierno y en la cuenca del Arroyo de Calamocarro, entre los 50 y los 700 metros de altitud. (Cuzin, 2003; Massetti, 2010; Osborn, 1980; Grzimek, 2003). También se han localizado desde el nivel del mar hasta en zonas de 2550 metros de altitud en el anti Atlas marroquí (Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN)

La tendencia de la población de estos animales en Europa es estable, aumentado su número en Italia y expandiéndose hacia el norte en Italia continental, en Sicilia esta especie está muy extendida. En África subsahariana es una especie común en las áreas por donde se distribuye, en el norte de este continente ha habido un descenso en densidad y distribución, estando amenazado en Marruecos y extinguido en Egipto, así como en determinadas zonas de Uganda en donde anteriormente la población era muy densa (Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN).



Figura 3. Dirtribución geográfica del Hystrix cristata. Fuente: iucnredlist

Está muy protegido por la normativa Europea, tanto nacional como internacional, aún así esos animales todavía son cazados furtivamente por su carne, generalmente la caza se realiza con perros. Se encuentra protegida por el Apéndice 10 Il del Convenio de Berna; también incluida en el Anexo IV de la Directiva de Especies y Hábitats de la UE.

Por otro lado, en algunas partes de la geografía por la que se distribuye, se le considera una plaga agrícola, y se le pone cebos envenenados por los daños que causan a los cultivos. A pesar de lo expuesto no se considera que su supervivencia esté en peligro en Europa. En marruecos se usa en la medicina tradicional y en la brujería, pudiéndose encontrar a la venta en mercados locales (Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN).

Por la extensión de su población, a nivel mundial, y aún siendo un alimento para el humano en muchas partes de su distribución, está catalogado como de preocupación menor por la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN.

El puercoespín hábita lugares con alta concentración de matorral, y próximos cauces de riachuelos con caudal continuo (Coppola, 2020), en el mediterráneo habita matorrales secos, estepas, tierras de cultivo en desuso, zonas rocosas secas, así como zonas boscosas. En África vive en zonas forestales y de la sabana boscosa (Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN)

Su alimentación se basa en vegetales, buscando alimentos hozando el suelo. Consume tantos tubérculos como rizomas, bulbos, cortezas, frutas vegetales cultivados o caídos. También puede consumir pequeños vertebrados, algunos insectos y carroña. (Coppola, 2020; Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN)



Figura 4. Puercoespín en su hábitat natural; Fuente: iNaturalist. Autor: thierry_aebischer_chinko

Esta especie es nocturna y discreta, es un recolector solitario, que suele recorrer grandes distancias en busca de alimento. Cuando está bajo amenaza, se enrolla haciéndose tipo bola, sacudiendo las púas y también vibrando la cola, produciendo un sonido muy determinado (matraqueo), a la misma vez que puede acompañarlo de gruñidos y saltos. Suelen vivir en solitario y se resguarda en pequeñas madrigueras, cuevas, agujeros, algunas de las cuales alcanzan una gran longitud de 15-19 metros, y localizadas a un metro y medio de profundidad aproximadamente. Dichas oquedades tienen unas tres salidas (Grzimek, 2003; Palomo, 2007;; Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN).

En sintonía con la actual línea de investigación desarrollada por el HCV-ULPGC y la Unidad de Docencia de anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria de la ULPGC, con la colaboración del parque zoológico "*Rancho Texas*", ubicado en la isla de Lanzarote, se presenta la presente Tesis Doctoral que profundiza en el estudio anatómico de diferentes regiones del cráneo del puercoespín empleando técnicas avanzadas de imagen y cortes anatómicos macroscópicos.

OBJETIVOS

- Estudio de la anatomía normal del sistema nervioso central (SNC) del puercoespín crestado y sus estructuras asociadas, utilizando de forma combinada imágenes de RMN y secciones anatómicas específicas coincidentes, que puedan aportar información útil para la enseñanza de anatomía y la práctica clínica.
- Describir anatómicamente la cavidad nasal y de los senos paranasales del puercoespín crestado mediante TC y secciones anatómicas específicas coincidentes, y verificar las diferencias anatómicas específicas en comparación con otros mamíferos, incluidos los roedores.
- 3. Describir la aplicabilidad clínica de estas técnicas en un proceso de rinosinusitis secundaria a un absceso dental, delimitando anatómicamente el absceso y la extensión del proceso a otras localizaciones como la cavidad nasal y la bulla timpánica.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA DE LOS ROEDORES

El orden Rodentia representa el grupo de mamíferos más grande y extenso, abarcando más de 2200 especies divididas en 33 familias, lo que supone más del 40% de todas las especies de mamíferos modernos. (Wilson , 2005; Mancinelli, 2016; Samuelson, 2020).



Figura 5. Varias especies de roedores que representan los diferentes subórdenes (de izquierda a derecha, de arriba a abajo) *Anomaluromorpha, Myomorpha, Sciuromorpha, Castorimorpha e Hystricomorpha*. Fuente: wikipedia

La posibilidad de adaptación de esta especie a una gran diversidad de ecosistemas y el asentamiento de una gran cantidad de nichos ecológicos, hace que nos encontremos ante morfologías, tamaños, hábitos alimentarios, comportamientos,

fisiologías y anatomías muy dispares a lo largo de las distintas familias que lo componen. Por ejemplo, las ardillas voladores y los anomaluros han desarrollado membranas entre las extremidades, que les permiten planear por el aire de un árbol y otro; existen roedores que han evolucionado por separado, tendiendo a una estructura corporal algo más cilíndrica y redondeada, extremidades de menor longitud, con manos y pies muy desarrollados y ojos poco desarrollados, adaptados a una vida algo más subterránea, como son las ratas topo asiáticas, los geómidos o las ratas topo ciegas; existiendo otras especies que evidencian extremidades posteriores más largas que las anteriores, que les facilitan el salto, como son los jerbos, ratas liebre sudafricanas o ratas canguro; otros roedores como los castores, ratas cangrejeras, coipús, ratas de agua australianas, o ratas almizcleras, que han evolucionado hacia un volumen corporal esbelto, membranas natatorias entre las falanges de las extremidades y la cola y pelaje impermeable, ocupando así nichos acuáticos; o los puercoespines y los ratones espinosos, que han desarrollado un sistema de defensa frente a depredadores, consistente en un pelaje con espinas, púas y pelos erizados.



Figura 6. Puercoespin defendiéndose de un guepardo. Fuente: National Geographic

El tamaño de los roedores también presenta un gran variabilidad, hay especies de muy pequeño tamaño como son los ratones espigueros (*Micromys minutus*), o los

Musminutoides, que pueden pesar menos de cuatro/cinco gramos (Palomo, 2007); o las capibaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), que son los roedores de mayor tamaño a nivel mundial, pudiendo tener una longitud del cráneo a las coxígeas de 100 a 130 cm, pudiendo llegar pesar 50-60 kg. (Pineda 2020; Feldhamer, 2020). El puercoespín crestado pertenece a los roedores de gran tamaño, sus medidas corporales oscilan entre 57-68 cm cráneocaudalmente; cola de 5-12 cm; y un peso de 10-30 kg. (Palomo, 2007).

Las características osteomorfológicas del cráneo, las peculiaridades de la musculatura masetérica, así como los aspectos fisiomorfológicos de los dientes incisivos, determinan los rasgos anatómicos de las especies pertenecientes a este numeroso orden taxonómico.

El anatomía craneal del roedor destaca por un marcado desarrollo del aparato masticatorio que va a determinar su configuración ósea y muscular. (E. Mancinelli, 2016).

En el neurocráneo del puercoespín crestado se observa un hueso occipital con una cresta occipital prominente, e impresiones pontina y medular marcadas.

Huesos parietales ligeramente cóncavos, orientados dorsolateral. Huesos interparietales pequeños, con forma de triángulo. Existe la presencia de la cresta sagital externa.

En los huesos de la base del cráneo se presenta un basiesfenoides cóncavo, con un canal alar largo.

Los huesos temporales presentan una bulla timpánica bien desarrollada.

Los huesos frontales son ligeramente convexos y forma de cilindros. Con un proceso cigomático rudimentario, y agujero supraorbitario inexistente (Yilmaz, 1998)

En cuanto al esplacnocraneo, presenta un hueso nasal grande que se extiende bastante rostral. El arco cigomático tiene un gran desarrollo, característica principal de los roedores, y en concreto en el puercoespín crestado está formado por la apófisis temporal del hueso cigomático o yugal, la apófisis cigomática del temporal y un tercer hueso indeterminado (Yilmaz, 1998)

El *hystrix cristata* posee unas cámaras/senos de aire prominentes en la cabeza, en la maxilar, huesos lacrimales y conchas nasales. Otra función de estos senos se desconoce, sin embargo facilitan la inserción de los músculos masticadores y se sospecha que facilite el olfato de tubérculos enterrados o bulbos. (Grzimek, 2003).

El puercoespín crestado (*Hystrix cristata*) tiene el foramen infraorbitario muy agrandado, característica común a muchos otros roedores histricomorfos (Yilmaz, 1998; Grzimek, 2003).

El cuerpo de la mandíbula es estrecha y larga, con una fosa masetérica extensa, y la fosa pterigoidea profunda (Yilmaz, 1998; Grzimek, 2003).



Figura 7. Craneo del Hystrix cristata. Fuente: Museo de Historia Natural de Toulouse

La musculatura maxilar, tiene una función muy importante en la clasificación de estos individuos. El músculo masetero y el arco cigomático del cráneo, con su gran desarrollo, tienen una disposición anatómica muy distintiva en comparación con el de otros grupos de mamíferos. Se han podido identificar tres capas distintas del músculo masetero (masetero superficial, masetero profundo y cigomáticomandibular), aunque existen inconsistencias en la nomenclatura y los detalles anatómicos. Esta musculatura discurre desde la cara ventral del hueso yugal hasta la cara externa del borde superior de la rama mandibular. Esta musculatura divide el orden Rodentia en tres subórdenes basada en sus diferencias anatómicas y funcionales (Mancinelli, 2016):

- Caviomorpha o Hystrichomorpha
- Myomorpha (roedores parecidos a las ratas o los ratones)
- Sciuromorpha (roedores parecidos a las ardillas).

En los histrichomorfos, la porción superficial del músculo masetero está agrandada (en comparación con myomorphos como la rata y los sciuromorphos como la ardilla), lo que hace que mueva la mandíbula hacia adelante y hacia atrás, mientras que la porción profunda está reducida y aduce la mandíbula, cerrando así la boca. Este movimiento propalino (el movimiento combinado lateral y rostrocaudal; es decir, oblicuo) da como resultado una acción de trituración efectiva por parte de los molares y una acción de roer reducida por parte de los incisivos (Mancinelli, 2016).

Parte del músculo masetero se extienden a través del foramen infraorbitario, gracias al gran desarrollo de este foramen, sale por la superficie frontal del hocico, adhiriéndose a la superficie lateral del maxilar superior, ayudando a dotarlo de una potente mordida (Grzimek, 2003; Yilmaz, 1998).

Todas las especies de roedores tienen 2 dientes incisivos elodontos aradiculares maxilares y mandibulares bien desarrollados (que crecen y hacen erupción continuamente durante toda la vida, que carecen de una raíz anatómica), son monofiodontos (tienen un solo juego de dientes) y simplicidentata (tienen solo un par de incisivos superiores). Los caninos está ausentes y entre los incisivos y los premolares existe una separación provocada por una gran diastemia. (Samuelson, 2020; Mancinelli, 2016)

Los dientes incisivos tienen una superficie oclusal en forma de cincel y están cubiertos por esmalte solo en la cara labial. El esmalte tiene una pigmentación característica de color amarillo anaranjado en la mayoría de los roedores. El resto del diente se aprecia recubierto de dentina o cemento, el cual es más blando, de tal manera que al roer, el roce los incisivos superiores e inferiores desgasta más las caras palatina y lingual, respectivamente, más blandas las labiales, generando así un perfil biselado que resulta ideal para cortar las fibras vegetales (Mancinelli, 2016; Iyera, 2020)

Los molares y premolares de la mayoría de los roedores son anelodontas. Los roedores parecidos a cobayas tienen dentición elodonta completa (los más similares a los lagomorfos), y todos los demás roedores con incisivos elodontos sus muelas anelodontas (Mancinelli, 2016).

El puercoespín crestado (*Hystrix cristata*), posee cinco piezas dentarias en cadarama mandibular: un incisivo, un premolar y tres molares (Yilmaz, 1998; Osborn, 1980; Grzimek, 2003;).

Tal y como se ha expuesto, la morfología de la mandíbula, la configuración del hueso yugal y arco cigomático, la configuración de los músculos maseteros y las características propias de la dentición, son propiedades que determinan la pertenencia de un individuo al orden Rodentia.



Figura 8. Craneo de rata gris. Placa cigomática izquierda marcada. Fuente: wikipedia (Lmalena: trabajo propio)

Uno de los aspectos más descritos en relación a la anatomía y fisiología de la orden Rodentia son las diferencias con los primates, y en concreto con los humanos, debido a su condición como animales de laboratorio. Las peculiaridades más relevantes descritas sobre el cerebro de los roedores, en concreto el de ratas y ratones, en comparación con el de los humanos, son que los cerebros de los roedores son pequeños (aproximadamente 0,4 g en ratones y 2,0 g en ratas), lisencéfalos, es decir que no tienen surcos, circunvoluciones, ni fisuras, y que tienen poca materia blanca. Por el contrario, el cerebro humano, mucho más grande (aproximadamente1.300 g), tiene una organización lobular fácilmente evidenciable desde el exterior, surcos y circunvoluciones prominentes y una extensa sustancia blanca. La única fisura apreciable en los roedores es la fisura longitudinal, que divide los dos hemisferios. Por tanto, es imposible delimitar regiones específicas del cerebro de los roedores basándose en la superficie. (Snyder, 2018)

La otra gran característica descrita en los roedores es la prominencia de los bulbos, que comprenden del 6 al 7 % del peso total del cerebro y tractos olfatorios, que proporcionan el puente hacia el cerebro ventral. Esto se debe a la importancia del olfato como principal modalidad sensorial en los roedores. (Snyder, 2018)

Los humanos, que dependen mucho menos de su sentido olfativo, están equipados con bulbos y nervios olfativos extremadamente pequeños.

Los núcleos cerebelosos profundos de los roedores son relativamente más pequeños y menos definidos en comparación con los de los humanos. A pesar de estas distinciones cuantitativas en la estructura del cerebelo, la calidad de las funciones básicas es similar en los humanos y roedores. (Snyder, 2018)

La mayoría de los roedores son nocturnos, en consecuencia, el sentido de la vista es la menos desarrollada. Por el contrario, el olfato, el oído y el tacto son muy agudos, y está dotados de órgano vomeronasal.

Los histricomorfos presentan unas fosas nasales que suelen tener forma de S, agrandadas, tienen un olfato agudo y órgano vomeronasal como todos los animales pertenecientes al orden Rodentia. El labio maxilar se evidencia hendido y el extremo rostral de la nariz está aplanada y cubierta de pelos aterciopelados, largos bigotes sensibles (vibrisas) en la cabeza. (Grzimek, 2003). Los histricomorfos suelen tener los ojos y orejas pequeños, con un sentido de la vista deficiente pero un sentido del oído agudo, con la mayoría de los roedores. (Grzimek, 2003).

El **sistema musculoesquelético** de las especies pertenecientes al orden Rodentia corresponde, a grandes rasgos, con el de un mamífero cuadrúpedo, con una cierta forma redondeada, patas anteriores cortas y delgadas, con capacidad en muchas de las especies para agarrar objetos; extremidades posteriores un poco más largas y robustas. Son plantígrados, es decir, apoyan toda la palma de las extremidades anteriores y posteriores desde el carpo y desde el tarso respectivamente, apoyándolos en el suelo durante la marcha, y presentan una cola de tamaño variable en función de la especie (Yllera, 2020).

La **columna vertebral** esta compuesta por siete vértebras cervicales, trece vértebras torácicas, seis vértebras lumbares, con número variable de vértebras coxígeas. La morfología de los cuerpos vertebrales difieren según las especies, por ejemplo, las especies que se desplazan corriendo o saltando, presentan las apófisis de las vértebras lumbares de mayor tamaño (Jerome, 2018; Yllera, 2020)

Por su parte, la fórmula vertebra del puercoespín crestado es: siete cervicales, quince torácicas, cuatro lumbares, cuatro sacras y doce coxígeas. Tiene quince pares de costillas, de las cuales nueve son esternales, y las dos últimas flotantes. El esternón presenta seis esternebras y tiene forma cilíndrica (Yilmaz, 1998).

El **esqueleto apendicular** de los roedores se ha desarrollado de forma diferente según el tipo de vida de cada una de las especies.

En general la escápula suele ser estrecha con un acromion largo; en la mayoría de las especies se identifica la clavícula, pero en ciertas especies se encuentra poco desarrollada o no tienen. Las extremidades anteriores se identifican con una marcada separación entre cúbito y radio, facilitando la rotación de la extremidad; la mayoría de las especies poseen cinco dedos y falanges relativamente desarrolladas. En determinadas especies el dedo uno está poco desarrollado o ausente (Jerome, 2018). En el caso del *Hystrix cristata*, comparte estas características, y es una de las especies que presenta cinco dedos, pero sin embargo presenta una escápula ancha, con forma cuadrangular (Yilmaz, 1998).

En la pelvis se observan el isquion prominente y el pubis con rama craneal larga.

La extremidad posterior presenta un fémur que posee tres trocánteres localizados en cabeza y cuello. Tanto la tibia como el peroné se desarrollan conjuntamente en las especies que se desplazan saltando; el peroné no posee ninguna articulación con el tarso. Las extremidades posteriores de los jerbos, evidencian metatarsos alargados, creciendo conjuntamente en algunas especies. Los dedos de dichas extremidades varían entre dos y cinco (Jerome, 2018).

En el puercoespín crestado, el peroné se encuentra fusionado con la tibia en regiones proximales, mientras que a medida que bajamos a regiones distales se articula con la tibia y con el calcáneo; presenta cinco metatarsianos. El puercoespín forma parte de los roedores que no presentan extremidades posteriores extremadamente largas con respecto a las anteriores, en general ambos esqueletos apendiculares son relativamente cortos, a diferencia de otras especies del orden Rodentia que se desplazan saltando (Yilmaz, 1999).

Las diferencias estructurales y fisiológicas que puedan presentar las diferentes especies en el **sistema gastrointestinal** responden directamente a la dieta de los animales. La mayoría de las especies pertenecientes al orden Rodentia son monogástricas, con un estómago simple con áreas glandulares.

En general las especies herbívoras estrictas, como las ratas almizcleras, tienen tejido glandular en todo el estómago, un ciego grande, capaz de digerir la celulosa por el microbioma, y un colon largo permitiéndoles absorber la mayor cantidad de nutrientes. Por otro lado, las especies carnívoras como la rata de agua, alrededor del 70 % del estómago está cubierto por tejido glandular, de color rojizo, mientras que un 30 % es aglandular, de color blanquecino (Samuelson, 2020; Iyera, 2020). Aunque la mayoría de las especies de roedores son monogástricos, existen algunas especies pertenecientes a la familia Arvicolinae, como los lemmings o a la familia Cricetidae como el hámster, que presentan dos cavidades: una sección estomacal

sin glándulas, denominada preestómago o proventrículo en la que desemboca el esófago, y que realiza una predigestión de la fibras vegetales gracias a su riqueza microbiómica; y otra glandular denominada ventrículo que realiza una digestión química. Ambas cavidades están separadas internamente por un relieve llamado pilar, que se corresponde con un surco apreciable externamente. Diversas especies realizan la cecotrofía, lo que consiste en la expulsión de contenido intestinal medios digeridos y los vuelven a comer para realizar una segunda digestión. (Iyera, 2020).

Por hacer mención a una especie del género *hystrix*, el puercoespín sudafricano o del Cabo, perteneciente al mismo género y subgénero del *Hystrix cristata*, presenta un estómago completamente glandular y unilocular. El ciego resalta por su musculatura y pliegues, responsable de la retención selectiva de carbohidratos no digeribles (Barthelmess, 2006).

Los roedores poseen un hígado lobulado, variando el número de lóbulos según la especie. La mayoría de las especies presenta vesícula biliar, aunque la rata carece de ella, por lo que la bilis se excreta al intestino a medida que se segrega. (Samuelson, 2020; Iyera, 2020)

El páncreas es de tipo difuso, es decir, que no se aprecia como una glándula compacta, sino como un tejido disperso entre los mesos (mesoduodeno en el lado derecho y en el omento mayor, sujeto al estómago, en el izquierdo), de tal manera que a veces es difícil distinguirlo del tejido graso de la zona (Iyera, 2020).

En lo relativo al **sistema respiratorio**, la nariz y los senos nasales presentan una anatomía compleja. Factores evolutivos relacionados principalmente con la función olfatoria y la dentición han definido la forma de los cornetes y el tipo y distribución de células que recubren estas estructuras, cuya superficie relativa es muy grande. La forma altamente compleja de los cornetes etmoidales , revestidos predominantemente por neuroepitelio olfatorio en la mitad distal de la cavidad nasal les dota de un olfato muy agudo. Otro aspecto peculiar de estos animales con relación al aparato respiratorio es su incapacidad de respirar por la boca, solo pueden respirar por la nariz debido a la proximidad de la epiglotis al paladar blando. Esta limitación hace extremadamente peligrosas las lesioness que puedan dificultar el transcurso del aire por la cavidad nasal (Halkema, 2018; Yllera, 2020).

La tráquea de los roedores tiene forma de C y contiene entre 15 y 25 (según la especie) anillos cartilaginosos incompletos. En la mayoría de las especies, el pulmón derecho contiene cuatro lóbulos (craneal, caudal, medio y accesorio), mientras que el izquierdo contiene solo uno (Samuelson, 2020).

Respecto al **sistema genitourinario,** es similar al resto de mamíferos euterios, pero con configuración distinta de los genitales.

En lo relativo al aparato reproductor masculino, los testículos de los roedores son peculiares, ya que los machos son criptórquidos facultativos, es decir, que son capaces de introducir los testículos dentro de la cavidad abdominal a voluntad propia, ya que están dotados de un canal inguinal, que atraviesa la pared ventral de la cavidad peritoneal y comunica el interior del abdomen y el escroto. Como consecuencia de este hecho anatómico, los testículos podrán estar en el escroto, en el canal inguinal o dentro de la cavidad. Del mismo modo, poseen un grueso cuerpo adiposo unido al epidídimo, para evitar la aparición de hernias inguinales cuando las gónadas están en el escroto, a este tejido se le denomina anillo inguinal interno (Yllera, 2020)

Otra característica del aparato reproductor masculino de los roedores es la presencia de hueso peneano o báculo (baculum), ubicado en la parte terminal del pene (Yllera, 2020).

En lo referente a la próstata, los roedores poseen tres lóbulos prostáticos pares: uno dorsocraneal (glándula coagulante), otro dorsolateral y otro ventral que se localiza ventral a la uretra. La glándula coagulante está asociada físicamente a las vesículas seminales, segrega la enzima vasiculasa, que coagula el semen eyaculado que queda en la parte más caudal del aparato genital femenino, formando así el llamado tapón vaginal, que es visible desde el exterior tras la cópula (Yllera, 2020).

Otra peculiaridad de los roedores es la existencia de las glándulas del conducto deferente, situadas junto a su terminación, y las glándulas uretrales topografiadas en los cuerpos cavernosos que acompañan a la uretra (Yllera, 2020).

En cuanto al aparato reproductor femenino, la inmensa mayoría de los roedores, menos la cobaya, están dotados de un útero dúplex o doble, cada cuerno desemboca por separado en la vagina, y nunca llegan a fusionarse sus cavidades, por lo que carecen de cuello y cuerpo del útero. La gestación se desarrollará dentro de los cuernos (Yllera, 2020).

En estos animales la uretra desemboca en la superficie corporal mediante un orificio propio de la uretra situado en una elevación de la piel a este nivel denominada papila uretral. Como resultado de esta peculiaridad anatómica, los roedores carecen de vestíbulo vaginal, la vagina se abre al exterior mediante una apertura propia localizada ventralmente al ano y rodeado por la vulva (Yllera, 2020).

El clítoris no se localiza en la comisura ventral y oculto entre los labios, sino que lo tienen en la terminación de la uretra, concretamente en la papila uretral. La cobaya es una excepción, teniendo el clítoris en la parte dorsal de la vulva, ventral al ano (Yllera, 2020).

En muchas especies de roedores la vagina se abre solo cuando el animal está en celo, durante el parto, o cuando los animales cursan con una infección del tracto reproductivo (Samuelson, 2020).

El **sistema cardiovascular** de los animales pertenecientes al Orden Rodentia no difiere del resto de los mamíferos. Presentan un corazón con forma esférica u ovalada, sin surco intervertricular (Buetow, 2018; Samuelson, 2020).

A excepción de la cobaya, presentan dos venas cavas craneales, una derecha y otra izquierda, que desembocan junto a la cava caudal en el atrio derecho, de tal manera que la cava craneal izquierda rodea caudalmente la base del corazón para
poder alcanzar la parte derecha del mismo (2018. Buetow; Yllera, 2020; Samuelson, 2020).

En general tienen una frecuencia cardiaca muy elevada, que según las especies puede variar desde unas 100 a 150 pulsaciones de las chinchillas hasta de 400 a 700 del ratón (Riera, 2007).

FUNDAMENTOS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC).

La TC es un método de diagnóstico por imagen avanzada que permite obtener información detalladas de las estructuras anatómicas del paciente mediante el uso de radiación ionizante. Este método se fundamenta en la rotación de un tubo de rayos X alrededor del sujeto, emitiendo un haz de radiación que atraviesa el cuerpo en diversas direcciones. Una placa de detectores electrónicos, situados en posición opuesta al tubo, registra la radiación recibida, que han atravesado el cuerpo, así como el ángulo de proyección de estos. La información recopilada es procesada matemáticamente por un ordenador, lo que permite calcular la densidad o atenuación de los diferentes puntos del tejido estudiado, de ahí la denominación de "computarizada" (Lattimer, 2020)



Figura: 10. Equipo de tomografía computarizada de 16 detectore del HCVULPGC. Fuente: Mario Encinoso.

Historia de los equipos de TC

El origen en los fundamentos de la TC se remonta a los años sesenta cuando el físico Allan MacLeod Cormack estableciese el desarrollo matemático de esta técnica (Cormack, 1963); posteriormente, el científico G. Hounsfield publica en la revista científica BJ, en el año 1972, la descripción del método diagnóstico TC, consistiendo en el desarrollo de Cormack (Hounsfield, 1973; Bosch, 2004). Desde entonces la evolución de esta técnica de evaluación y la implicación en el diagnóstico médico han evolucionado de forma acelerada.

-Primera generación.

Lo forman los primeros equipos fabricados, continuando el modelo de Hounsfield, que se comercializa en el año 1973. Este primer equipo se denominó EMI Mark I, y lo llevó a cabo EMI Ltd, el cual poseía una matriz de 80x80 pxls. y tenía una duración de 9 hrs. en realizar la valoración de un cráneo humano (Hounsfield, 1980; Beckman, 2006).

Las características técnicas principales de estos primeros equipos son (Hounsfield, 1973; Hernández *et al.,* 1997; Lee *et al.,* 1999; Brosed *et al.,* 2012; Bushberg 2021,):

- Un tubo de rayos X, que producía haz de rayos.
- Un detector localizado en el lado opuesto.
- Combinación de un eje circular con movimiento de rotación/traslación de los dos compuestos anteriormente descritos (Fig.7).
- Utilización de una matrix (80x80 pxls. de 2,4 mm).
- Producción de imagen de 3 bits (8 tonos de grises).

Se necesitaban unos minutos para finalizar un escaneo (5 minutos), siendo útiles únicamente para el estudio del cráneo.



Figura 11. Esquema de un tomógrafo de primera generación. Fuente: Rojo 2020

-Segunda generación.

La evolución de las TCs de segunda generación es que, aunque similares a los d eprimera generación, poseían unos treintena detectores en posición lineal, los cuales emitían un haz de rayos con forma de abanico. (Fig.8)

El estudio finalizaba en menos tiempo, siendo la matriz producida por este tipo de equipos de 160x160 (Kalender, 2006; Bushberg, 2012).



Figura 12. Esquema de un tomógrafo de segunda generación. Fuente: Rojo 2020

-Tercera generación.

Las mejoras de esto tomógrafos con respecto a los de segunda generación se centraron en reducir los tiempos del procedimiento, y la posibilidad de realizar el estudio a toda la anatomía del paciente (Bushong, 1995; Schwarz *et al.*, 2011; Bushberg, 2012):

- Ausencia del movimiento de rotación-traslación, el tubo de rayos X y la placa de detectores eran fijos, rotando a la vez.
- Amplitud del ángulo de haz de rayos, facilitando el escaneo de todo el paciente.
- La capacidad de posicionamiento curvilíneo de detectores y la posibilidad de colimación postprocesado, facilitó mejorar y obtener mayor calidad de la imagen.

El inconveniente de esta generación de tomógrafos fue la aparición de artefactos de anillo, provocados por la relación curvilínea de los detectores y la fuente de rayos X.



Figura13. Esquema de un tomógrafo de tercera generación. Fuente: Rojo 2020

-Cuarta generación.

La cuarta generación de tomógrafos se centró en disminuir los artefactos anulares, para ello empleaba la geometría rotatoria- estacionaria, que consistía en que el tubo de rayos X rotaba entorno al paciente, paro los detectores permanecían fijos y dispuestos en forma de anillo. Su desventaja fue la elevada dosis de radiación que recibía el paciente. Finalmente, esta generación de tomógrafos no haya prevalecido frente a la tercera, que ha imperado con algunas mejoras como la instalación de nuevos hardware y algoritmos que han mejorado sus prestaciones y mejorado los resultados de los estudios (Hsieh, 2009; Schwarz *et al.*, 2011; Bushberg, 2012; Rojo, 2020).



Figura 14. Esquema de un tomógrafo de cuarta generación, se representa el anillo de detectores (en rojo los que se activan al ser irradiados). Fuente: Rojo 2020

La clasificación de la cuarta generación de tomógrafos que ha sido expuesta, es la propuesta por Swarz (2011) y Bushberg (2012). Sin embargo, algunos autores como Ramírez *et al.*, 2008; Espitia *et al.*, 2016; Rojo, 2020, proponen una quinta, sexta y séptima generación de TCs, en base a innovaciones y mejoras en los equipos de TC.

-Quinta generación.

La quinta generación se basó en la introducción de los haces de electrones (electron beam CT), los cuales se disparaban a un objetivo semicircular de tungsteno, produciendo fotones de rayos X que eran detectados por fotodiodos fijos tras atravesar las estructuras anatómicas objeto de estudio.

Estos tomógrafos se emplearon en un principio para estudios cardiacos, principalmente (Agatston *et al.,* 1990; Moshage *et al.,* 1995; Rumberger *et al.,* 1998; Kulkami *et al.,* 2021), aunque su uso no se ha impuesto (Kalender, 2006).

-Sexta generación

Los tomógrafos de sexta generación son los conocidos como **tomógrafos en espiral o helicoidal**, sus características e innovaciones principales son (Schwarz, 2011; Kalender *et al.,* 1990):

- Rotación del tubo de rayos X de forma continua, junto con el desplazamiento del paciente por del gantry.
- Permiten una velocidad de escaneo mucho mayor.
- Se clasifican en función del número máximo de cortes
 - o De corte único
 - o De doble corte
 - o Multicorte

Aparición del "pitch factor": Es la relación que tiene el movimiento del paciente a través del gantry mientras transcurre el giro de 360º con respecto a la colimación del tubo, dando el espesor del corte (Kalender, 2006; Ramírez *et al.,* 2008).

El inconveniente de estos tomógrafos era el sobrecalentamiento si se realizaban cortes más delgados.

-Séptima generación.

Los tomógrafos en séptima generación son los conocidos con el nombre de tomógrafos multicortes o multidetectores (MDCT, Multi-Detector Computed Tomography, o MSCT, Multi-Slice Computed Tomography), y sus dos propiedades a destacar son:

Múltiples líneas de detectores.

Uso de haz con forma de cono (cone-beam)

Emplean geometría de tercera generación, pero gracias a estas innovaciones se permite disminuir la cantidad de rotaciones del tubo (Ramírez *et al.,* 2008; Goldman, 2008; Schwarz, 2011).

Componentes del equipo de TC.

Un aparato de TC se divide en tres sistemas: sistema recolector de datos, sistema procesador de datos y sistema presentador y de almacenamiento de los datos (González *et al.*, 1996; Bushong, 1998; Hofer, 2001).

1.- **Sistema recolector de datos**: está compuesto de diversos elementos esenciales que facilitan explorar el paciente y capturar los datos del estudio. Estos elementos incluyen:

• Gantry o unidad de escaneo: Es la estructura en forma de anillo que alberga el tubo de rayos X, detectores y compuestos de blindaje. En esta unidad, el tubo de rayos X y los detectores están alineados y giran 360 grados alrededor del paciente, quien se encuentra sobre una camilla que atraviesa el gantry por el anillo central o cilindro. El ángulo entre el tubo de rayos X y el plano vertical, es decir, la inclinación del gantry, puede variarse entre -25 y +25 grados para optimizar la calidad de imagen, pudiendo minimizar artefactos (Thrall, 2017; Hermena et al., 2021).

- Generador: Este componente proporciona la energía eléctrica que se necesita para la producir rayos X. Funciona suministrando un alto voltaje (20-150 kilovoltios), determinando intensidad de los rayos X, así como unbajo voltaje, 10 kilovoltios aproximadamente, que favorece la emisión continua de electrones (Zink, 1997).
- Tubo de rayos X: Tubo de vacío y genera la radiación ionizante mediante la producción de un fotón a partir del movimiento de los electrones. Está compuesto por un cátodo (filamento de tungsteno, que emite electrones cuando se calenta), y un ánodo (disco de tungsteno con un objetivo anular, con el nombre de pista focal, que convierte estos electrones en radiación electromagnética. Durante la producción de rayos X, el filamento del cátodo emite electrones mediante un fenómeno conocido como emisión termoiónica, impulsado por la corriente generada por el generador. Dichos electrones son enviados hacia el ánodo debido a la diferencia de potencial entre cátodo y ánodo. Cuando impacta en el punto focal del ánodo, se produce radiación electromagnética. Cabe destacar que una reducción en el tamaño del punto focal del ánodo generalmente se puede mejorar de forma resolutiva la imagen obtenida (Seibert, 1997; Seibert, 2004).

El proceso de producción de rayos X puede llevarse a cabo mediante dos formas principalmente: la radiación característica, donde un electrón expulsa a otro de una capa interna del átomo, y por otro lado, radiación de frenado o Bremsstrahlung, que se produce cuando un electrón libre es desviado por el campo eléctrico de un núcleo atómico. El tubo de rayos X se encuentra en el interior de una carcasa con aceite que lo aisla para disipar el calor y proteger contra la radiación (Hall, 1927; Hermena et al., 2021).

Detectores: Estos dispositivos tienen la capacidad de absorber y a la vez cuantificar los fotones que se generan en el tubo de rayos X, que han podido atravesar el tejido a estudio. Los detectores son capaces de convertir fotones de rayos X en fotones de luz visible, seguidamente transforman esta luz visible en una señal eléctrica, y finalmente procesan la señal y la convierten en una señal digital

que será interpretada por un ordenadordeterminado (González et al.,1996; Bushong, 1998; Hofer, 2001; Hermena et al., 2021).

Principalmente existen dos tipos de detectores: los de centelleo, con un tiempo de desintegración muy rápido, son los más comunes; y las cámaras de ionización, que están menos utilizadas por su menor capacidad de detección (Schwarz et al., 2011).

Colimadores y filtros: Son elementos cuya función es proteger de la radiación X y mejorar la calidad de la imagen, disminuyendo "el ruido de la imagen", que genera una disminución del contraste entre las estructuras. Los colimadores prepaciente, que actúan como diafragma y están ubicados entre el tubo de rayos X y el tejido a estudio, por lo que van a definir la región que será irradiada dando forma al rayo y evitando una dispersión de rayos; por otra parte los colimadores postpaciente, que son como rejillas, están situados entre el paciente y los detectores, optimizan el perfil de sensibilidad del corte dándole una forma rectangular al rayo. Además, se fabrican en materiales absorbentes como el molibdeno. También se utilizan filtros para eliminar la radiación de baja energía. Este tipo de radiación influye en la dosis recibida por el paciente, pero no mejora la señal detectada. Hay dos tipos de filtros: planos, situados entre el tubo de rayos X y el paciente, fabricados generalmente de cobre o aluminio; y los filtro perfilados que atenúan la radiación en la periferia, e incluyen en su composición el teflón (Schwarz et al., 2011; Bushberg et al., 2012).

2.- El **Sistema procesador de datos** se basa esencialmente en un procesador de datos, es decir, un ordenador dotado de un software capaz de reconstruir la imagen mediante cálculos matemáticos. Tal y como se expuso anteriormente, este proceso se realiza a partir de la información captada y a su vez digitalizada por los detectores (González *et al.*, 1996; Bushong, 1998; Hofer, 2001).

3.- El **Sistema de presentación y almacenamiento de datos**, que se compone de un tablero de trabajo y de los discos magnéticos, ópticos y láser.

- **Mesa de trabajo:** Equipo manipulado por el *técnico superior en radiodiagnóstico*, y se compone de teclado y una pantalla de visualización de imágenes. Puede incluir dos consolas o equipos de trabajo; una de ellas funciona directamente con el equipo de TC y con el que se puede configurar los diferentes parámetros de la exploración, monitoreo y garantizar la seguridad del individuo. A su vez, sirve para la regulación y definición de las imágenes obtenidas en el estudio.

- **Discos magnéticos, ópticos o láser**, Facilitan para almacenamiento de las imágenes en formato digital (González *et al.*, 1996; Bushong, 1998; Hofer, 2001).

Los componentes del equipo de TC se distribuyen en distintas zonas (Snopex, 1992):

- El área de exploración, que está aislada radiológicamente e independiente del resto de áreas. Formadas por la camilla, el gantry, material y equipamiento médico.
- El área de control, dotada de una ventana donde se puede visualizar el área de exploración. Dotada de los controles del equipo para llevar a cabo el procedimiento requerido.
- El área donde se localiza el equipo informático.

Principios físicos.

Para abordar la comprensión de los fundamentos físicos y por ende de las bases del procedimiento para el funcionamiento de la tomografía computarizada, es fundamental tener claro los conocimientos de la interacción de los fotones con la materia al atravesarla. En este sentido, se pueden dar dos situaciones, que pasen a través de la materia sin alteración alguna, o experimentar una dispersión o absorción. En el campo de la diagnosis por radiología y la medicina nuclear, las interacciones relevantes de los fotones de rayos X y gamma, son la dispersión de Compton, la dispersión de Rayleigh y la absorción fotoeléctrica.

Dispersión de Compton.

Conocida también como no clásica o inelástica, es la más frecuente de los fotones de rayos gamma y X con los tejidos blandos dentro del rango de energía que se emplea en los procesos de diagnóstico. Estas interacciones generan la colisión de un fotón y un electrón de la capa periférica de un átomo, lo que resulta en la expulsión del electrón y la dispersión del fotón con un ángulo diferente y una energía reducida. Es importante destacar la no dependencia del número atómico de los elementos de la materia, en la probabilidad de que ocurra este hecho, la densidad del tejido es la que va a determinar esta probabilidad. Esta no influencia del número atómico presenta una desventaja en la producción de imágenes radiográficas, y es que los tejidos absorben rayos X de forma parecida, es decir, que grandes diferencias de absorción entre tejidos. Por lo tanto, cuando predomina la absorción de Compton, la imagen resultante puede tener un contraste reducido.

Otro factor a considerar desde el punto de vista de la seguridad radiológica, es que los fotones dispersos generados por la dispersión de Compton representan un riesgo adicional (Thrall, 2017).

Dispersión de Rayleigh.

Conocida también como clásica o coherente, se produce cuando un fotón interactúa con un átomo, y provoca que el campo eléctrico de su onda electromagnética induzca la oscilación en fase de los electrones del átomo en su totalidad. El resultado es que los electrones irradian la energía recibida, en forma de un fotón con una dirección algo diferente pero con igual energía. La calidad de la imagen puede verse comprometida por los rayos X dispersos, lo que puede provocar dificultades en el diagnóstico. Esta interacción ocurre principalmente con rayos X de escasícima energía, por lo tanto la frecuencia de aparición de la misma es escasa en el campo del diagnóstico clínico. La frecuencia de aparición de la

diagnóstico clínico de lesiones en los tejidos blandos, no llega al 5% de las interacciones (Bushberg et al., 2012).

Absorción fotoeléctrica.

Es la interacción más significativa en la generación de imágenes radiológicas. En este caso, el fotón de rayos X es completamente absorbido por el tejido, por lo que no se genera dispersión de rayos X, y la película en esa región anatómica queda poco expuesta a los fotones.

Como consecuencia de la absorción del fotón se produce la expulsión de un electrón de una capa interna de un átomo del tejido, este electrón expulsado se denomina fotoelectrón, y el vacío dejado es ocupado por otro, provocando la ionización del tejido irradiado. La probabilidad de que ocurra esta interacción aumenta proporcionalmente con la tercera potencia del número atómico, lo que aumenta las diferencias de absorción entre distintos tejidos de forma muy amplificada. Esta relación es crucial, ya que permite que la opacidad radiológica de los tejidos sea diferente, dando lugar al contraste en la radiografía, haciéndola así útil para el diagnóstico (Thrall, 2017).

El fenómeno generado por estos mecanismos de interacción es conocido como **atenuación**, y consiste en que el haz de rayos gamma o X se ve reducción en el número de fotones al atravesar un medio material determinado, debido tanto a la a la dispersión como a la absorción en los fotones primarios. Este fenómeno va a verse influenciado por:

El espesor del material absorbente

La probabilidad de que el rayo sea absorbido, expresado en forma de coeficiente: coeficiente de atenuación másico que resulta del coeficiente de atenuación lineal de todos los tejidos atravesados por el rayo y de la densidad y estado físico de los materiales absorbentes El **coeficiente de atenuación másico** es una normalización del coeficiente de atenuación lineal a la unidad de densidad, por lo que es independiente de la densidad (Chen et al., 2006; Bushberg et al., 2012; CSN, 2013).

Formación, tratamiento y reconstrucción de la imagen.

Para entender como se forma la imagen computarizada y poder razonar y manejar la representación de sus datos espaciales y visuales, es necesario comprender tres conceptos fundamentales: **la matriz**, **el vóxel** y **el píxel**. Como si de una fotografía se tratase, las imagenes de tomografía están compuestas por unas unidades individuales, conocidas como píxeles o elementos de imagen, generalmente visualizado como un pequeño punto o cuadrado, se trata de la unidad mínima de la imagen en dos dimensiones, y tendrá distintos valores dependiendo del grado de atenuación de la radiación.

Los píxeles reflejan el contenido de los elementos volumétricos o vóxeles. Es decir, que el vóxel amplía o lleva la representación del píxel de forma tridimensional, permitiendo más detalle y presición en las imágenes de las estructuras (Runge et al., 2022). Cada vóxel ha sido atravesado por radiación de diferente intensidad, por tanto, dependiendo del tejido, tendrá también un valor de atenuación específico.

Por último, la matriz es una representación en el sistema de coordenadas cartesianas, donde los píxeles y voxeles constituyen los datos de una imagen o corte. Las dimensiones de la matriz determinan su tamaño, por ejemplo, si la matriz tiene unas dimensiones de 512x512, existen 512 columnas y 512 filas de elementos, por tanto la imagen la forman conjuntamente estas filas y columnas (Goldman, 2007).



Figura 15. Esquema de una matriz, con los píxeles y vóxeles. Fuente: AVEPA

En otras palabras, la profundidad de los pixeles es el grosor del corte, y este grosor es el vóxel. El coeficiente de atenuación lineal del agua es una normalización de los valores de los vóxeles de la imagen durante la reconstrucción de la imagen por el software, y se mide en Unidades Hounsfield (UH) (Sir Godfrey Hounsfield, Premio Nobel de Fisiología en 1979, por el desarrollo de la tomografía computarizada). Un valor de UH de 0 corresponde al agua, de +1000 a la cortical del hueso y de -1000 al aire. (Véase Figura 16). Así los diferentes tejidos tienen valores UH característicos (Schwarz *et al.*, 2011; Calzado *et al.*, 2010; Aguinaga, 2006). Cualquier estructura o tejido que cause una mayor atenuación de rayos X tendrá un valor de UH positivo, mientras que cualquier estructura o tejido que cause una menor atenuación de rayos X que el agua tendrá un valor de UH negativo. El hecho de que los líquidos y los tejidos blandos se puedan discriminar en función de sus valores de UH confirma la TC tiene mayor resolución de contraste con respecto a la radiografía (Bushberg *et al.*, 2003; Saunders y Ohlerth, 2011).

Estos valores constituyen una escala de grises, así a mayor densidad de los tejidos aparecen brillantes y con valores positivos porque existe mayor absorción de rayos. Sin embargo, a menos densidad aparecen oscuros y con valores negativos (Hounsfield, 1979; Raju, 1999; DenOtter *et al.*, 2023).





Figura 16. Representación de la escala de Hounsfield utilizada para establecer la medida de contraste de los píxeles de una imagen de tomografía computarizada. Fuente: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.

Los 12 bits que suelen tener las imágenes de TC se corresponde con 4096 tonos de grises. Si tenemos en cuenta los de 30 a 90 tonos de grises que es capaz de discernir el ojo humano, necesitamos post- procesar a las imágenes de TC para que estas puedan ser visualizadas, las **tablas de traducción y ventanas** son las técnicas que posibilitan la traducción de los valores de píxeles, es decir que ayudan a ajustar y optimizar cómo se visualizan las imágenes de TC.

Las **tablas de traducción** transforman y optimiza el valor numérico de cada píxel correspondiente una cierta intensidad de imagen, es decir, posibilita qué tan brillante u oscuro se ve. (Schwarz *et al.*, 2011; Bushberg *et al.*, 2012).

Funcionamiento de la tabla de traducción:

- Entrada de valores de píxeles: La tabla de traducción tiene una entrada para cada valor posible del píxel. Por lo que cada uno de estos valores corresponde a un nivel específico de intensidad en la imagen.
- Ajuste de intensidad: Cuando se procesa una imagen, cada valor de píxel pasa por esta tabla. La tabla ajusta o "traduce" este valor a una nueva intensidad que será la que finalmente se mostrará en la pantalla.
- 3. **Conversión a señal analógica**: Después de ajustar el valor del píxel, la tabla de traducción envía este nuevo valor a un convertidor digital a analógico

(DAC), que lo transforma en una señal de voltaje analógica para que se pueda mostrar en un monitor como una imagen visible.

Por otro lado, las **ventanas** son una técnica utilizada para enfocar y mejorar la visualización de ciertos rangos de intensidades de píxeles en la imagen. Esto es crucial porque las imágenes de TC suelen abarcar un rango muy amplio de valores de intensidad, pero no todos esos valores son útiles al mismo tiempo para observar un órgano o tejido específico (Schwarz *et al.*, 2011; Bushberg *et al.*, 2012).

Funcionamiento de las ventanas:

- Nivel de ventana (WL): Parámetro que representa el brillo de la imagen. El nivel de ventana se ajusta para que coincida con la intensidad más común del órgano o tejido que se desea observar. Si el nivel de ventana está ajustado correctamente, el nivel de brillo u oscuridad de la imagen será el adecuado para que el tejido de interés se vea claramente.
- 2. Ancho de ventana (WW): Este parámetro determina el contraste, es decir la diferencia que existe en la imagen entre las áreas oscuras y claras. El ancho de ventana debe ajustarse para que abarque el rango de intensidades del órgano o tejido que se está visualizando. Un ancho de ventana más pequeño de lo necesario aumenta el contraste, haciendo que las diferencias entre tejidos sean más pronunciadas, mientras que un ancho de ventana más grande reduce el contraste, visualizándose todos los tejidos con poca diferencia entre los oscuros y claros.

La elección correcta del nivel y ancho de ventana es fundamental para que el radiólogo pueda interpretar la imagen tomográfica de manera precisa, permitiendo distinguir detalles específicos del órgano o tejido que se está analizando.

En base a lo expuesto, en la TC la reconstrucción de las imágenes se basa en la asignación de un valor de atenuación a cada vóxel, que es la unidad tridimensional de la imagen. Este valor de atenuación es dependiente de las características de los 44 tejidos que son atravesados por los rayos X, produciéndose interacciones en función del tipo de tejido, como el **efecto fotoeléctrico** y la **dispersión**. Estos valores reflejan cómo diferentes partes del cuerpo absorben o desvían la radiación de forma diferente, permitiendo así la creación de una imagen detallada del interior del cuerpo.

La reconstrucción de las imágenes en TC, tras la exposición de los tejidos a los rayos, puede llevarse a cabo utilizando **métodos analíticos** o **métodos iterativos**. Cada método tiene sus propias características y aplicaciones, y ambos necesitan de desarrollos matemáticos complejos para lograr una representación precisa de los tejidos estudiados.

Métodos Analíticos

Es uno de los métodos más ampliamente utilizados en la reconstrucción de imágenes de TC. Se basa en el uso de fórmulas matemáticas para procesar los datos de proyección obtenidos durante el escaneo. Este método, usa dos técnicas principales:

• Retroproyección:

Es una técnica básica en la que se proyectan los datos obtenidos desde diferentes ángulos de vuelta en el espacio de la imagen. Tiene la desventaja de que por sí sola puede generar imágenes borrosas, porque acumula las proyecciones sin aplicar ningún tipo de filtrado.

 Retroproyección Filtrada (Filtered Back Projection, FBP): La FBP es una evolución de la retroproyección básica, ya que aplica un filtrado matemático a los datos de proyección antes de la retroproyección, de tal manera que elimina el desenfoque y mejorar la nitidez de la imagen final. Esta técnica ha sido durante muchos años el estándar en la reconstrucción de imágenes de TC, por su capacidad para generar una alta calidad en las imágenes de forma rápida y efectiva.

Métodos iterativos

Los **métodos iterativos** emplean procedimientos más avanzados, combinando técnicas algebraicas y estadísticas para mejorar la calidad de la imagen. Estos métodos funcionan a través de un procedimiento de refinamiento continuo. Comienza con una imagen preliminar, que se genera mediante un enfoque simple como la retroproyección. Luego, esta imagen inicial se compara con los datos reales obtenidos del escaneo, analiza las diferencias entra ambas y ajustar la imagen, el proceso de ajuste se repite muchas veces mejorando la precisión de la imagen, hasta que las diferencias entre la imagen calculada y los datos reales son mínimas.

Aunque los procesos iterativos son computacionalmente más intensivos y requiere más tiempo de procesamiento, ofrece ventajas significativas, como una mejor calidad en la imagen y por tanto, la posibilidad de reducir la dosis de radiación. Esto hace que sean especialmente útiles en aplicaciones donde la precisión es crucial o donde se debe minimizar la exposición del paciente a la radiación.



Figura 17. Aplicación de forma sucesiva de retroproyecciones filtradas en diferentes ángulos. Fuente: Dance et al., 2014.

Medios de contraste en TC.

En determinados estudios radiográficos de tomografía computarizada requieren el uso de compuestos químicos con función de contraste que posibilita tanto realce en la diferencia entre los órganos en la imagen y los distintos tejidos, sino realizar una valoración de la funcionalidad de estos. Son especialmente interesantes en el estudio de la funcionalidad cardiaca (Méndez *et al.,* 2010).

Un factor a tener en cuenta en este tipo de técnicas son las reacciones adversas de los compuestos empleados. Para minimizar estar reacciones se debe emplear los compuestos que alcanzan mayor concentración tisular con las menores reacciones adversas posibles. (Thomsen *et al.*, 2006).

La clasificación de los contrastes se hace en función a la composición del contraste, el tipo de imagen que genera y la vía de administración. Los más usados en función de su composición química son los compuestos yodados, que generalmente se administran por vía intravenosa, y que tienen el triyodinato de benceno como molécula principal (Prieto-Rayo *et al.*, 2014). Según la osmolaridad que presenten se dividen en iónicos y no iónicos (Isolabella *et al.*, 2008):

- Ejemplo de contrastes iónicos: ioxitalamato de meglumina; ioxaglato de meglumina.
- Ejemplo de contrates no iónicos: iobitridol, ioversol o el iopamidol

Artefactos en la imagen de TC.

En las imágenes resultado de estudios de tomografía computarizada, como consecuencia de un error de correspondencia entre los valores de atenuación reales de la región explorada y la imagen reconstruida, en ocasiones pueden presentar alteraciones que dificultan o interfieren en su correcta interpretación.

Según su forma de percepción diferenciamos entre los errores cuantitativos y los cualitativos (Al-Shakhrah *et al.,* 2003; Schwarz, 2011; Boas *et al.,* 2012):

- Errores cuantitativos: no son perceptibles, por lo que la imagen es normal.
 Son consecuencia de errores de atenuación incorrectas.
- Errores cualitativos: son perceptibles en la imagen, y ejemplo de ellos pueden ser formas de anillos, rayas o rayas negras y blancas superpuestas.

Según su origen diferenciamos cuatro grandes tipos de artefactos (Barrett *et al.,* 2004):

- Artefactos relacionados con fenómenos físicos.
- Artefactos relacionados con el paciente.
- Artefactos relacionados con el tomógrafo.

Artefactos relacionados con fenómenos físicos:

Endurecimiento del haz de rayos. En función de la homogeneidad de la sección que esté atravesando el haz, estos artefactos aparecen en la imagen como:

- Cupping en objetos uniformes
- Bandas oscuras o rayas en secciones muy heterogéneas

Por efecto de la modificación en el perfil de atenuación, se produce la absorción selectiva de los fotones de menor energía del haz a medida que este atraviesa la región anatómica, lo que conlleva un incremento en su energía media. Los tomógrafos de última generación incorporan filtros metálicos a la salida del haz y aplican algoritmos de corrección matemática en la curva de atenuación con el fin de mitigar la aparición. (Boas *et al.,* 2012; Dillesenger *et al.,* 2012).

Volumen parcial. En este caso se generan por la existencia en el espesor del corte de dos densidades, de tal forma que intensidad del píxel dentro del vóxel resultará de un promedio de ambas. Realizando cortes más finos se puede reducir la aparición de este artefacto (Dillesenger *et al.,* 2012). **Photon Starvation**. En la imagen aparecen como rayas en la imagen, siendo consecuencia de una reducción en la cantidad de protones que llega a los detectores despues de atravesar regiones muy atenuantes.

A priori este tipo de artefactos se podría paliar aumentando la corriente del tuno de rayos X, con el consecuente efecto secundario de un aumento en la dosis irradiada al paciente. Los tomógrafos de ultima generación poseen diferentes alternativas para paliar este tipo de artefactos (Barrett *et al.*, 2004).

Aliasing. Como consecuencia de una frecuencia de muestreo más baja de lo necesaria que genera una pérdida de información, apareciendo rayas finas en la imagen que irradian el borde de una estructura densa (Schwarz, 2011).

Artefactos relacionados con el paciente:

Artefactos de movimiento. En la imagen aparecen como formas diferentes: bandas blancas y negras, manchas, distorsión... y en veterinaria son consecuencia de movimientos involuntarios del paciente del paciente, como pueden ser los movimientos respiratorios o cardiacos, ya que se realizan bajo sedación. Para paliar estos artefactos debemos sincronizar la ejecución de los procedimientos con los movimientos involuntarios del paciente (Tarver *et al.,* 1988; Hofer, 2008).

Materiales metálicos. En la imagen se muestran como bandas, y son consecuencia de la existencia de objetos metálicos, como pueden ser prótesis, implantes u otros dispositivos médicos alojados en el cuerpo del animal, estos objetos causan artefactos de atenuación por la aparición de un halo de falsa absorción alrededor de la estructura.

La solución para evitar estos artefactos es retirar el objeto metálico cuando es posible; y cuando no se puede retirar se soluciona aumentando el número de proyecciones y la angulación del gantry (Sartori *et al.*, 2015).

Proyección incompleta. Se genera por el escaneo de una región anatómica que no es de interés, y como consecuencia se genera este artefacto, ya que el ordenador 49 no recibe suficientes datos para componer la imagen. Una de las opciones para evitar estos artefactos es la adecuada colocación del paciente es (Barrett *et al.,* 2004).

Artefactos relacionados con el tomógrafo:

Artefactos de anillo. Esta generado por la descalibración de algún detector en un TC multidetector en espiral y se produce una lectura errónea de la posición angular. Se previene calibrando el equipo periódicamente (Artul, 2013).

Artefactos helicoidales y multisección. Se produce en el transcurso de la reconstrucción de la imagen (Veikutis *et al.,* 2015).

ESTUDIOS ANATÓMICOS MEDIANTE TC EN MEDICINA VETERINARIA.

La revisión bibliográfica de las publicaciones más significativas relacionadas con la TC en medicina veterinaria, focalizándonos en la región de la cabeza, tanto del esplacnocráneo como del neurocráneo, y la región del cuello. Así, hemos revisado los distintos órdenes o especies de animales en función de la fecha de publicación. La cronología ve desde el inicio del uso de esta técnica en la segunda mitad del siglo XX, hasta llegar al tiempo actual.



Figura 18. Estudio anatómico mediante tomografía computarizada de un *Hystrix cristata*, mediante un equipo de 16 detectore del HCVULPGC. Fuente: Equipo de investigación del Servicio de Radiología del HCV-ULPGC.

Carnívoros domésticos.

Las publicaciones relacionadas con la anatomía del **neurocráneo** de los carnívoros domésticos se centran en el **perro** (*Canis familiaris*) y el **gato** (*Felis silvestris catus*) en la mayoría de los estudios encontrados. Esto puede ser debido a la importancia que estas especies de animales tienen en la medicina veterinaria.

Schlaaf en 1962 obtiene las primeras imágenes tomográficas de la región de cráneo en una perro. Llama la atención que lo hiciera antes de la publicación de la descripciónde la técnica por parte de Sir Godfrey Hounsfield en la década de los setenta.

Al poco tiempo, en el año 1964, Finkgraf escribe uno de los primeros artículos que compara el cráneo del perro por TC y radiografía.

No obstante, hasta la siguiente década no se implanta la técnica medicina humana y de forma simultanea se hace en medicina veterinaria. Ejemplo de ello son los trabajos descriptivos relacionados con el cráneo del perro, elaborados por Pozzi y Trucchi en 1973, y el atlas de radiología y tomografía de la cabeza del perro, de Hamond, en 1977.

En la década de1980 destacan los estudios de dicha región anatómica de Zook et al., los cuales agregaron la región del cuello y compararon con cortes anatómicos, realizando una descripción más detallada. Así mismo Tipold (1991), Fike et al. (1981a) y Kaufman et al. (1981), centran sus respectivos estudios en la anatomía del cerebro del perro.

Burk et al en el año 1992 realizan un estudio con TC donde incluyen una muestra de cien perros y analizan diversas patologías nasales. En este mismo año George *et al.* describen el cuello y la cabeza de perros mesaticefálicos mediante TC.

Sobre la especie felina, Losonsky et al. en esta misma década, en el año 1997 publica un artículo sobre la cavidad nasal, obtuvo imágenes de TC de la cavidad nasal y los senos paranasales felinos de gatos adultos normales. Obtuvo una buena resolución y detalles anatómicos de las imágenes de TC utilizando el formato de tejido blando

Ya en el nuevo milenio, Rycke et al. en el año 2003, mediante TC y RMN estudia los senos paranasales y las cavidades nasales normales de perros mesaticefálicos, concluyendo que la TC y la RMN proporcionan un medio adecuado para la evaluación consistente de todas las estructuras de los senos frontales y las fosas nasales, constituyendo técnicas que podrían ser útiles para la evaluación de enfermedades que afectan la región nasal.

Tyson et al. (2005) realizan una descripción con mediciones de la glándula pituitaria del gato.

Schwarz y Saunders en el año 2011 publican el libro *Veterinary computed tomography*, que contiene una descripción de la anatomía de distintas regiones corporales del perro y el gato. Constituye una guía práctica para los veterinarios. Proporciona una base sólida de la tecnología de la TC, describiendo los principios físicos subyacentes, así como los diferentes tipos de escáneres. El libro también incluye principios del examen de TC, como orientación sobre el posicionamiento y cómo lograr una buena calidad de imagen.

Otro libro referencia, publicado en la primera década del segundo milenio es el atlas publicado por Wisner en el año 2015, en el que se combinan estudios de TC y RM en pequeños animales. Este atlas está muy bien organizado, yendo al grano y conteniendo abundante información sobre la anatomía y además de la mayoría de los procesos patológicos mayores y menores, con gran cantidad de imágenes de CT/MR.

Así mismo Micheau et al en el 2016 publica módulo de anatomía veterinaria, nuevas herramientas consistente en un atlas interactivos online (IMAIOS), con descripciones anatómicas de secciones de TC, Rayos X, RM del cráneo y la cabeza del perro (huesos y músculos del cráneo y cabeza, cara y senos, y cerebro).

Recientemente, en el año 2018 el profesor emérito de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, Donald E. Thrall, publica el libro *Veterinary diagnostic radiology*, que contiene una gran cantidad de aportaciones a la anatomía fisiológica de los perros y gatos a través de la TC y de otras técnicas de diagnóstico por imagen.

Abumandour et al, en el año 2022, estudiaron mediante TC y cortes anatómicos y microcopía electrónica, los cornetes nasales del perro pastor de Anatolia.

Y de nuevo Donald E. Thrall junto a su equipo publica en el 2022 el Atlas of Normal Radiographic Anatomy and Anatomic Variants in the Dog and Cat-E-Book, donde aúna técnicas de radiografía y TC y radiografía.

El uso de la TC en la medicina veterinaria ha sido clave para el avance en el estudio anatómico de los **órganos de los sentidos**. En este sentido, en relación a las estructuras orbitarias y oculares, de los primeros estudios fue el realizado por Fike et al. (1984a), quienes utilizaron la TC para describir la anatomía normal de la órbita y el ojo de la especie canina.

En años posteriores, Barthez et al. (1996) aplicaron la TC en otra región anatómica relacionada con los órganos de los sentidos, centrando su estudio en el oído medio de los perros. Su trabajo describe las estructuras normales de esta cavidad y demostró el valor de la TC para el análisis anatómico preciso del oído, proporcionando una base sólida para estudios diagnósticos futuros. Posteriormente, Boroffka et al. (1999) retomaron el enfoque sobre la anatomía ocular y orbitaria en perros, utilizando también la TC para explorar la morfología de estas estructuras y reafirmando su utilidad para el diagnóstico de enfermedades oftalmológicas, tal y como habían hecho Fike et al en 1984.

Russo et al en el año 2002, ampliaron el objeto de estudio de la TC incluyendo el oído interno junto con el oído medio en perros. Permitiendo una mejor comprensión de la anatomía auditiva interna del perro. En esta misma línea, Defalque et al en el año 2005, llevaron a cabo un estudio específico en en perros mesaticefálicos, para medir el volumen del oído medio mediante TC, estableciendo parámetros de normalidad anatómica y facilitando la identificación porterior de lesiones.

El desarrollo de técnicas más avanzadas, como el uso de contraste, permitió a Cole et al, en el 2007, evaluar con mayor detalle el conducto auditivo de perros mesaticefálicos, obteniendo una visualización más precisa de esta estructura en condiciones normales y alteradas. Un año después, Eom et al, usaron la "otoscopia virtual", una aplicación innovadora de la TC que permitió obtener imágenes detalladas del oído medio canino de forma no invasiva, marcando un avance significativo en el diagnóstico otológico. Otro equipo que estudio la anatomía ocular fuero Salgüero et al, quienes en el 2015 realizaron un análisis morfométrico del ojo del perros mediante TC. Aportaron mediciones detalladas de las estructuras intraoculares, proporcionando valores de referencia útiles para futuras evaluaciones oftalmológicas. De manera similar, Chiwitt et al, exploraron en el 2017, la biometría ocular en diferentes razas de perros, analizando las variaciones anatómicas entre ellas, aportando información clave para la investigación comparativa en la oftalmología veterinaria.

Chandrakumar et al. (2019) centraron este tipo de estudio a los gatos, presentando mediciones detalladas de las estructuras intraoculares felinas mediante TC, lo que estableció parámetros útiles para su uso posterior en el diagnóstico de patologías oculares de esta especie. Más recientemente, Taher et al. (2022) se enfocaron nuevamente en perros, proporcionando un análisis detallado de las dimensiones intraoculares y orbitarias mediante TC, consolidando así la importancia de esta técnica para la evaluación diagnóstica en oftalmología veterinaria.



Figura 19. Estudio de medidas oculares en TC, con ventana tejidos blandos, en plano transversal. Fuente: Taher et al. (2022)

Por último, citando de nuevo a Micheau et al. (2023) es importante señalar que en su recurso educativo interactivo en línea (IMAIOS), incluye la anatomía detallada del hueso temporal y del oído medio e interno en perros, contribuyendo a la enseñanza de la anatomía y a la comprensión de estas complejas estructuras mediante un módulo de fácil acceso para estudiantes y profesionales.

La TC a jugado un papel relevante en las investigaciones sobre la anatomía del **cuello** en los carnívoros domésticos, aunque muchos estudios integran esta región 55

con otras estructuras anatómicas. Uno de los primeros trabajos relevantes fue el de Fike et al en 1980, sobre la anatomía de la cabeza y el cuello. De forma parecida, en el año 1992 George et al. también abordaron la anatomía de la cabeza y el cuello mediante TC, dando un enfoque integral que sentó las bases para investigaciones posteriores en esta región.

A partir de la primera década del 2000, el estudio anatómico de los órganos específicos de la región cervical creció. Drost et al, en el 2004, estudiaron con TC la evaluación de la glándula tiroides en perros, describiendo ampliamente su anatomía y funcionalidad. En la misma linea, Taeymans et al. en el 2008, siguieron investigando la glándula tiroides en perros, redundando la importancia de esta técnica, en este caso para el diagnóstico de patologías endocrinas. Asimismo, Kara et al. en el 2004, describieron con TC, la anatomía de la tráquea en perros, aportando una mejor comprensión de la morfología de esta región; mientras que Lim et al, ya en el año 2018, realizaron un estudio adicional sobre la tráquea canina, aportando más datos sobre esta estructura.

En el año 2002, Rivero mediante TC hace un estudio amplio,con un estudio integral del abdomen caudal, la cavidad torácica y cuello a través de TC, ofreciendo una visión más holística de las relaciones anatómicas en estas regiones. Por su parte, Gómez et al. (2004) llevaron a cabo una venografía por TC de la región del canal vertebral cervical en perros, aportando una descripción detallada de la anatomía vascular en estas regiones anatómicas.

Kneissl et al, en el año 2007 combinando las técnicas de plastinación, con la TC evaluan los linfonodos cervicales y craneales normales del perro, y aportan datos anatómicos relevnates sobre estos tejidos linfáticos en estos carnívoros. Más recientemente, Tobón et al. en el año 2021, utilizaron la TC y la ecografía para evaluar la anatomía de los linfonodos de las extremidades anteriores, de la cabeza y del cuello, en gatos sanos adultos. Ya en el año 2022, Belotta et al, se centraron en la descripción en perros sanos de los linfonodos retrofaríngeos mediales y mandibulares.



Figura 20. Tomografía computarizada (TC) en el plano transversal de rostral a caudal. Fuente: Belotta et al (2022)

Ungulados domésticos

En este apartado se muestra una relación de los estudios más relavantes de TC relacionados con las regiones de la cabeza y órgano de los sentidos, y cuello de los ungulados domésticos: la vaca (*Bos taurus*), la cabra (*Capra aegagrus hircus*), la oveja (*Ovis orientalis aries*), el camello (*Camelus dromedarius*), los suidos (*Sus scrofa domestica*) y el caballo (*Equus ferus caballus*).

En el **Caballo**, la región de la **cabeza** y estructuras adyacentes es la región sobre la que versan la mayoría de los estudios anatómicos a través de la TC en esta especie.

En 1995, Dik realizaó una descripción de la cabeza del caballo mediante tomografía computarizada, descripción que sirvió posteriormente para el estudio de lesiones de esta región anatómica en esta especie en el campo de la medicina veterinaria. Posteriormente, en el año 200, Morrow et al ampliaron estos conocimientos con su publicación sobre la anatomía de la cabeza equina mediante imágenes de tomografía computariazada.

Por su parte, Smallwood et al. (2002) desarrollaron un atlas anatómico en el que se describía el cráneo de potros mediante TC, ofreciendo una herramienta clave para la interpretación precisa de esta región en equinos jóvenes. Solano y Brawer (2004) continuaron esta línea de investigación, detallando las consideraciones técnicas y anatómicas de la TC en la cabeza equina, además de documentar enfermedades comunes detectables mediante esta técnica.

De manera complementaria, estudios como los de Sasaki et al. (1999) y Marvá (2001) se enfocaron en las trompas auditivas, proporcionando información relevante sobre estas estructuras.

En 2015, Cabrera et al. realizaron un estudio específico sobre el cerebro de potros neonatales mediante TC, lo que permitió profundizar en las características anatómicas normales y en la detección temprana de anomalías. Ese mismo año, Gonçalves con su equipo de investigadores, mediante TC y RM describieron los nervios craneales y los forámenes del cráneo, aportando detalles anatómicos fundamentales para su uso en el diagnóstico de lesiones neurológico.

En cuanto a las cavidades nasales y senos paranasales, investigaciones como las de Kaminsky et al. (2016), De Zani et al. (2010) y Probst et al. (2005) utilizaron TC para describir minuciosamente estas áreas, mejorando la comprensión de patologías respiratorias y sus tratamientos.

Finalmente mencionar a McKlveen et al. (2003) que mediante TC realizaron mediciones de la glándula pituitaria en caballos, subrayando la utilidad de esta técnica en la identificación de alteraciones endocrinas.

Los trabajos relacionados con los **órgano de los sentidos**, se destaca como objeto de estudio la anatomía del ojo y la órbita. Como ejemplo, D'Aout et al en el año 2015, usaron la TC y RMN para elaborar un atlas anatómico de los ojos de los équidos, detallando las estructuras anatómicas oculares de los caballos, y ofreciendo una guía fundamental para el diagnóstico de enfermedades oculares. Este trabajo fue complementado posteriormente por Hollis et al. en 2019, que realizaron mediciones del órgano ocular del equino adulto mediante TC, estos datos cuantitativos de los ojos son fundamentales para detectar y valorar anomalías. Continuando con los órganos del los sentidos, Blanke et al en el año 2016, se centran en la bulla timpánica, la membrana timpánica y en el canal

auditivo externo, estos utilizan la TC para describir las características de estas regiones anatómicas en caballos. Esta descripción contribuyó a mejorar la comprensión de la anatomía auditiva equina, para su uso en el reconocimiento de lesiones.

Por su parte, Sleutjens et al en el 2014, estudian la en la **región del cuello**, la columna cervical equina mediante la comparación de imágenes de RM y TC con cortes anatómicos en los planos sagital, dorsal y transversal. De igual forma que otras estudios anatómicos, permitió establecer una base de referencia anatómica detallada para identificar y valorar lesiones en estas regiones del caballo.

Finalmente, el aparato hioideo fue el objeto de estudio de Hartl et al, que en el año 2021, compararon imágenes de TC, micro-TC e histología para describir la anatomía de esta estructura.

Este tipo de descripciones proporcionan una perspectiva más profunda sobre la morfología y funcionalidad de estas regiones anatómicas.

En **suidos** el uso de la TC ha estado asociado no solo en el contexto de la medicina veterinario, sino también al uso de estos animales como modelos de experimentación.

Citar los estudio de Todo y Herman (1986) quienes utilizaron la TC de alta resolución para estudiar los pulmones del cerdo, concluyendo que la TC es una herramienta no eficaz para la descripción anatómica de las estructuras pulmonares. Desde el punto de vista de la investigación médica humana, este trabajo resalta la importancia de la TC como herramienta no invasiva para evaluar lesiones del tejido pulmonar humano, pudiéndose aplicar tanto en la investigación general, como en estudios preclínicos.

Posteriormente, Probst et al (1998) caracterizaron de forma no invasiva, el páncreas de los cerdos utilizados en estudios médicos experimentales, mediante el uso de TC. Lo que les permitía la comprensión de la anatomía pancreática de los suidos, para su uso modelo animal en investigaciones sobre lesiones pancreáticas, tanto en suidos como en humanos.

En el mismo año, Shryock et al (1998) compararon la morfometría de los cornetes nasales obtenidos mediante la TC y mediante otras técnicas visuales. Este estudio destacó la superioridad de la TC en la obtención de imágenes detalladas de la región anatómica de la cavidad nasal, ayudando a la anatomía comparada con otras especies y demostrando su utilidad para estudios de las áreas respiratorias y olfativas.

Merece mencionar en este apartado determinados estudios que emplean la TC para evaluar características productivas tales como la composición del canal y la distribución de la grasa en suidos. Kolstad (2001) estudió la deposición y distribución de grasa en tres grupos genéticos de cerdos mediante TC, revelando diferencias genéticas significativas en la disposición de los depósitos grasos. Giles et al. (2008) analizaron el crecimiento diferencial de los tejidos en cerdos con TC, mostrando cómo esta técnica proporciona una visualización detallada del desarrollo anatómico. Carabus et al. en el 2011 emplearon la TC para estudiar la composición corporal en cerdos cruzados de 30 kg. Y en el 2015 este mismo equipo de investigación evaluó mediante TC la canal de cerdos de tres cruces comerciales, mejorando la precisión en la estimación de tejido magro y graso. Gjerlaug-Enger et al. (2012) también usaron la TC para estudiar la eficiencia de crecimiento de tejidos en cerdos de las razas Landrace y Duroc, identificando parámetros genéticos que influyen en la producción. Finalmente, Font-i-Furnols et al. (2015) compararon la composición de la canal en cerdos en crecimiento mediante TC, demostrando cómo esta técnica permite obtener una evaluación detallada de la composición corporal en diferentes genotipos.

Las descripciones anatómicas con TC relacionados con los **rumiantes domésticos**, como la vaca, la oveja, la cabra y el camello, son escasos. A continuación se relaciona los referentes a las regiones en estudio de esta tesis, cabeza y órgano de los sentidos, y cuello.

Fiel a la línea de investigación de esta tesis, se mostrarán las investigaciones que aporten valiosas referencias anatómicas en las regiones específicas de la cabeza y órganos de los sentidos; y el cuello. En este contexto, los camellos son los que

poseen un mayor número de estudios, posiblemente debido a su relevancia en regiones del norte de África y Oriente Medio.

En cuanto a los estudio mediante TC en pequeños rumiantes, Pankowski et al. (2021) describieron la anatomía de la glándula tiroides de cabras mediante TC, mostrando la capacidad de esta técnica para identificar y medir las estructuras tiroideas con alta precisión. Y tal como se ha resaltado a lo largo de esta revisión bibliográfica, este tipo de estudios representa una base fundamental para la descripción de las lesiones de enfermedades tiroideas en cabras y otros rumiantes.

En cuanto a las ovejas, se nombrarán dos estudios recientes que proporcionan una descripción anatómica detallada de la cabeza, huesos y cavidades craneales. En primer lugar, Masoudifard et al. (2022) sobre la descripción anatómica mediante imágenes de TC de la cabeza de la oveja Ile de France. Este trabajo sirve como referencia para la evaluación de posibles alteraciones patológicas en esta raza. En segundo lugar, Vajhi et al. (2023) que se centran en la cavidad nasal y los senos paranasales en ovejas Shal, estableciendo una referencia anatómica mediante imágenes de TC de estas regiones anatómicas, y facilitando a los radiólogos el diagnóstico de afecciones respiratorias.



Figura 21. Imágenes de tomografía computarizada en ventana osea. Plano sagital (izquierda) y plano transversal (derecha). Con parámetros morfométricos en la oveja Shal. Fuente: Vajhi et al. (2023).

En vacas, Turgut et al. (2023) realizaron un estudio descriptivo de la anatomía de los senos paranasales en la raza Holstein, crearon cortes transversales de alta resolución mediante TC. Este estudio es de gran utilidad para los radiólogos veterinarios ya que posibilita una comprensión minuciosa de la anatomía de la cabeza bovina mediante estas técnicas, y establecer una relación con trastornos respiratorios y sinusales.

En cuanto a los camellos, Arencibia et al del departamento de morfología en la falcultad de veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en el año 2012 ya utilizan la TC y la RM para realizar una descripción anatómica de la articulación temporomandibular de los camellos. Un año después Diego Blanco, miembro del equipo de Arencibia, presenta su tesis doctoral sobre un estudio descriptivo de la cabeza del dromedario, mediante TC y cortes macroscópicos, sentando las bases para el estudio del cráneo de esta especie mediante técnicas de imagen avanzada. De la misma forma Alsafy et al. siguieron el análisis anatómico detallado de la cabeza del camello dromedario utilizando TC en su publicación del año 2014.

Posteriormente, Ben et al. (2019) comparan mediante la TC y la RMN el cerebro y las estructuras asociadas en camellos de una sola joroba, realizando también la descripción de la anatomíacomparada con otras especies. Este trabajo pone de relieve la importancia del uso de varias técnicas de imagen para comprender mejor la anatomía cerebral, en este caso de los camélidos. Con un enfoque similar, Emam et al. en el año 2020, combinaron el uso de la TC, la RMN y los cortes anatómicos para ofrecer una visión global de las estructuras de la cabeza en el camello, incluido el cráneo y los tejidos blandos, fundamental para estudios clínicos y comparativos.

Finalmente, Ben Khalifa et al. (2021) utilizaron TC y radiografía para estudiar los senos paranasales del dromedario, proporcionando una descripción anatómica detallada que sirve de referencia para el diagnóstico de patologías en esta región.

En conclusión, aunque los estudios en rumiantes domésticos mediante TC son limitados, las investigaciones disponibles, especialmente en camellos, ofrecen 62
importantes avances en la comprensión anatómica de las regiones objeto de estudio de este trabajo doctoral. Volver a recalcar que este tipo de trabajos descriptivos anatómicos, independientemente de la especie en la que se realicen, constituyen una herramienta esencial para la investigación comparada entre especies y sirven como marco de referencia para la identificación de lesiones anatómicas y el posterior diagnóstico de procesos patologicos.

Animales exóticos y de vida libre

Tal y como se lleva diciendo a lo largo de este trabajo doctoral, las técnicas de imagen avanzadas, como la TC y la RMN, han desempeñado un papel crucial en la investigación anatómica de diversas especies animales, proporcionando descripciones precisas y tridimensionales de estructuras anatómicas complejas. En este contexto, se han realizado estudios sobre roedores, lagomorfos, reptiles y aves que, además de ampliar el conocimiento anatómico, han permitido establecer comparaciones con especies exóticas y de vida libre, como el *Hystrix cristata*. En este sentido, sobre animales de vida libre existen numerosos estudios de TC, y son muy diversas las especies sobre las que se han realizado. Por lo tanto, únicamente se mencionarán los más destacados y relacionados con esta tesis, es decir, aquellos relacionados con las regiones anatómicas de la cabeza y órganos de los sentidos, y aquellos que se refieren a roedores o lagomorfos, estos últimos por su similitud con los anteriores y por estar relacionados con los mismos por su utilidad como animales de laboratorio en investigación biomédica.



Figura 22. Vista lateral y rostro-caudal de iguana cornuda (*Cyclura cornuta*) en equipo de TC. Fuente: Equipo de investigación del Servicio de Radiología del HCV- ULPGC

Roedores y lagomorfos

Los estudios reflejados en esta tesis sobre este tipo de animales, no solo pone de relieve la utilidad de la TC pata la descripción anatómica, y sus posibilidades para la medicina veteirnaria, sino también su uso en el campo de la investigación biomédica, por la posibilidad que brinda con su uso en estos animales de laboratorio.

En el año 1998 se publica un trabajo pionero por Chesney, que se centró en un animal poco común en la práctica veterinaria, la chinchilla, usó la TC para describir la anatomía de la cabeza, destacando ya en este año la utilidad de la TC para visualizar estructuras óseas y cavidades de pequeños mamíferos, proporcionando de esta forma un modelo anatómico detallado que ha servido para posteriores investigaciones en otros pequeños mamíferos exóticos.

Toda una década más tarde, Zotti et al en 2009, ampliaron el uso de la TC a los conejos, y comparan la anatomía seccional del cuello y el tronco mediante la TC, con la disección anatómica en cadáveres. Los resultados pusieron de relieve la utilidad en conejos de la TC, por la precisión que tiene para identificar estructuras anatómicas internas, y su utilidad para el diagnóstico clínico y la investigación. Siendo de gran utilidad en la investigación biomédica y la planificación quirúrgica.

En el año 2010 ve la luz un atlas anatómico tridimensional de la cabeza del conejo, publicado por Van Caelenberg et al. que realizaron un análisis mediante TC. Este trabajo es fundamental para estudios comparativos entre especies y para la aplicación clínica en medicina veterinaria.

Citar también a Mullhaupt et al, que en el 2017 realizan un estudio prospectivo de las estructuras del tórax, utilizando TC en conejos de raza *New Zealand White*. Proporcionando referencias anatómicas importantes para el diagnóstico y valoración de enfermedades pulmonares en conejos. Otro avance en la aplicación de la TC fue realizado por Doss et al. (2017), quienes evalúan el tamaño cardíaco vertebral en chinchillas mediante radiografía y TC, con el objetivo de desarrollar relaciones entre parámetros anatómicos que han sido de gran utilidad para la evaluación de la salud cardiovascular en roedores.

Resaltar el estudio de Chen et al (2018) que utilizaron micro-TC para obtener imágenes de alta definición del cerebro de roedores. La importancia de este trabajo está en la combinación de la TC de alta resolución con procesamiento avanzado de imágenes, lo que permitió una visualización detallada del tejido cerebral, y estableció un marco de conocimiento para la investigación en neurociencia de otras especies.

Más recientemente, Mahdy (2022) correlacionó imágenes de TC, RMN y la anatomía seccional de la cabeza en cobayos (*Cavia porcellus*), ofreciendo una descripción exhaustiva de las estructuras craneales, y proporcionando un marco anatómico para estudios comparativos y para su aplicación en investigación biomédica.



Figura 23. Cortes anatómicos, TC y RMN en plano transversal del cráneo de una coballa. Fuente: Mahdy (2022)

Por último, Zehtabvar et al. (2023) que investigan la anatomía de los pulmones, bronquios y tráquea en cobayos adultos mediante TC, destacando esta técnica en la evaluación de las vías respiratorias y en el diagnóstico de enfermedades respiratorias.

Reptiles

Arencibia et al de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en el año 2005, fueron pioneros en describir anatómicamente la cabeza de la tortuga boba (*Caretta caretta*) mediante la TC. Este trabajo fue complementado por un estudio más detallado del mismo equipo en el año siguiente, donde se profundizó en la anatomía craneal de la tortuga. Sendos trabajos constituyeron, en esos años, un marco de conocimiento para la evaluación de estructuras craneales en especies marinas, tan abundantes en las aguas del archipiélago Canario y la Macaronesia, destacando nuevamente la aplicabilidad clínica de la TC en la identificación de lesiones y en el estudio de la anatomía comparada de las especies.

En el primer año de la segunda década del nuevo milenio, Banzato et al. realizaron una comparativa entre imágenes radiográficas, cortes de TC y la disección de cadáveres, para describir la anatomía de la cabeza de la boa constrictor. Este estudio es una muestra de la sensibilidad que la TC tiene, para obtener imágenes detalladas de estructuras óseas y blandas, en este caso en reptiles, mejorando la comprensión de su anatomía craneal.

Por su parte, Sousa et al en el año 2015, emplearon la TC para estudiar el sistema lagrimal de serpientes, además, complementaron esta técnica con análisis histológicos. Este enfoque en el estudio de las estructuras anatómicas contribulló al entendimiento de las adaptaciones morfológicas en reptiles.

Más recientemente, estudios como el de Pérez et al. (2021) y Mohamad et al. (2023), equipos de investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, han utilizado reconstrucciones tridimensionales por TC para comparar la anatomía craneal de especies como el dragón de Komodo (*Varanus komodoensis*) y la iguana verde (*Iguana iguana*), y para describir la anatomía del cráneo de la iguana rinoceronte (*Cyclura cornuta cornuta*). Estos trabajos han proporcionado importantes descripciones anatómicas comparadas.



Figura 24. Ejemplar de Cyclura cornuta cornuta Fuente: Elaboración propia

Aves

En el estudio de las aves, Antinoff et al. (1996) realizaron una evaluación entre la TC y la anatomía de los senos psitácidos, obteniendo una descripción detallada de estas estructuras respiratorias en este tipo de aves.

Diez años después, Holliday et al mediante inyecciones vasculares y TC describen la anatomía vascular de la cabeza de los flamencos, poniendo de relieve las adaptaciones evolutivas de esta especie.

Más recientemente, Veladiano et al. (2016) estudiaron la anatomía craneal de guacamayos, loros grises africanos y cotorras mediante TC, generando un atlas tridimensional que ha sido de gran utilidad para la práctica clínica y la investigación veterinaria en aves exóticas.

Hwang et al. (2021), por su parte, investigan la morfología ocular del buitre negro mediante TC, lo que aportó información clave sobre la anatomía del ojo en grandes aves de rapiña.

Finalmente, estudios recientes en el frailecillo atlántico (*Fratercula arctica*) como los realizados por Fumero-Hernández et al. (2023), de la facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, han descrito la estructura craneal y ocular utilizando TC, ofreciendo nuevas perspectivas sobre la anatomía de esta especie marina y subrayando la importancia de la imagenología avanzada en la conservación de aves.



Figura 25. Reconstrucción multiplanar transversal relacionada con el bulbo ocular de *Fratercula Arctica* con una medida del espesor del anillo esclerótico. Fuente: Fumero-Hernández et al. (2023).

En conclusión, la TC ha demostrado ser una herramienta no invasiva, fundamental para la investigación anatómica en una amplia gama de especies animales. Los estudios citados han contribuido significativamente al conocimiento de la morfología craneal, ocular, torácica y del sistema respiratorio de roedores, lagomorfos, reptiles y aves, estableciendo modelos anatómicos detallados, esenciales para la medicina veterinaria, la conservación y la biodiversidad de las especies, y la investigación biomédica. Y constituyeron la base para los estudios presentados en esta tesis y realizados sobre la anatomía del *Hystrix cristata*. Del mismo modo resaltan la relevancia de esta técnica en el campo de la anatomía comparada.

ESTUDIOS CLÍNICOS MEDIANTE TO EN MEDICINA VETERINARIA.

El uso en las ciencias biológicas y en medicina veterinaria de las técnicas avanzadas de obtención de secciones anatómicas de imágenes como la TC, como es de suponer, no solo se limita a la descripción de la anatomía de especies animales, sino que al igual que en medicina humana, tienen especial relevancia gracias a las ventajas que han demostrado tener sobre las pruebas de imagen convencionales, tanto para el diagnóstico, tratamiento como para el pronóstico de numerosas patologías. La posibilidad de obtener secciones corporales desde varios planos tomográficos sin la superposición de los mismos, proporcionando imágenes con una alta resolución, un alto contraste entre diferentes estructuras y una excelente diferenciación tisular, posibilita delinear más finamente los detalles anatómicos y la densidad de tejidos específicos, lo que mejora la capacidad de interpretación.

A continuación, se abordarán las aplicaciones clínicas principales de la TC en medicina veterinaria publicadas en la bibliografía consultada. Se agruparán en las regiones anatómicas en las que nos hemos centrado a lo largo de este trabajo de investigación.

Estudios clínicos relacionados con carnívoros domésticos.

El uso de la TC en el diagnóstico de **tumores intracraneales y orbitarios** en medicina veterinaria se remonta a los años 80, cuando LeCouteur et al en el año 1981 publican un estudio sobre su aplicación en la identificación de tumores cerebrales en la fosa caudal de perros. Estos estudios demostraron que la TC era eficaz para delimitar los márgenes y características de los tumores intracraneales. Un año después, este mismo grupo de investigación, LeCouteur et al. (1982), amplian su aplicación a tumores orbitarios, demostrando que la TC podía identificar con precisión masas orbitarias y contribuyen al diagnóstico diferencial en patologías de la órbita. Así como en el 88 Whelan et al publica un estudio comparativo de imágenes de tumores cerebrales por TC y RMN utilizando un modelo de glioma canino.

En 1989, Thrall et al realizaron un estudio comparativo con 31 perros diagnosticados de tumores malignos de la cavidad nasal, mediante la comparación de hallazgos radiográficos e imágenes de TC, concluyendo las ventajas de la TC para evaluar la extensión de la neoplasia. Otra publicación de unos años después, de Park et al (1992) redundan en estas conclusiones, indicando que la TC ofrecía mayor sensibilidad que la radiografía para detectar cambios inducidos por neoplasias malignas nasales.

Los avances en el diagnóstico y manejo de **tumores intracraneales y lesiones de cráneo** avanza durante la década de 1990, cuando se profunda en el diagnóstico de tumores cerebrales en perros mediante TC. En este sentido, lwamoto et al. (1993) evalúan tumores cerebrales espontáneos, destacando la importancia de la TC en la planificación de tratamientos. A principios del segundo milenia, Hathcock y Newton (2000) documentaron las características tomográficas de tumores óseos multilobulados que afectan el cráneo, especialmente en la base del cráneo y el arco cigomático. Estos estudios concluyeron que la TC era crítica para identificar las características estructurales y la localización precisa de las masas. En el mismo año Bergman et al realiza un paper de tomografía computarizada postoperatoria en dos perros con meningioma cerebral.

En 2001, Fuchs et al analizaron los hallazgos mediante TC de tumores intracraneales primarios en perros y gatos, y compararon imágenes y características anatomopatológicas. Posteriormente, en el año 2003, el mismo equipo de investigación amplió este estudio, y describieron las características tomográficas de tumores intracraneales primarios, centrándose en la utilidad de la TC para diferenciar tipos específicos de neoplasias.

La TC también ha sido ampliamente utilizada para el diagnóstico de **patologías infecciosas y uso de TC en enfermedades fúngicas y otras lesiones inflamatorias nasales.** En este sentido, Saunders et al. (2002) documentaron hallazgos de TC en 35 perros con aspergilosis nasal, determinando que la técnica 70 permitía visualizar la degeneración ósea y la extensión de la infección en las cavidades nasales. En estudios posteriores, el mismo Saunders junto a Van Bree en 2003, y en el 2004 con su equipo, comparó la TC con la radiografía y la resonancia magnética (RM), concluyendo que la TC es una herramienta superior para el diagnóstico de aspergilosis y otras infecciones crónicas nasales en perros.

En lo relativo a felinos, Karnik et al (2009) describen las imágenes realizadas con TC de casos de rinitis y sinusitis fúngica, resaltando la capacidad de la TC para identificar infecciones y obstrucciones en la cavidad nasal. Por su parte, Barrs et al. en 2014, también documentaron imágenes tomográficas de aspergilosis sinonasal y sino-orbital en gatos, volviendo a demostrar la utilidad de la TC para describir la extensión de estas infecciones.

A principios de los años 2000, se encontraron algunos estudios que comparan la eficacia de la TC y la RM en el diagnóstico de **lesiones nasales y orales de perros.** A parte de los estudios ya nombrados anteriormente de Saunders et al, de infecciones de la cavidad nasal, Kafka et al, en el año 2004, evaluaron masas orales de perros y concluyeron que la TC y la RM eran complementarias en la caracterización de dichas masas, especialmente en la determinación de su tamaño y localización exacta. También se encontró la publicación de finales de la década, en el año 2009, de Drees y sus colegas, que analizaron neoplasias intranasales, y observaron que ambas modalidades de imagen ofrecían ventajas diagnósticas, pero que la TC destacó por su rapidez y disponibilidad en relación a la RM, cuyo uso está menos disponible en la medicina veterinaria.

En cuanto a estudios **comparativos y asociaciones entre la TC y otras técnicas diagnósticas** no de imagen, como la biopsia o la rinoscopia, Moissonnier et al. (2002) introdujo la técnica de biopsia estereotáctica guiada por TC para lesiones intracraneales, demostrando que el procedimiento mejoraba la precisión diagnóstica al permitir la recolección de muestras de zonas específicas del cerebro en perros; así como Giroux *et al.*, 2002 más centrado en el diseño, construcción y precisión en la colocación de la aguja. Finck et al. (2015) evaluaron la TC y la concluyendo que la TC permitía una evaluación más precisa de la extensión tumoral en comparación con la rinoscopia.

En la misma línea relacionada con la toma de muestras citaremos los trabajos relacionados con el diagnóstico histopatológico a través de la toma de biopsias de alteraciones a nivel cerebral, de Moissonier *et al.*, del año 2000, llamado Biopsia cerebral guiada por TC estereotáxica en el perro.

En cuanto a las lesiones cerebrovasculares en caninos, se encontraron estudios más recientes: Arnold et al. en 2020 investigaron el uso de la TC para el diagnóstico de enfermedades isquémicas y hemorrágicas del cerebro, obteniendo imágenes que les permitían visualizarlos infartos y áreas hemorrágicas cerebrales de forma muy precisa.



Figura 26. TC de cabeza de perro, reconstrucción del plano dorsal. Lesión triangular en la cara lateral derecha del cerebelo, compatible con lesión isquémica consecuente de un ictus, bordes bien definidos hipoatenuantes. Fuente: Arnold et al. (2020)

También se encontró el estudio de Stadler et al, que en el año 2017 publicaron una comparaciónde la TC y la RM para cuantificar gliomas intracraneales en perros, en este artículo se muestra que ambas técnicas de imagen permiten evaluaciones cuantitativas, pero encontraron limitaciones en la predicción del grado y tipo tumoral. El uso de la TC también se ha documentado en el diagnóstico y manejo de **alteraciones temporomandibulares** de los carnívoros domésticos mediante estudios que han investigado su aplicación y efectividad, y contribuyendo a un manejo clínico cada vez más preciso de estas patologías. Ejemplo de estos estudio son:

En 2007, Beam et al usaron la TC tridimensional para el diagnóstico y tratamiento de un caso de bloqueo mandibular con la boca abierta en un gato, en este estudio de TC se observó como esta técnica avanzada de imagen, facilita la visualización detallada de las estructuras óseas de la articulación temporomandibular, ayudando una intervención terapéutica adecuada.

En 2009, Soukup, Snyder y Gengler sobre esta misma alteración de bloqueo mandibular en felinos, se centraron en el uso de la TC en la intervención quirúrgica de coronoidectomía parcial. Los autores destacaron la utilidad de la TC para guiar intervenciones quirúrgicas precisas. Este trabajo desmostró la aplicabilidad de la TC como herramienta en el abordaje quirúrgico de las patologías temporomandibulares.

En 2013, Arzi et al realizarón un estudio con una muestra de 58 casos, tanto en perros y gatos. Este trabajo incluyó diferentes tipos de alteraciones temporomandibulares, como por ejemplo, luxaciones y displasias, demostrando la eficacia de la TC en la identificación de anomalías estructurales de esta región anatómica en estas especies. La investigación concluyó en que la TC posibilita una evaluación completa y no invasiva de las alteraciones de esta articulación, fortaleciendo su uso como herramienta diagnóstica clave.

En el año 2021, McKay et al exploraron el uso de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en perros para diagnosticar cambios degenerativos en la articulación temporomandibular, y concluyeron que la CBCT permite una observación detallada de las alteraciones óseas y articulares, pudiendo diferenciar signos de degeneración, y proporcionando una alternativa útil y menos invasiva que las técnicas convencionales. Este avance permitió la identificación temprana de procesos degenerativos.

En el año 2023 el estudio de Novales et al, presenta una innovación en el uso de la TC, el desarrollo de modelos tridimensionales para la evaluación de esta articulación en perros. De este modo se obtiene información detallada sobre las relaciones espaciales de los elementos articulares de esta articulación, especialmente útil en casos complejos de alteraciones temporomandibulares. La técnica de renderizado volumétrico tridimensional marca una evolución en el uso de la TC, ampliando sus aplicaciones en el diagnóstico y monitoreo de patologías articulares.

En relación a los **desórdenes de la cavidad oral y traumatismos craneofaciales** en carnívoros domésticos, la TC constituye una herramienta fundamental para el abordaje clínico, gracias a que permite la visualización detallada de estructuras complejas, mejorando tanto el diagnóstico inicial, como el pronóstico en casos de trauma y otras alteraciones en la cabeza de perros y gatos.

Comenzamos nombrando una publicación llevada a cabo por Platt, Radaelli y McDonnell (2002) que resaltan el uso de la TC en casos de trauma craneal leve en perros, subrayando cómo esta técnica permite una detección más sensible de las lesiones intracraneales y maxilofaciales que las radiografías convencionales, lo cual facilita una evaluación clínica más precisa en casos de traumatismo craneal.

En el año 2008, Bar-Am et al, compararon las imágenes obtenidas por TC y radiografías convencionales, para valorar traumatismos máxilofaciales en perros y gatos. La conclusión de este artículo muestra que la TC ofrece un diagnóstico más completo de fracturas maxilofaciales y de las estructuras adyacentes, demostrando su valor en la evaluación de la extensión y la complejidad de estas lesiones. Se reitera que este enfoque de diagnóstico no invasivo permite una mejor planificación quirúrgica y recuperación de los pacientes.

En el 2012, Wunderlin et al se centraron en los traumatismos cráneoencefálicos en gatos al investigar el uso de la TC en estas lesiones, en concreto en el caso de fracturas maxilares y orbitales. Resaltaron la utilidad de esta técnica en la evaluación de las estructuras óseas e identificaron lesiones que pueden no detectarse mediante otros métodos. En 2017, Chai et al. por su parte, utilizaron la TC para desarrollar un sistema de puntos, basado en los hallazgos tomográficos, para valorar el pronóstico tras un traumatisco craneoencefálico. Este sistema permite a los clínicos estimar el pronóstico de los pacientes craneotraumatizados, en función de la localización y la extensión de las lesiones observadas mediante imágenes de TC, lo cual ha es útil en la jerarquización de las decisiones en situaciones de urgencia.

Posteriormente, en 2019, Knight y Meeson con una muestra de 75 gatos con traumatismos craneoencefálicos evaluados mediante TC, facilitaron el establecimiento de patrones comunes de estas lesiones en esta especie y mejoraron el enfoque terapéutico en estos casos.

En el año 2020, Amengual-Batle et al. mediante un estudio comparativo entre perros y gatos de los signos neurológicas y los hallazgos tomográficos, en casos de fracturas craneales traumáticas, identificaron diferencias entre estas dos especies en la presentación de la clínica específica y el impacto neurológico de estás fracturas, lo que proporciona una herramienta que sirve de guía para la diferenciación en cuanto a la atención veterinaria de este tipo de lesiones según la especie.

Finalmente, en 2021, Wyatt et al. matizan el uso de la TC como herramienta de pronóstico, concluyendo en su limitación para este aspecto, y resaltando su valor paras la identificación de lesiones iniciales tras una lesión cerebral traumática. Por lo que esta investigación proporciona una perspectiva más amplia sobre el uso de la TC, destacando sus beneficios y limitaciones en la valoración de traumas craneales.

La TC también tiene utilidad en el **diagnóstico del hiperadrenocorticismo hipofisario** de perros y gatos, permite una apreciación mejor de la glándula pituitaria y las glándulas suprarrenales. Uno de los primeros estudios en este campo fue realizado por Emms et al, en el año 1986, resaltaron la importancia de la TC para observar cambios estructurales en las glándulas suprarrenales y en el cerebro, diferenciando entre hiperadrenocorticismo dependiente de la hipófisis y otras etiologías.

En 1988, Voorhout publicó dos estudios relacionados con el uso de la TC en el diagnóstico del hiperadrenocorticismo en perros. Por una parte, en su tesis, expone cómo se mejora la visualización de las glándulas suprarrenales y glándula pituitaria con las técnicas de imagen,ayudando al diagnóstico en pacientes con hiperadrenocorticismo. En otro trabajo, publicado ese mismo año, Voorhout (1988b), describe el uso de la TC en perros con hiperadrenocorticismo que no responden a la supresión con dexametasona, exponiendo cómo la TC puede ayudar a identificar casos más complejos y de difícil manejo clínico.

En 1995, Widmer y Guptill continúan con el uso de la TC en el diagnóstico del hiperadrenocorticismo en perros y gatos, su trabajo redundó en las ventajas de la TC para obtener imágenes detalladas de las glándulas suprarrenales y para evaluar el crecimiento y alteraciones en la hipófisis, ayudando a diferenciar entre hiperadrenocorticismo hipofisario y adrenal dependiente.

Kooistra et al, en el año 1997, estudian la relación entre el tamaño de la glándula pituitaria y el hiperadrenocorticismo hipofisario, correlacionando el agrandamiento de la pituitaria con una retroalimentación alterada de glucocorticoides en perros. La TC la usan para medir el tamaño de la hipófisis y relacionarlo con la funcionalidad de la misma en los trastornos hipofisarios.

En el año 2010, Corgozinho con su equipo publicaron un case report de un adenoma hipofisario en un gato con hiperadrenocorticismo, y muestran imágenes de TC identificando el adenoma pituitario.

La TC también se ha convertido una técnica de diagnóstico esencial para el diagnóstico y manejo de las alteraciones en los **órganos de los sentidos de carnívoros domésticos**. Los órganos de los sentidos, como los oídos y los ojos, están compuestos por estructuras anatómicas complejas. En lo que se refiere al oído, la TC permite una visualización precisa de las estructuras óseas y de los tejidos blandos circundantes, ayudando en el diagnóstico y en la planificación terapéutica.

Hoskinson a principios de la década de los novent, en 1993, usó diferentes técnicas de imagen para diagnósticar diferentes lesiones del oído medio, destacando la TC para ofrecer imágenes detalladas de las estructuras óseas. Posteriormente, Love et al., en 1995, realizaron un estudio comparativo entre la radiografía y la TC, para evaluar la otitis media en perros, y llegaron a la conclusión de que la TC proporcionaba una mejor visualización de la extensión de la enfermedad y la afectación de las estructuras óseas de la bulla timpánica.

Barthez et al., en 1996, publicaron un importante estudio en el que describieron mediante imágenes de TC, la apariencia de la bulla timpánica, señalando que esta lesión puede dar lugar a una falsa percepción de engrosamiento de la pared de la bulla, lo que demuestra la importancia de una interpretación cuidadosa de las imágenes.

Por otro lado, Ziemer et al., en el año 2003, con una muestra de tres perros, describieron el uso de la TC en la identificación de otolitos, demostrando que la tomografía permite diferenciar estas opacidades minerales de otras lesiones patológicas.

En lo relativo a las inflamaciones, Cook et al., en el 2003, reportaron un caso de un pólipo inflamatorio en el oído medio de un gato se complicó con una meningoencefalitis secundaria, y mediante las imágenes de TC se observó un material hiperatenuante en la bulla timpánica.

También, Garosi et al. en el mismo año usa la radiografía, la TC y la resonancia magnética en la descripción de las patologías del oído en perros y gatos, y destaca cómo la TC puede ser esencial para la planificación preoperatoria.

En cuanto a estudios relacionados con procesos inflamatorios secundarios a enfermedades sinonasales, Detweiler et al. en el 2006, confirmaron el diagnóstico de la efusión en la bulla de gatos con obstrucciones inflamatorias o neoplásicas del tubo auditivo, utilizando TC. En el mismo año, mediante un estudio comparativo de técnicas de imagen, Rohleder et al., con un muestreo de 31 perros, demostraron la efectividad de la TC frente a la radiografía, en el diagnóstico de enfermedades del

oído, ya que la TC permite visualizar cambios estructurales en la bulla timpánica que la radiografía no captura.

King et al. (2007) volvió a someter a la TC con otras técnicas de diagnóstico por imagen, con la realización de un estudio que comparó la ecografía, la radiografía y un solo corte de TC para la identificación de fluidos en la bulla timpánica felina. Sus resultados sugieren que la TC ofrece una evaluación concluyente de la presencia de líquidos, útil tanto para el diagnóstico como para el seguimiento clínico.

En cuanto al uso de la TC en la identificación y caracterización de las **neoplasias del oído**, se han encontrado diversos trabajos que merecen ser citados:

Lim et al. (2008) documentaron un caso de adenocarcinoma de glándula ceruminosa en un perro maltés. El tumor fue identificado mediante TC, también se evaluó su extensión, así como la afección de las estructuras adyacentes.

Yoshikawa et al. (2008) que describen un carcinoma de células escamosas en el oído medio de un perro. La descripción mediante TC muestra detalladamente la masa y su relación con otras estructuras.

En lo que se refiere a casos de traumatismos en la región del oído, Rubin et al. (2013) presentaron un caso de fractura de bulla timpánica en un perro politraumatizado, con múltiples fracturas mandibulares y cigomáticas. La descripción la realizaron usando TC, en ella se visualizan claramente las fracturas. EL trabajo también incluye un seguimiento de la recuperación del paciente, mediante imágenes de TC.

Travetti et al. (2010), describen las ventajas de la TC en el diagnóstico del colesteatoma del oído medio, que muestra la masa y la afección de las estructuras adyacentes. El poder describir la afección de las estructuras adyacentes es clave para la planificación quirúgica. Belmudes et al. (2018), diagnostican un caso de neumolaberinto en un bulldog francés con otitis media y externa. Mediante imagenes de TC observan la presencia de aire en el laberinto, llegando a un diagnóstico diferencial preciso. Es una muestra más de la importancia de esta técnica en el diagnóstico diferencial de casos complejos en esta región anatómica.

Kim et al. (2021), documentaron mediante imágenes de TC, un caso de una atresia del conducto auditivo externo congénito en un perro con otitis media. También observaron falta de permeabilidad y acumulación de líquido en la bulla timpánica.

En base a estos estudios, podemos subrayar cómo la TC constituye una herramienta fundamental para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de las patologías del oído en carnívoros domésticos.

La TC también se ha establecido como una herramienta clave en la evaluación de **patologías oculares y orbitarias en carnívoros domésticos**, especialmente en el diagnóstico de tumores y en la identificación de alteraciones anatómicas que afectan la órbita y estructuras adyacentes. En el caso en concreto de tumores orbitarios, Lecouteur et al. (1982) investigaron el uso de esta técnica para la detección de tumores en perros, observando la posibilidad de definirlos claramente, por su densidad y la distorsión anatómica resultante. Esta técnica también ha sido aplicada en el estudio del exoftalmo, una condición que implica la protrusión anormal del globo ocular, la cual McCalla y Moore (1989) analizaron en perros y gatos, destacando la importancia de las técnicas avanzadas de imagen en la identificación de sus causas subyacentes. Ramsey et al. (1994) compararon la ecografía, la radiografía, la TC y la RM en un caso de exoftalmo en un gato, determinando que la TC, así como la RM, proporcionaban la mejor visualización de las estructuras retrobulbares, permitiendo así una evaluación más detallada y una mejor planificación del tratamiento.

Daniel y Mitchell (1999) en su libreo de técnicas clínicas en pequeños animales, tratan las aplicaciones de la TC en los ojos y órbitas documentando hallazgos normales junto con ejemplos de casos representativos, demostrando cómo estas técnicas permiten evaluar condiciones inflamatorias y neoplásicas. En un análisis exhaustivo de las técnicas de imagen seccional en oftalmología veterinaria, Penninck et al. (2001) proporcionaron una guía detallada sobre los hallazgos normales y anormales en la órbita y las estructuras oculares, permitiendo una comprensión más profunda de los cambios comunes en estas patologías. Los trabajo sobre la descripción de **tumores orbitarios** en perros y gatos mediante TC, que se han revisado en esta tesis son los siguientes:

Attali-Soussay et al. (2001), que examinaron una muestra de 25 casos de tumores retrobulbares mediante imágenes de TC.

Yi et al. (2006) reportaron un caso de melanoma ocular maligno en un perro, como representación de tumores intraoculares. En este trabajo se muestra la ecografía y la TC como herramientas para revelar una masa que afectaba toda la úvea.

Bell et al. (2011), describen la ayuda que significa la TC en la descripción de la extensión y la descripción de las características de la masa producida por el sarcoma miofibroblástico restrictivo de la órbita en gatos, facilitando el diagnóstico diferencial y permitiendo una planificación terapéutica adecuada.

Como conclusión, se puede afirmar que los estudios revisados ilustran cómo la TC ha revolucionado la capacidad diagnóstica en el campo de la oftalmología veterinaria de los carnívoros domésticos, proporcionando una visualización precisa y detallada de tumores, inflamaciones y alteraciones anatómicas; apoyando el diagnóstico diferencial; y optimizando la planificación de los tratamientos.

Estudios clínicos relacionados con ungulados domésticos

Como se ha ido recalcando de forma reiterada a lo largo del apartado de estudios clínicos de esta revisión bibliográfica, la TC se ha posicionado como una herramienta esencial para el diagnóstico de diversas patologías, y en **équidos** resaltan los dirigidos a la región de la cabeza.

En el campo de las **patologías dentarias**, Veraa et al. (2009) analizaron los dientes superiores en caballos con cambios infundibulares e infecciones apicales, observando que la TC permitía una visualización detallada de las alteraciones en los dientes molares. De forma complementaria, Windley et al. en el mismo año, llevaron a cabo un estudio en el que se analizaron 126 dientes molares equinos mediante reconstrucciones 2D y 3D, detallando la anatomía del esmalte, infundíbulos y pulpa en dientes con lesiones macroscópicas y hallazgos de TC, lo cual enriqueció el conocimiento sobre las estructuras internas y las posibles alteraciones patológicas en los dientes de los caballos.

Por su parte, Barakzai en el año 2012, revisó la utilidad de la TC en el diagnóstico de patologías dentales y sinusales, destacando su eficacia para la identificación de lesiones ocultas y su utilidad en la planificación quirúrgica.

En un estudio retrospectivo de 49 caballos, Buhler et al. en el año 2014 describieron las características tomográficas de infecciones apicales en los dientes molares superiores, subrayando la capacidad de la TC para diferenciar lesiones y guiar la intervención clínica. Un año después Barakzai y Barnett (2015) también analizaron el uso combinado de TC y centelleografía para la evaluación de enfermedades dentales, mostrando cómo ambas técnicas pueden mejorar la precisión diagnóstica en el ámbito de las patologías dentales.

En relación con las **neoplasias bucales**, Strohmayer et al. (2020) examinaron las características tomográficas e histopatológicas de los carcinomas escamosos orales y sinonasales en équidos y felinos, destacando que la TC facilitaba una evaluación detallada de la extensión tumoral y permitía una planificación adecuada del tratamiento en casos avanzados.



Figura 27. Imágenes de TC transversales y sagitales, de un paciente equino diagnosticado con carcinoma escamocelular oral localizado en la mandíbula derecha. Fuente: Strohmayer et al. (2020).

Las alteraciones de los **senos nasales y paranasales** son otro campo donde la TC ha demostrado gran utilidad en équidos. Así, Cissell et al. (2012) investigan la apariencia tomográfica de las neoplasias sinonasales en caballos, documentando cómo la TC proporcionaba una visualización precisa de las masas y su relación con estructuras adyacentes. Ya en la segunda década del segundo siglo, Dixon et al. (2020) evaluaron el compromiso de los senos paranasales y la bulla nasal en 300 casos de enfermedades sinonasales equinas, y destacaron el valor de la TC para evaluar cada compartimento sinusal individualmente. En el caso de quistes paranasales, Ostrowska et al. (2020) caracterizaron las manifestaciones de estos quistes mediante TC, lo cual permitió definir sus bordes y su relación con otras estructuras, facilitando así el diagnóstico diferencial.

La presencia de **hematomas**, específicamente en la región etmoidal, fue estudiada en el año 2012 por Textor y sus colaboradores, que realizaron un estudio con una muestra de 16 caballos con este tipo de hematomas, y con TC observaron y evaluaron la extensión, pudiendoestablecer una planificación de los tratamientos.

Respecto a las **patologías del sistema nervioso** en équidos, Vink-Nooteboom et al. ya en el año 1998 utilizaron TC para describir los granulomas colesterínicos en el plexo coroideo de los caballos, destacando cómo esta técnica facilitaba la visualización de los granulomas y su impacto en las estructuras circundantes. La utilidad de la TC para guiar biopsias cerebrales fue demostrada por Vanschandevijl et al. diez años después, en el 2008, quienes realizaron una biopsia asistida por TC en un caballo con un granuloma colesterínico, confirmando su diagnóstico in vivo.

Sogaro-Robinson et al. (2009) establecieron factores predictivos de resultados anormales de TC en caballos con alteraciones neurológicas, estableciendo que esta técnica era valiosa para identificar problemas estructurales en el cerebro. Más recientemente, Lloyd-Edwards et al. (2020) documentaron cómo la TC permitió identificar granulomas colesterínicos asociados con un aumento en la altura de los ventrículos laterales en caballos de mayor edad. Las descripciones mediante TC de las **lesiones de la médula espinal**, sobretodo a nivel cervical, también han sido revisadas por este trabajo doctoral. Empezando por la década de los noventa, en 1992, Moore y sus colaboradores, con una muestra de seis caballos con mielopatía estenótica cervical, usan la TC con contraste y mielografía, para mostrar una visualización clara de la compresión medular y de las estructuras óseas circundantes. Por otro lado, en una muestra clínica más amplia de 51 caballos, Gough et al, en el año 2020, usan tmbién TC cervical con mielografía, y evaluan detalladamente la médula espinal y los factores contribuyentes en casos de estenosis cervical. También, otro caso representativo de publicación en este sentido, con una muestra de 180 casos, es el realizado por Lindgren y sus colaboradores en el año 2021, los equinos de esta muestra presentaban una espina cervical equina, que fue identificada mediante TC y mielografía, el trabajo describe cómo la TC facilita la identificación de lesiones medulares complejas, y constituye una herramienta para la planificación de intervenciones clínicas.

En el caso de los **suidos**, la TC ha sido empleada en estudios sobre osteocondrosis y evaluación de la composición corporal en la producción animal. Aasmundstad et al. (2013) aplicaron la TC para diagnosticar osteocondrosis en cerdos, evaluando la heredabilidad de esta condición y su correlación genética con la ganancia de peso en intervalos de edad específicas, un año después, Aasmundstad et al. extenden esta investigación a la raza Duroc, empleando matrices de parentesco genómico para analizar la heredabilidad en esta patología.

En relación con otra patología en suidos, Posa et al. (2013) analizaron las lesiones pulmonares en cerdos expuestos a la combinación de *Mycoplasma hyopneumoniae* y micotoxinas de fumonisina mediante TC y revisión histopatológica, concluyendo que la TC permitía identificar la extensión de las lesiones pulmonares en estos animales.

En **rumiantes domésticos**, cabra, oveja y vaca, la TC ha sido empleada para diagnosticar diversas patologías. A continuación expongo una muestra de ellos: En la década de los noventa, Barrington y Tucker (1996) documentaron el uso de la TC

en el diagnóstico de sinusitis en una cabra, subrayando la utilidad de esta técnica en la visualización de la extensión de la infección sinusal. Por otro lado, Gerros et al. (1998) diagnosticaron con la misma técnica de imagen un absceso cerebral en una cabra, resaltando el valor de esta técnica para identificar con precisión lesiones intracraneales. En ovinos, Gonzalo-Orden et al. (2000b) analizaron un caso de cenurosis ovina, justificando las manifestaciones clínicas con los cambios en el sistema nervioso observados en las imágenes de TC y RM; por su parte, Gómez et al. (2007) documentaron cenurosis cerebral crónica en una oveja joven, observando hidrocefalia secundaria mediante TC.

En ganado vacuno, existen trabajos de TC para el diagnóstico de afecciones respiratorias. Marco y col. (2000) reportaron una rinitis atrófica en una ternera Simmental, mediante el uso de TC, destacando la capacidad de esta técnica para visualizar con claridad las estructuras nasales y por tanto para el diagnóstico diferencial de procesos respiratorios complejos en el ganado vacuno.

En lo que respecta a otros rumiantes, los estudios en alpacas y llamas reflejan la utilidad de la TC para diagnosticar alteraciones craneales. Nykamp et al. en el 2003 describieron la apariencia de la atresia de coanas en una cría de alpaca mediante TC, facilitando el diagnóstico diferencial de esta obstrucción nasal. Dos años después, Britt et al (2005) utilizaron la TC para identificar un ameloblastoma maxilar en una alpaca adulta, definiendo con las imágenes de TC la extensión tumoral y su relación con el hueso circundante. Un año después Anderson (2006) estudió abscesos periapicales en alpacas y llamas, mediante imágenes de TC, identificando de forma precisa estas infecciones dentales y facilitando la planificación de un tratamiento. Finalmente en el 2007, Byers et al. documentaron un granuloma fúngico en el seno frontal de una llama mediante TC, se trata del uso de esta técnica para la identificación de infecciones que afectan estructuras óseas profundas.

Estudios clínicos relacionados con animales exóticos y de vida libre.

Dada la temática de esta tesis doctoral relacionada con un miembro de la orden rodentia, nos centraremos fundamentalmente en los **roedores.** En lo referente a al aspecto clínico, los animales pertenecientes a este orden son de los más estudiados debido a su gran utilidad en el ámbito del estudio de la biomedicina, y su extrapolación a la especie humana.

Dentro del campo de la tomografía computarizada (TC) en animales exóticos y de vida libre, los estudios en roedores, especialmente en chinchillas, cobayas y conejos, han destacado debido a la aplicabilidad de los estudios en investigaciones biomédica. Crossley et al. (1998) emplearon la TC para investigar anomalías en los dientes molares de chinchillas. En cobayas, Souza et al. (2006) diagnosticaron un absceso radicular mediante micro-TC, lo cual permitió una evaluación minuciosa de la afección y un diagnóstico preciso. De forma similar, Capello y Cauduro en el 2008 emplearon la TC para diagnosticar enfermedades dentales en conejos, cobayas y chinchillas, destacando la capacidad de esta técnica para detectar y caracterizar lesiones dentales subclínicas.

El uso de la micro-TC ha permitido también estudiar el sistema vascular y neurológico en modelos roedores en investigación biomédica. Seo et al. (2008) emplearon la micro-TC para visualizar in vivo la vascularización cerebral en roedores, tratándose de un análisis no invasivo del sistema vascular en modelos experimentales; del mismo modo Engelhorn et al un año después se centra en un glioma de una rata. Langheinrich et al. (2010a, 2010b) evalúan la oclusión de la arteria cerebral media y la trombosis del seno sagital superior en ratas mediante micro y nano-TC en modelos in vitro, poniendo en valor esta técnica para estudiar alteraciones vasculares de manera detallada. En un análisis relacionado, Schambach et al. en el mismo año, usaron la micro-TC para realizar imágenes vasculares en roedores, optimizando la visualización de estructuras vasculares en animales pequeños. Mientras que Hayasaka et al. (2012) aplicaron la microTC para estudiar modelos de isquemia cerebral y hepática en roedores, ofreciendo una evaluación secuencial y comparativa de estos modelos experimentales.

En cuanto a patologías en especies exóticas, Budgeon et al. en 2014, utilizaron la TC para diagnosticar y tratar quirúrgicamente un tricoepitelioma maligno en el canal auditivo de un conejo, reflejando la utilidad de la TC en la planificación prequirúrgica de tumores complejos. Asimismo, De Matos et al. (2015) describieron características de enfermedades del oído medio en conejos domésticos, destacando que la TC permitió identificar y caracterizar tanto patologías clínicas como subclínicas en 88 casos estudiados.

Más allá de los roedores y lagomorfos, la TC también ha demostrado su aplicabilidad en otras especies exóticas y de vida libre. Gross-Tsubery et al. (2010) estudiaron casos de hiperostosis craneal en leones cautivos, señalando que la TC permitió observar las características de las lesiones óseas con un nivel de detalle elevado. Chien et al. (2013) diagnosticaron un meningioma meningotelial en un oso malayo mediante TC, facilitando una visualización clara del tumor y de su relación con estructuras cercanas. En un estudio sobre linfoma en hurones, Suran y Wyre (2013) emplearon TC, ecografía y radiografía para caracterizar la presentación de esta patología en 14 individuos, concluyendo que la TC ofrece una gran ventaja en la evaluación de la extensión de los linfomas. Lacitignola et al. (2021) llevaron a cabo un estudio retrospectivo en zorros rojos con lesiones craneales crónicas, donde la TC resultó crucial para identificar y evaluar el daño craneal a nivel de estructura ósea y tejido circundante.

En casos menos comunes, Karli et al. (2013) documentaron la expansión extracraneal de un meningioma en un felino mediante TC, mostrando la capacidad de esta técnica para evaluar la extensión tumoral más allá del cráneo. En especies de gran tamaño, Fugazzotto et al. (2022) aplicaron la TC en un caso de espondilomielopatía cervical en un tigre de Bengala, destacando la precisión de la técnica en la identificación y seguimiento de lesiones en la columna vertebral en animales exóticos de gran tamaño.

FUNDAMENTOS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RM).

La RM es un método de diagnóstico por imagen no invasivo que emplea energía de radiofrecuencia (RF) no ionizante. Su fundamento físico se basa en un fenómeno que permite a los núcleos atómicos, al ser sometidos a un campo magnético, absorber y posteriormente liberar la energía de RF en una frecuencia específica (Dance, 2014).

El desarrollo de esta tecnología ha sido resultado de múltiples investigaciones a lo largo del siglo XX. En 1946, Felix Bloch y Edward Purcell describieron este fenómeno basándose en los estudios previos realizados por Isidor Rabi en 1938, lo que les valió el Premio Nobel de Física en 1952. Posteriormente, en 1973, Paul Lauterbur desarrolló un método para codificar la señal de RM, mientras que Peter Mansfield estableció una técnica para representar la estructura espacial de los sólidos. En reconocimiento a sus contribuciones, ambos científicos fueron galardonados con el Premio Nobel de Medicina en 2003. Finalmente, en 1980, se lograron obtener en Inglaterra las primeras imágenes clínicas mediante RM, lo que marcó un punto de inflexión en la imagenología médica (Dance, 2014; Grover, 2015).



Figura 28. Equipo de resonancia magnética de alto campo (1,5 T) Canon Medical System. Modelo Elan. Hospital veterinario Los Tarahales. Fuente: Elaboración propia.

Principios físicos

El fundamento de la resonancia magnética radica en la interacción de los núcleos atómicos con los campos magnéticos generados por el sistema. Los núcleos atómicos están compuestos por protones y neutrones, mientras que los electrones, con carga negativa, orbitan alrededor de ellos. Los protones, al tener carga positiva, poseen una propiedad denominada "spin", la cual genera un campo magnético propio conocido como momento dipolar magnético (Bushberg, 2012; Zaragoza, 1992).

El hidrógeno es el elemento más relevante en la RM, ya que es el más abundante en los tejidos biológicos, especialmente en el agua y la grasa, y proporciona una señal de mayor intensidad en comparación con otros elementos (Dennis, 1995; Sierra i Vinuesa, 2023). La disposición de los átomos de hidrógeno en los tejidos influye en la respuesta magnética, dado que aquellos que no forman parte de macromoléculas presentan una orientación aleatoria de sus protones (momento magnético nuclear), lo que impide la observación de magnetización espontánea.

Cuando se aplica un campo magnético externo (B0) a los tejidos biológicos, los núcleos atómicos tienden a alinearse con dicho campo. Los espines nucleares pueden adoptar dos estados energéticos: uno de menor energía, en paralelo con B0, y otro de mayor energía, en sentido antiparalelo. Tanto en líquidos como en sólidos, la mayoría de los espines se orientan en la dirección del campo magnético externo, lo que genera un vector de magnetización neta (M0) alineado con B0.

Un fenómeno crucial en la RM es la precesión, que describe la oscilación de los núcleos en torno al eje del campo magnético aplicado. Este movimiento es similar al de un trompo girando sobre su eje con una inclinación que describe una trayectoria cónica. La velocidad de precesión está determinada por la ecuación de Larmor: $\omega_0 = \gamma B_0$

Donde es la frecuencia de precesión (medida en Hz o MHz), es la constante giromagnética del material y la intensidad del campo magnético aplicado (Bushberg, 2012; Thrall, 2017).

Este fenómeno puede representarse en un sistema de coordenadas tridimensional (X, Y, Z), en el cual el eje Z está alineado con B0. En el plano transversal (X, Y), la suma de las proyecciones de los vectores de los protones en precesión es nula, debido a su distribución aleatoria en direcciones, aunque con la misma frecuencia de precesión. En cambio, en el eje Z se observa un ligero predominio de espines alineados con el campo magnético, lo que genera una magnetización longitudinal (Mz).

En estado de equilibrio, el vector de magnetización neta (M0) se encuentra alineado con el campo magnético externo y cuenta con componentes tanto en el plano transversal (X, Y) como en el eje longitudinal (Z). La magnitud de este vector es significativamente menor en comparación con la intensidad del campo magnético aplicado, lo que hace que su cuantificación sea compleja, debido a que la señal que genera es también débil. Para medir esta magnetización, es necesario proyectar M0 en un plano perpendicular a B0, donde la intensidad del campo no interfiera con la medición.

La alineación de los protones con el campo magnético es mayor en aquellos que se encuentran en un estado de menor energía. Este principio es fundamental para la generación de imágenes por resonancia magnética nuclear. La diferencia entre los dos estados de energía (paralelo y antiparalelo a B0) es proporcional a la intensidad del campo magnético. Si se aplica una cantidad de energía equivalente a esta diferencia, los protones pueden cambiar de nivel energético y modificar su orientación, perdiendo la alineación con B0. Este fenómeno, conocido como resonancia, se produce cuando la energía es suministrada en forma de un pulso de RF.

Una vez que el pulso de RF cesa, los protones regresan a su estado inicial, realineándose con el campo magnético y liberando la energía absorbida. Este proceso, denominado relajación, genera una señal eléctrica que es detectada por 89 las antenas del equipo y utilizada para la formación de las imágenes en un estudio de resonancia magnética nuclear (Bushberg, 2012).

Densidad protónica, Tiempos de relajación T1 y Tiempo de relajación T2

En la resonancia magnética (RM), tres parámetros fundamentales determinan la señal obtenida: la densidad protónica, el tiempo de relajación T1 y el tiempo de relajación T2.

 Densidad protónica (Dp): Representa la concentración de protones (átomos de hidrógeno) en cada vóxel de tejido. Es el parámetro más básico en la RM y está directamente relacionado con la cantidad de agua en un tejido, lo que significa que diferentes tipos de tejidos generarán distintos niveles de señal en función de su contenido hídrico (Valencia-Calderón et al., 2004; Mezer et al., 2016).

El proceso de relajación es aquel mediante el cual el espín de los protones regresa a su estado de equilibrio tras haber absorbido energía de radiofrecuencia (RF). A continuación, se detallan los dos principales tipos de relajación, en relación con su representación cartesiana en los ejes X, Y y Z.

Tiempo de relajación T1: También denominado relajación longitudinal o espín-red, describe el tiempo que tarda el sistema en recuperar el 63% de su magnetización longitudinal tras recibir un pulso de 90°. Durante esta relajación, la energía absorbida se transfiere al entorno del núcleo. La duración del T1 puede modificarse ajustando los intervalos entre pulsos, un parámetro conocido como tiempo de repetición (TR), medido en milisegundos. Además, T1 varía según factores como la temperatura, la intensidad del campo magnético y la presencia de macromoléculas.



Figura 29. Gráfica del tiempo de relajación T1. Fuente: SERAM, 2018.

Tiempo de relajación T2: También denominado relajación transversal o espín-espín, corresponde al tiempo en que la magnetización transversal (Mxy) disminuye hasta el 37% de su valor original tras cesar la radiofrecuencia. Factores como la temperatura, la viscosidad y la interacción con macromoléculas pueden influir en el valor de T2. En la práctica, se usa el parámetro T2*, que incorpora variaciones en el campo magnético externo y otras irregularidades.



Figura 30. Gráfica del tiempo de relajación T2. Fuente: SERAM, 2018.

Secuencias de pulsos

Las secuencias de pulsos en RM permiten obtener imágenes con distintos niveles de contraste, proporcionando información sobre las características estructurales de los tejidos analizados. Una secuencia se compone de una serie de pulsos de radiofrecuencia y la recolección de la señal emitida por los protones tras la relajación. Existen diversas secuencias optimizadas para destacar la densidad protónica, la relajación T1 o la relajación T2, ajustando el tiempo de repetición (TR) y el tiempo de eco (TE) (Haacke et al., 1999; Stark et al., 1999; Kuperman, 2000; Vlaardingerbroek et al., 2003; Edelman et al., 2005).

Dos parámetros clave en la formación del contraste de las imágenes de RM son:

- Tiempo de repetición (TR): Intervalo entre dos pulsos sucesivos de RF, medido en milisegundos. Su ajuste permite controlar la recuperación de la magnetización longitudinal y, por lo tanto, influye en el contraste de la imagen en T1.
- Tiempo de eco (TE): Período que transcurre entre la aplicación del pulso de RF y la detección del eco de la señal. Modificar el TE afecta el contraste en T2, destacando variaciones en la composición del tejido.

La manipulación de estos parámetros permite obtener imágenes potenciadas en T1, T2 o densidad protónica (Dp), cada una con aplicaciones clínicas específicas (Westbrook et al., 1998; Brown et al., 1999; Bitar et al., 2006).

Las imágenes potenciadas en T1 son valiosas para la evaluación anatómica detallada, mientras que las imágenes potenciadas en T2 suelen utilizarse con fines diagnósticos debido a su capacidad para diferenciar estructuras y fluidos. Las secuencias potenciadas en densidad de protones (DP) combinan características de ambas modalidades (Roca, 1992; Riesco, 2009).



Figura 31. Escala de grises en secuencias potenciadas en densidad protónica (A), T1 (B) o T2 (C). Fuente: Alonso, 2015.

A continuación, se describen las secuencias más utilizadas en resonancia magnética nuclear (RM):

Spin-eco (SE)

Esta es una de las secuencias más utilizadas en RM. Se basa en un pulso de excitación de 90°, seguido por un pulso de 180° que refocaliza la señal, permitiendo obtener un eco claro. Su implementación requiere tiempos de repetición (TR) más largos para la recuperación de la magnetización longitudinal. En algunos casos, se emplean pulsos adicionales de refocalización para adquirir múltiples ecos en un mismo TR, lo que se conoce como spin-eco rápida (López, 2002; Yousaf et al., 2018).

Recuperación de inversión (IR)

Esta es una variante de la secuencia SE que incorpora un pulso de inversión de 180° previo al pulso de excitación, con el fin de suprimir señales de componentes específicos, como el agua o la grasa. Se introduce el parámetro de tiempo de inversión (TI), que es el intervalo entre el pulso de 180° y el pulso de excitación de 90°. Si TI es corto, se cancela la señal de la grasa, técnica conocida como STIR (Short Time Inversion Recovery). En cambio, con tiempos de inversión más prolongados, se atenúa la señal de tejidos con alto contenido de agua, procedimiento denominado FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery) (Pooley, 2005; Bitar et al., 2006; Rivera et al., 2011).

Gradiente de eco (GE)

En este tipo de secuencia, en lugar de aplicar un pulso de inversión de 180°, se emplea un gradiente de campo magnético con inversión de polaridad. Además, el pulso inicial es de menor duración, generando un ángulo de inclinación inferior a 90° en la magnetización de los protones. Esta configuración permite reducir el tiempo de adquisición de la imagen, facilitando estudios más rápidos (Rivera et al., 2011; Bushberg, 2012).

Parámetros que influyen en la imagen de RM

Durante la realización de un estudio de resonancia magnética (RM), es fundamental configurar diversos parámetros para garantizar la obtención de imágenes de alta calidad y óptima interpretación. A continuación, se describen los más relevantes:

- Tiempo de repetición (TR): Es el intervalo entre dos secuencias de pulso, expresado en milisegundos. Determina la frecuencia de excitación del sistema y su ajuste influye en el contraste en T1. Valores más cortos aumentan el contraste en T1 y reducen el tiempo total del estudio, mientras que TR prolongados permiten una mayor recuperación de la magnetización longitudinal, incrementando la señal y el número de cortes obtenidos (Gili, 1993; López, 2002; Pirko et al., 2005; Orellana, 2010).
- Tiempo de eco (TE): Define el lapso que transcurre entre la emisión del pulso de radiofrecuencia y la recolección del eco de la señal. Su ajuste modula la potenciación de la imagen, donde TE largos resaltan el contraste en T2 y TE cortos mejoran la intensidad de la señal (Pirko et al., 2005).

- Ángulo de basculación: Hace referencia a la inclinación con la que se rota el vector de magnetización longitudinal. Un aumento en este ángulo genera mayor contraste en la imagen (Limousin et al., 2001; Nitz et al., 2010; Álvarez et al., 2012).
- Número de excitaciones o adquisiciones (NEX o Nadq): Corresponde al número de veces que se mide la señal. Este parámetro influye directamente en la relación señal-ruido y, a su vez, es inversamente proporcional a la duración del estudio (Alonso, 2015; Orellana, 2010).
- Ancho de banda: Representa el rango de frecuencias incluidas en cada pulso y está relacionado con la cantidad de datos transmitidos o recibidos en un determinado tiempo. Un mayor ancho de banda permite adquirir más información en menor tiempo (Rinck, 2019).
- Número de cortes y separación entre cortes: Estos factores afectan la resolución de la imagen. Un mayor número de cortes mejora la resolución, pero si se reduce la separación entre ellos, la resolución del contraste puede verse afectada.
- Grosor de corte: Puede determinarse en función del ancho de banda o de los gradientes de campo. Un mayor grosor de corte incrementa la señal, pero reduce la resolución espacial. Por el contrario, disminuirlo mejora la resolución espacial, aunque con una reducción en la señal obtenida (López, 2002).
- Campo de visión (FOV Field of View): Se refiere al área del cuerpo representada en la imagen. Un FOV mayor incrementa la señal y reduce artefactos de solapamiento, pero disminuye la resolución espacial. En cambio, un FOV reducido mejora la resolución, aunque puede intensificar la presencia de artefactos (López, 2002).
- Matriz de adquisición: Hace referencia al número de elementos que conforman la imagen. Un aumento en la matriz mejora la resolución

espacial, pero reduce la señal y prolonga el tiempo de exploración. Reducir la matriz genera el efecto opuesto (López, 2002).

El tiempo total de adquisición de la imagen en RM se determina considerando el tiempo de repetición (TR), el número de codificaciones de fase (píxeles de la matriz) y la cantidad de adquisiciones (NEX). Se expresa mediante la siguiente ecuación: T= TR x N x NEX

Componentes del equipo de RM

Para la obtención de imágenes por resonancia magnética, es esencial la aplicación de un campo magnético, el uso de pulsos de radiofrecuencia (RF) para modificar la magnetización de los protones, la detección de la señal resultante y su procesamiento para generar la imagen. Los principales componentes de un equipo de RM incluyen:

Imán principal: Genera el campo magnético estable y uniforme requerido para la obtención de imágenes. La intensidad del campo magnético influye directamente en la relación señal-ruido y en la calidad de la imagen obtenida (Yousaf et al., 2018). En RM, la intensidad del campo se mide en Teslas (T), aunque también se emplea el Gauss (G), donde 1 T equivale a 10.000 G. Los equipos clínicos utilizan campos de 1.5 T o 3 T, mientras que en investigación se han desarrollado equipos que alcanzan los 7 T (Suraj et al., 2021).

Los imanes utilizados en RM pueden clasificarse según su composición:

 Imanes permanentes: Fabricados con materiales ferromagnéticos, no requieren energía externa para generar un campo magnético. Son más económicos, aunque su peso puede alcanzar las 100 toneladas. Su principal limitación es la baja intensidad de campo, que no suele superar los 0.3 T.

- Imanes resistivos: Funcionan mediante el paso de corriente eléctrica a través de bobinas, generando un campo magnético. Son más ligeros, pero requieren un alto consumo energético y sistemas de refrigeración. Generalmente, su intensidad máxima es de 0.7 T.
- Imanes superconductores: Utilizan bobinas enfriadas con helio líquido para reducir la resistencia eléctrica y permitir la circulación de altas corrientes. Son los más utilizados en RM médica, alcanzando intensidades superiores a 1 T. Su mantenimiento es costoso debido a la necesidad de sistemas criogénicos.
- Imanes híbridos: Combinan características de imanes resistivos y permanentes, generando campos de hasta 0.4 T y reduciendo el peso del equipo.

En función de la intensidad del campo magnético generado, los imanes pueden clasificarse en (Hayashi et al., 2004):

Alto campo: >1 T Medio campo: 0.5–1 T Bajo campo: <0.5 T

- Bobinas de gradiente: Permiten la codificación espacial de la señal generando campos magnéticos adicionales al campo principal, cuya intensidad varía en los ejes X, Y y Z. Se utilizan tres conjuntos de bobinas de gradiente para localizar planos en distintas direcciones (Rinck, 2019; Suraj et al., 2021).
- Bobinas de radiofrecuencia: También denominadas antenas, son esenciales para la emisión de pulsos de RF y la recepción de las señales de resonancia magnética emitidas por los tejidos. Se clasifican en bobinas de volumen, que captan señales de grandes regiones, y bobinas de superficie, diseñadas para obtener señales localizadas con mayor sensibilidad (McJury et al., 1994; Hernández et al., 2003; Rinck, 2019).

Sistema informático: Controla los pulsos de RF y los gradientes de campo, además de recopilar y procesar los datos obtenidos. Emplea la Transformada de Fourier para convertir la señal en imágenes digitales en escala de grises (Rinck, 2019; Suraj et al., 2021).

Para evitar interferencias electromagnéticas externas que puedan distorsionar la imagen, los equipos de RM cuentan con un aislamiento electromagnético denominado **jaula de Faraday**, que bloquea ondas de radio y otros artefactos de señal (Rinck, 2019).

Medios de contraste en RM

Los medios de contraste utilizados en resonancia magnética (RM) permiten mejorar la diferenciación de estructuras anatómicas y la detección de diversas patologías al modificar las propiedades magnéticas de los tejidos. Estos agentes se administran antes o durante el procedimiento y afectan los tiempos de relajación de los protones, lo que resulta en variaciones en la intensidad de la señal obtenida en las imágenes. Desde la primera aplicación de un medio de contraste en RM, llevada a cabo en la década de 1980 con cloruro férrico, y la introducción del gadolinio en 1984, el uso de estos compuestos ha aumentado significativamente en el ámbito clínico (Young et al., 1981; Carr et al., 1984; Tang et al., 2013).



Figura 32. Imágenes transversales de resonancia magnética pre (**A**) y poscontraste (**B**) de gadolinio, potenciadas en T1. Se evidencia una gran masa extraaxial que realza el contraste. Fuente: Bartels et al., 2018.
Actualmente, los contrastes más empleados son aquellos basados en gadolinio y partículas superparamagnéticas de magnetita, los cuales son solubles en agua. Otros elementos utilizados incluyen disprosio y manganeso.

El gadolinio es ampliamente utilizado debido a su capacidad para reducir los tiempos de relajación T1 y T2. En imágenes potenciadas en T1, su presencia incrementa la intensidad de la señal, mientras que en secuencias potenciadas en T2 produce una reducción de la señal (ver Fig. 15). Los contrastes basados en iones metálicos de transición, como manganeso (II) y hierro (III), también influyen en la relajación T2, alterando el contraste en las imágenes (Wood et al., 1993; Mitchell et al., 1996; Yurt et al., 2008; Shokrollahi, 2013). No obstante, algunos agentes de contraste pueden presentar toxicidad, especialmente aquellos que contienen iones metálicos libres. Para minimizar estos efectos adversos, se emplean complejos quelados, como los utilizados en el gadolinio (III) y los iones lantánidos (Thunus et al., 1999). Las principales vías de administración de estos agentes incluyen la administración oral, empleada principalmente en estudios del tracto gastrointestinal, y la vía intravenosa (Tang et al., 2013).

Las investigaciones actuales están explorando el uso de nuevas sustancias como medios de contraste en RM. Un ejemplo de ello son las nanopartículas de óxido de hierro (IONP), las cuales han sido propuestas como una alternativa a los contrastes convencionales debido a su alta biocompatibilidad y propiedades magnéticas. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales en modelos biológicos para validar su eficacia y seguridad en aplicaciones clínicas (Avasthi et al., 2020).

Artefactos en la imagen de RM

Los artefactos en resonancia magnética son anomalías o distorsiones que pueden afectar la calidad de las imágenes, dificultando su interpretación clínica. Estos artefactos pueden originarse por diversos factores, como el movimiento del paciente, diferencias en las propiedades magnéticas de los tejidos, o limitaciones en la adquisición de la señal. A continuación, se describen algunos de los artefactos más comunes en RM:

Artefactos por movimiento: Suelen ser causados por el desplazamiento del paciente durante la adquisición de la imagen, lo que genera imágenes borrosas o con bandas repetitivas. En medicina veterinaria, la anestesia o la sedación suelen emplearse para minimizar este efecto. También pueden aparecer artefactos debido a movimientos fisiológicos involuntarios, como la respiración, el latido cardíaco, el flujo sanguíneo o el movimiento del líquido cefalorraquídeo (LCR). Para reducir estos artefactos, pueden aplicarse técnicas de sincronización con los ciclos respiratorios y cardíacos, el uso de secuencias rápidas con contención de la respiración, o la administración de fármacos que disminuyan el peristaltismo gastrointestinal (Sobejano et al., 1992; Karis, 2000; López, 2000; Millán, 2000).



Figura 33. Muestra de artefactos de movimiento (flechas) en la dirección de codificación de fases (de derecha a izquierda) consecuencia del movimiento respiratorio. Fuente: Mai, 2018.

- Artefactos por desplazamiento químico: Se generan en interfaces entre tejidos con diferente composición química, como grasa y agua, debido a la diferencia en sus frecuencias de precesión. Este efecto puede manifestarse en la imagen como bandas de intensidad variable. Para minimizar su impacto, se pueden aplicar técnicas de supresión de grasa o ajustar el ancho de banda durante la adquisición (Álvarez et al., 2012).
- Artefactos de susceptibilidad magnética: Son causados por variaciones en la magnetización de diferentes tejidos o por la presencia de objetos metálicos dentro o fuera del paciente, como implantes quirúrgicos, grapas, placas u otros dispositivos ferromagnéticos. Estos artefactos generan distorsiones en la imagen, pudiendo ocultar estructuras anatómicas o alterar el contraste. La prevención de estos artefactos requiere una evaluación previa del paciente y, en algunos casos, el ajuste de los parámetros de adquisición (López, 2019).
- Artefactos de superposición (aliasing, wrap around, foldover): Ocurren cuando estructuras situadas fuera del campo de visión (FOV) son proyectadas dentro de la imagen, produciendo distorsiones visuales. Este efecto puede evitarse aumentando el tamaño del campo de visión, empleando filtros de supresión o ajustando la dirección de codificación espacial (López, 2002).
- Artefactos de truncación (o de Gibbs): Se producen debido a una limitación en la codificación de las frecuencias espaciales, lo que genera imágenes con bandas alternantes de intensidad. Se asemejan a los artefactos por movimiento, pero su origen radica en un muestreo insuficiente de las frecuencias altas en áreas con transiciones bruscas de intensidad de señal. Para reducir su impacto, se recomienda aumentar la matriz de adquisición o aplicar filtros en los datos brutos antes de la reconstrucción de la imagen (Millán, 2000; Álvarez et al., 2012).

ESTUDIOS ANATÓMICOS MEDIANTE RMN EN MEDICINA VETERINARIA.

A continuación, se han recopilado los estudios anatómicos de mayor interés realizados en animales, mediante el uso de la resonancia magnética como técnica de imagen avanzada. Al igual que con la tomografía computarizada, la revisión bibliográfica de las publicaciones más significativas relacionadas con la resonancia magnética en medicina veterinaria, se han centrado en las regiones anatómicas cefálicas, tanto del esplacnocraneo como del neurocráneo, reseñando también publicaciones relacionadas con la región del cuello; y se han estructurado estructurado realizando concreciones de estas regiones en los distintos órdenes o especies de animales en función de la fecha de publicación. La cronología va desde el inicio del uso de esta técnica en la segunda mitad del siglo XX, hasta la actualidad. Es decir, la información se ha organizado por regiones anatómicas principalmente del cráneo y secundariamente del cuello, donde en cada región se ha subdividido en grupos de animales, ordenando las publicaciones de las más antiguas a las más actuales.



Figura 34. Realización de un estudio de imagen por RMN en una cacatúa de cresta amarilla (*Cacatua galerita*). Fuente: elaboración propia

Carnívoros domésticos

Como en otras especies, la RM ha sido muy usada en el **estudio de la anatomía de la cabeza y del sistema nervioso central en carnívoros domésticos**. A principios de los años ochenta, en 1982, Buonanno et al emplearon un equipo de 1,44 T para describir la anatomía del cráneo de un gato, con esta publicación mostraron la capacidad que tenía la RM para visualizar estructuras complejas del cráneo. Por su parte, en la misma década, año 1989, Kraft et al. estudiaron mediante RM la anatomía cerebral de un perro, estableciendo las características anatómicas normales de diferentes regiones cerebrales y proporcionando una base de referencias anatómicas para futuras evaluaciones diagnósticas.

Respecto a los parámetros y metodología para el uso de la RM en este campo, tenemos los estudios de Karkkainen et al. (1991) que definieron los parámetros físicos adecuados para el estudio del sistema nervioso central del perro utilizando equipos de bajo campo, aportando un método de estandarización de los estudios en caninos. Así como el de Stewart et al. (1992) que desarrollaron una metodología de RM para la evaluación de problemas neurológicos en perros, mientras que Tidwell et al. (1994) evaluaron técnicas de imagen en pacientes pediátricos, valorando los beneficios y limitaciones de la RM en animales jóvenes.

Otra publicación interesante es la de De Haan et al., de 1994, que describieron el sistema ventricular del perro, empleando gadolinio para mejorar la visualización de los ventrículos laterales en perros de raza Labrador, proporcionando información sobre la variabilidad normal de esta estructura. Por otro lado, Yamada et al, en 1995, con el mismo enfoque que De Haan, variando condiciones técnicas realizan estudios de RM en un campo bajo, del cerebro y abdomen de gatos jóvenes, estableciendo parámetros específicos para estudios detallados en pacientes pediátricos. Por su parte, Arencibia et al. (1995) presentaron una topografía craneoencefálica del perro en diferentes planos mediante un equipo de 0,5 T, mientras que Kii et al. (1997) valoraron los ventrículos laterales en perros tipo

Beagle, utilizando un equipo de 0,2 T para evaluar las variaciones en estas estructuras.

En estudios anatómicos enfocados en el cerebro canino, Leigh et al. (2008) describieron la anatomía clínica del cerebro del perro mediante RM, proporcionando un análisis detallado de la estructura cerebral y su disposición anatómica. Posteriormente, Kang et al. (2009) realizaron estudios en el cerebro canino utilizando un equipo de 7 T, logrando una visualización sin precedentes de las estructuras cerebrales y destacando los beneficios de los equipos de campo alto para el estudio anatómico detallado. Martín-Vaquero et al. (2011) continuaron este análisis mediante RM a 3 y 7 T, comparando la resolución de ambos campos magnéticos y concluyendo que el aumento en la intensidad del campo mejora la calidad de imagen en estudios detallados del cerebro canino. Mogicato et al. (2011) compararon la anatomía transversal del cerebro canino mediante RM y estudios anatómicos. Y ya Datta et al. (2012) desarrollan un atlas digital del cerebro del perro, proporcionando una herramienta útil para la interpretación y el análisis anatómico de esta estructura.

Estudios relacionados con el cerebro de los felinos domésticos, se reseñan a Thames et al., que en el año 2010 desarrollan un marco referencial de parámetros morfométricos de imágenes de RM para diferenciar animales normales de aquellos con atrofia cerebelar. Para ello utilizaron un equipo de 1,5 T. Un año después, en el 2012, Mogicato et al, describieron la anatomía cerebral normal de los gatos mediante RM, estableciendo un estándar anatómico para imágenes de RM de referencia. Por su parte, Huizing et al., en el 2017, estudia la forma del cerebelo y el hueso occipital en una muestra de 200 gatos de diferentes razas, de tal modo que son capaces de demostrar cómo la RM puede revelar variaciones anatómicas relevantes entre razas.

La RM también ha permitido avanzar en el estudio de la anatomía y topografía de los **nervios craneales en carnívoros domésticos**. En este campo se reseña a Couturier et al., que en el año 2005 publican un análisis detallado de la forma en la que emergen los nervios craneales y de los forámenes craneales en los perros. Para

104

ello utilizan tanto la RM como la TC. En esta publicación se describen las ubicaciones y disposiciones de estos nervios en el cráneo. Sobre las mismas estructuras anatómicas, Gomes et al. en el año 2009, y en esta ocasión sobre gatos, usando RM y TC, documentaron la forma en la que emergen los nervios craneales y sus forámenes asociados, proporcionando las referencias anatómicas específicas, esta vez para la especie felina. Y en un estudio sobre el nervio trigémino, Pettigrew et al, en el año 2009, aplicaron realce de contraste en una RM para visualizar este nervio en perros sin signos de neuropatía, describiendo las características anatómicas de este nervio en condiciones normales.

En el caso de la glándula pituitaria, la RMN ha sido una herramienta crucial para la evaluación anatómica y funcional en animales de compañía, ejemplo de ello tenemos: Graham et al. (2000) que realizaron estudios dinámicos de la pituitaria normal en perros, proporcionando una visualización en tiempo real de su fisiología; Kippenes et al. (2001) que desarrollaron una técnica de mensuración para la glándula pituitaria en perros mediante RM, obteniendo valores de referencia que facilitan la identificación de variaciones patológicas en esta estructura; en la especie felina, Hausler et al. (2018) que midieron la glándula pituitaria en gatos braquicefálicos y mesocéfalos, destacando diferencias morfológicas entre estos tipos craneales, mientras que Kim et al. (2023) analizaron el tronco encefálico en perros de razas pequeñas, de forma diametral, mediante RM, proporcionando datos que contribuyen a una mejor comprensión de la relación entre la el sistema nervioso central y glándula pituitaria de diferentes especies y tipos craneales.

En lo referente a los **senos paranasales y las cavidades nasales de los perros,** la RM también ha sido utilizada. Muestra de ello son los siguientes estudios: De Rycke et al. (2003), que emplearon tanto RM como TC para estudiar la anatomía de los senos paranasales y las cavidades nasales en perros mesaticefálicos. Esta publicación proporciona una descripción muy concreta de las estructuras normales. El establecer un marco anatómico de imágenes de RM facilita la evaluaciones diagnósticas de lesiones en las áreas descritas.

En cuanto al uso de la RM sosbre los **ganglios lifáticos**, Kneissl y Probst en el año 2006, describieron con la RM los ganglios linfáticos de la cabeza y el cuello en perros en condiciones fisiológicas normales, y tal y como venimos afirmando en esta revisión, todo este tipo de descrpciones anatómicas a través de RM, sirven de referencia para estudios que involucren lesiones en las regiones anatómicas estudiadas, en este caso los gánglios linfáticos en la región del cuello y la cabeza.

La RM también ha sido aplicada en el estudio detallado de los **órganos de los sentidos** de los carnívoros domésticos, permitiendo la visualización detallada de estructuras auditivas, oculares y nerviosas. En la descripción de la anatomía del oído, se referencia a Allgoewer et al, que en el año 2000, emplearon la RM para describir el oído medio de los gatos, lo hicieron comparando características anatómicas de oídos sanos y enfermos. También se encuantra a Kneissl et al., que en 2004 exploraron las características de las imágenes de RM del oído medio e interno de los perros, en este caso utilizando equipos de bajo campo. En un estudio posterior, del año 2011, Wolf et al, optimizaron la calidad de imagen de RM en el estudio del oído de perros sanos, logrando una mejor definición de las estructuras auditivas.

El estudio anatómico de los ojos y sus estructuras relacionadas ha sido también un campo de interés en la aplicación de la RM en animales de compañía, ejemplo de ello son los estudios de Grahn et al. (1993) que realizaron una descripción detallada del globo ocular, la órbita y el nervio óptico en perros y gatos mediante RM a un campo de 2 T, estableciendo referencias para estas estructuras. Por su parte, Morgan et al. (1994) utilizaron un equipo de 0,5 T para estudiar el ojo y la órbita en ambas especies, ofreciendo una base comparativa entre campos bajos y altos en la evaluación de la anatomía ocular. Otra publicación encontrada en esta revisión es la de Shen y colaboradores, que en el 2006 mediante un equipo de 4,7 T, para analizan las capas tisulares y vasculares de la retina de un gato, consiguiendo una imágenes de RM con detalles precisos de la estructura retinal. En perros, se reseña la publicación Boroffka et al. (2008), que analizaron el nervio óptico mediante RM y la de Lodzinska et al. (2021) que realiza un estudio del globo ocular y la vaina del nervio óptico en gato, este trabajo consiste en la realización de una comparación 106

de las características de estas estructuras anatómicas en presencia o ausencia de hipertensión intracraneal. En el mismo año, esta vez sobre perros, Manchip et al. emplean una secuencia ponderada en T1 para obtener imágenes detalladas del ojo en perros. Yilmaz y Durmaz, por su parte, en el año 2021, publican un artículo con imágenes de RM y TC realizando un estudio morfométrico del bulbo ocular en gatos Van con el objetivo de aportar datos sobre la estructura ocular en esta raza. Ya en el año 2022, Ivan y colaboradores, utilizan RM de alta resolución a 3 T para examinar el ojo canino, y comparan las imágenes con las obtenidas mediante ecografía convencional y biomicroscopía ultrasónica, como conclusión resaltan la capacidad de la RM para detallar estructuras oculares complejas.

Sobre la región del cuello, la RM ha sido aplicada fundamentalmente en el estudio de las glándulas y los linfonodos. Así se referencia a Kneissl y sus colaboradores, que en el 2006, aplican la RM para evalúan los linfonodos en caninos, y contribuyen a establecer una base de conocimiento para la posterior comparación con estudios de linfopatología. En el año 2008, Taeymans et al analizan con RM la glándula tiroides en perros, visualizan detalladamente su morfología fisiológica y su relación con las estructuras cervicales circundantes.

Ungulados domésticos

La investigación sobre la anatomía de los équidos mediante RM ha sido menos prolífica en comparación con los estudios en pequeños animales, y siendo el **caballo** la especie donde se centran la mayoría de los estudios. En concreto la anatomía de la cabeza y cuello son áreas de gran importancia y por tanto objeto de estudio. Por otro lado resaltar la baja disponibilidad de equipos de RM adaptados a grandes animales.

En el estudio de las estructuras oculares de los équidos, Morgan et al. en el año 1993, realizaron un análisis de la anatomía del ojo y la órbita en caballos mediante RM, proporcionando una referencia anatómica detallada de esta región en condiciones normales. En el ámbito de la neuroanatomía, Chaffin et al. (1997) en la misma década de los 90, exploraron el cerebro de potros neonatos mediante RM, ofreciendo una visualización precisa de las estructuras cerebrales y estableciendo parámetros normales para el desarrollo neurológico en esta etapa temprana de vida.

En cuanto a la RM de las cavidades nasales y senos paranasales en caballos, Arencibia y su equipo de la facultad de veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, al comienzo del nuevo milenio evaluaron la cavidad nasal y los senos paranasales en caballos usando un equipo de 1,5 T y secciones anatómicas con las imágenes de RM. Un año después, se publica un estudio similar por Marva et al (2001), estudió los divertículos de las trompas auditivas en caballos, utilizando una combinación de RM y TC junto con cortes anatómicos para mejorar la visualización y comprensión de estas estructuras.

En cuanto al análisis de la estructura cerebral en équidos adultos, Vázquez et al. (2001) realizaron un estudio anatómico de dos cerebros equinos mediante RM, mientras que Arencibia et al. en el mismo año, y un año después de su publicación de los senos paranasales, publicaron un análisis más extenso de la anatomía cerebral equina, estableciendo referencias sobre la disposición de los lóbulos y estructuras cerebrales en caballos adultos.

En cuanto a la anatomía general de la cabeza equina, ha sido objeto de estudios detallados en diversas publicaciones. Tucker y Farrell también en el 2001 revisaron el uso de la TC y la RM, en el estudio de la cabeza de caballos, describiendo las características anatómicas y el uso de ambas técnicas en un contexto clínico. En otro estudio anatómico del año 2003, Passino y su equipo evaluaron la cabeza equina mediante RM, describiendo las estructuras anatómicas en condiciones normales. Por su parte, Aref et al. (2019) se centraron en identificar las estructuras normales de la cabeza del caballo, con especial énfasis en los senos paranasales, combinando la RM con secciones anatómicas.

En los últimos años la descripción del sistema nervioso ha experimentado un avance extraordinario gracias a la RM de alto campo. En este sentido Schmidt et 108

al, en el año 2019, mediante un equipo de 3 T, visualiza el cerebro del caballo, obteniendo un nivel de detalle sin precedentes en la neuroanatomía equina, ofreciendo un material muy valioso para el estudio de la anatomía comparada. Otra publicación interesante es la del año 2022, de Hobbs et al, que mediante RMN, estudiaron la glándula pituitaria normal en caballos mediante RM.



Figura 35. Imágenes transversales (A) precontraste ponderadas en T1 y (B) ponderadas en T2 de glándulas pituitarias equinas.

La mayoría de los estudios anatómicos con RM en **suidos** están relacionados con la experimentación biomédica, y ha sido aplicada principalmente en estudios anatómicos y de neuroimagen para mejorar la comprensión de la estructura craneal y cerebral. Marcilloux et al. (1993), llevaron a cabo uno de los primeros estudios en el cerebro del cerdo bajo condiciones estereotáxicas, utilizando RM para obtener una visualización precisa de la morfología cerebral, lo que facilitó el estudio detallado de la estructura cerebral en esta especie. Más recientemente, Fil et al. (2021) publicaron un atlas basado en RM de alta resolución de cerdos jóvenes y adolescentes, proporcionando una herramienta muy útil para el análisis del desarrollo cerebral en esta especie y ofreciendo una referencia morfológica detallada para futuros estudios comparativos.

La vascularización craneal y del cuello en suidos también ha sido objeto de estudio mediante RM, como animal modelo. Por ejemplo, Habib et al. (2013) emplearon esta técnica en cerdos de la raza Yucatán para explorar la vascularización de la cabeza y el cuello, logrando una visualización detallada de los vasos y su 109 disposición anatómica, lo cual resulta fundamental para investigaciones en angiografía y estudios de perfusión en animales modelo.

En un enfoque amplio de la anatomía craneofacial, Kyllar et al. (2014) compararon la radiografía, tomografía computarizada (TC) y RM para examinar las estructuras craneofaciales del cerdo, concluyendo que las ventajas de la RM para la evaluación de tejidos blandos y la estructura interna del cráneo son notorias, pero que la TC y la radiografía son más idóneas en la visualización de detalles óseos. Este enfoque comparativo permitió obtener una visión más integral de la anatomía craneofacial en suidos.

Schmidt (2015) exploró la anatomía comparativa del cerebro del cerdo, mediante un estudio de RM detallado con especial atención a la morfología externa de la corteza cerebral. Este estudio destaca las similitudes y diferencias anatómicas entre el cerebro de los suidos y el de otras especies, proporcionando un contexto valioso para investigaciones en neurociencia y estudios comparativos sobre la organización cortical.

La aplicación de la RM en el estudio anatómico de **rumiantes domésticos** ha sido limitada en comparación con otras especies, centrándose principalmente en la evaluación de estructuras craneales y encefálicas. Resaltar las dificultades técnicas asociadas al tamaño de estos animales, así como su uso para la producción animal, lo que hace que determinadas técnicas como las técnicas avanzadas de imagen, se limiten a la investigación, y no a la práctica clínica diaria.

Sobre la especie bovina, nombrar al trabajo de Williams et al, que en 1990 emplearon la RM para estudiar los tejidos oculares mediante espectroscopia de 1H, referenciando las estructuras anatómica oculares en esta especie. Veinte años después, Schmidt et al, en el 2009, realizaron mediante RM de alta resolución, un análisis neuroanatómico detallado del cerebro del terneros, describiendo con precisión las estructuras cerebrales y su disposición anatómica.

En camélidos, los estudios han abordado la anatomía craneoencefálica tanto en neonatos como en adultos. Así tenemos a Arencibia et al. (2004), del departamento

de morfología de la facultad de veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, que utilizaron un equipo de 1,5 T para evaluar el cerebro de camellos recién nacidos, mientras que en un estudio posterior, Arencibia et al. (2005) describieron la anatomía de las estructuras craneoencefálicas en camellos adultos, detallando la morfología del encéfalo y su relación con el cráneo mediante técnicas de RM.

La especie caprina también ha sido objeto de estudios anatómicos mediante imágenes RM. De entre estos estudios se destacan: el de Kassab en el 2011, que utilizó la RM junto a cortes anatómicos macroscópicos para describir el cerebro de la especie caprina (*Capra hircus*), proporcionando imágenes detalladas de sus estructuras encefálicas y proporcionando una comprensión mayor de la neuroanatomía caprina. En un estudio comparativo, Schmidt et al. en el 2012, analizaron la anatomía cerebral en diferentes rumiantes domésticos, mediante la RM identificaron similitudes y diferencias morfológicas entre especies, haciendo énfasis en la variabilidad anatómica inter-específica.

En cuanto a la especie ovina, Staudacher et al, en el año 2014 publicaron un artículo en el que con imágenes de RM guían el acceso estereotáxico al tronco encefálico, demostrando la precisión de esta técnica para intervenciones quirúrgicas, en este caso sobre la especie ovina. Además, Lee et al., en el 2015, aplican sobre el cerebro de ovejas, técnicas de RM funcional y de tensor de difusión, consiguiendo una evaluación detallada de la conectividad y funcionalidad cerebral en esta especie, lo que crea un precedente de estudios sobre plasticidad y patologías neurológicas en rumiantes.

Animales exóticos y de vida libre

En el caso de los roedores, el uso de la resonancia magnética (RM) en estudios anatómicos del sistema nervioso y órganos internos ha sido principalmente orientado hacia la investigación biomédica, con datos extrapolables a la especie humana y, por tanto, de menor relevancia desde una perspectiva veterinaria. Sin embargo, algunos trabajos en roedores aportan información anatómica valiosa que 111 puede extrapolarse parcialmente a especies relacionadas, como el *Hystrix cristata*, especie de estudio de esta tesis.

En estudios de la fisiología del **sistema renal**, se reseña a Heilmann et al. (2012) que utilizan la RM para cuantificar el número y tamaño de los glomérulos en ratas sanas, obteniendo datos que pueden servir como base comparativa en estudios futuros de roedores como el puercoespin. Hua et al. (2023) analizaron la deposición de gadolinio en el cerebro de ratas mediante RM cuantitativa, la información que esta publicación aporta puede ser de utilidad para la realización de futuros estudios sobre el puercoespin con el uso de medios de contraste.

En investigaciones con aplicaciones anatómicas directas, Hansen et al. (1980) logran imágenes in vivo de la anatomía de la rata mediante RM, proporcionando una visualización detallada de estructuras internas de los roedores, lo que ofrece una referencia útil en especies de este orden, como el *Hystrix cristata*. En un estudio relacionado con la circulación cerebral, Maki et al. (1991) emplearon RM para observar cambios en el flujo sanguíneo cerebral en la respuesta tras la exposición al dióxido de carbono.

Otra área de interés anatómico en esta tesis es el ojo. Cecker et al. (1991) lo examinan en conejos mediante RM, y documentan la disposición de las estructuras oculares, información que podría ser relevante en estudios futuros sobre el ojo del *Hystrix cristata*. En el contexto de investigaciones anatómicas post-mortem, Shutter et al. (1995) evaluaron los efectos del sacrificio en el hígado, riñón y cerebro de ratas, destacando aspectos que pueden ser considerados en el manejo de tejidos. Asimismo, Canet et al. (1996) mediante RM funcional para estudian en conejos la isquemia hepática, empleando un agente de contraste para delinear las zonas afectadas. Esta metodología podría adaptarse a estudios de órganos internos en el *Hystrix cristata*.

En investigaciones más recientes, Dimitrov, en el año 2021, emplearon la RM para estudiar la glándula prostática en conejos, visualizando detalladamente los detalles anatómicos de esta estructura y aportando datos que podrían inspirar estudios comparativos en otros roedores, como el *Hystrix cristata*.

112

Fuera del orden rodentia, RM ha sido aplicada en estudios anatómicos, permitiendo una exploración detallada de estructuras anatómicas clave. En esta revisión bibliográfica, y en coherencia con los objetivos de este trabajo doctoral, enfocado a determinadas regiones anatómicas del puercoespín (*Hystrix cristata*), se ha priorizado el análisis de publicaciones que versan sobre el cráneo, sistema nervioso, órganos de los sentidos y cuello, regiones anatómicas relacionadas con el objeto de estudio de esta tesis por compendio. Aunque estos estudios suelen estar limitados a especies específicas y presentan un menor volumen de publicaciones en comparación con animales de compañía, los resultados obtenidos han proporcionado unas referencias anatómicas valiosas para la investigación veterinaria.

En cetáceos, Marino et al. en el año 2002 realizaron una descripción detallada de la neuroanatomía del delfín común (*Delphinus delphis*) mediante RM, un año después este mismo grupo de investigación, Marino et al. (2003a), llevaron a cabo un estudio similar en la marsopa (*Phocoena phocoena*), revelando características anatómicas del cerebro de estos mamíferos marinos. En otro trabajo, Marino et al. (2003b) estudiaron el cerebro de un cachalote enano (*Kogia simus*), proporcionando imágenes detalladas de las estructuras cerebrales y su morfología. Por su parte y sobre este grupo de animales, Ridgway y colaboradores, en 2006, aplicaron la RM funcional para estudiar el flujo sanguíneo en el delfín mular (*Tursiops truncatus*), esto permitió comprender determinados aspectos de la función cerebral de estos animales.

También reseñar a Montie et al, que en el 2009, utilizaron la RM para estudiar la neuroanatomía y el volumen de las estructuras cerebrales del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), estableciendo una base de datos que sirve de referencia para futuras investigaciones en neuroanatomía de los animales marinos.

En carnívoros exóticos, el tigre de Bengala (*Panthera tigris tigris*) ha sido objeto de varios estudios anatómicos mediante RMN. Arencibia et al. (2015) emplearon esta

técnica para examinar la articulación de la rodilla en un tigre de Bengala, proporcionando imágenes detalladas de la estructura anatómica de esta región.



Figura 36. Imágenes dorsal de RMN de la articulación de la rodilla. Fuente: Arencibia (2015)

Tres años después, en el año 2019, Arencibia et al vuelven a publicar sobre el tigre de bengala, y evalúan la articulación del tarso, para ello utilizando tanto imágenes de TC como de RM para ofrecer una visión integral de esta articulación. Por su parte, Encinoso y colaboradores, en el año 2019, de la Falcultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, igual que Arencibia, estudian la articulación del codo en el tigre de Bengala mediante RM y disecciones anatómicas, mostrnado una descripción más precisa de la morfología articular en grandes felinos.

En reptiles, los estudios anatómicos utilizando RM son muy escasos. Se reseña a Contreras (2005) que llevó a cabo un estudio de la cabeza de la tortuga boba (*Caretta caretta*) mediante RM, en este artículo se describe la morfología craneal y sus relaciones anatómicas internas. Este estudio ofrece una referencia importante para el estudio de la anatomía de los reptiles, donde el uso de RM sigue siendo poco frecuente.

Estos estudios anatómicos en animales exóticos no solo contribuyen a un mayor entendimiento de la anatomía de estas especies, sino que también establecien bases metodológicas y anatómicas que pueden extrapolarse a investigaciones en especies con estructuras anatómicas similares, es decir el estudio de la anatomía comparada, y además proporciona unmarco de referencias útiles para la aplicación de la RM en la medicina veterinaria. En el campo de los estudios anatómicos en aves mediante RM, al igual que en otros grupos de animales, la mayoría de las publicaciones se centran en el análisis del cráneo, el sistema nervioso central y los órganos de los sentidos, en línea con las áreas de interés de esta tesis. Así, la RM ha permitido visualizar la anatomía interna y tridimensional de diferentes especies de aves, aportando datos valiosos tanto para la investigación anatómica como para estudios comparativos en neuroanatomía:

Morgan et al. (1994) analizan mediante RM el ojo y la órbita de un búho chillón (*Otus asio*), proporcionando una base descriptiva de las estructuras oculares de las aves rapaces.

Romagnano et al. (1996) realizan un estudio anatómico del cerebro y la cavidad celómica de las palomas domésticas (*Columba livia*), aportando una comprensión amplia de la morfología interna y la disposición de determinados órganos en esta especie.

Verhoye et al. (1998) mediante RM 3D obtienen imágenes in vivo del cerebro de pequeñas aves cantoras, como el canario (*Serinus canaria*).

Van der Linden et al. (1998) emplean RM de alta resolución para estudiar el cerebro de los oscines, proporcionando modelos detallados y tridimensionales de la estructura cerebral en canarios.

Por otro lado, Corfield et al. (2008) estudiaron el cerebro de cuatro especies de kiwi (*Apteryx spp*.) en especímenes post mortem mediante RM, obteniendo detalles tanto de la morfología interna como del volumen cerebral, lo cual resultó útil para estudios comparativos en aves. En otro trabajo de ese mismo año, Poirier et al. (2008) desarrollaron un atlas tridimensional del cerebro del pinzón cebra (*Taeniopygia guttata*) en coordenadas estereotáxicas, lo cual facilitó el estudio de la estructura cerebral de esta especie y permitió la elaboración de mapas cerebrales específicos. De manera similar, Gunturkun et al. (2012) crearon un atlas descendentes en el cerebro de la paloma (*Columba livia*), el diamante cebra y el canario, estableciendo una referencia detallada de los circuitos neuronales.

Jirak y sus colaboradores, en el año 2015, utilizando la TC y la RM estudian cuantitativamente el SNC del faisán de cuello anillado (*Phasianus colchicus*), y aprovechando las ventajas de ambas técnicas obtienen datos anatómicos muy exactos. Por su parte, De Groof et al, un año después, en el 2016 publicaron un atlas digital tridimensional del SNC del estornino (*Sturnus vulgaris*), proporcionando un modelo anatómico de alta resolución para el estudio comparativo de la neuroanatomía en aves cantoras.

Más recientemente, Stańczyk et al. (2018) analizan el sistema nervioso central, el ojo y el oído interno en aves rapaces, incluyendo el ratonero común (*Buteo buteo*) y el milano real (*Milvus milvus*), aportando una referencia valiosa para el estudio de las estructuras sensoriales y nerviosas en rapaces. Este estudio fue realizado por un equipo de 3.0 T.

ESTUDIOS CLÍNICOS MEDIANTE RMN EN MEDICINA VETERINARIA.

Carnívoros domésticos

La resonancia magnética nuclear (RMN) se ha consolidado como la técnica de elección para el diagnóstico y caracterización de alteraciones cerebrales en carnívoros domésticos, permitiendo una visualización precisa de diversas **patologías intracraneales**.

En el ámbito de los **quistes intracraneales**, Vernau et al. (2002) describieron mediante RM dos casos de quistes intraaracnoideos con hemorragia intracística en perros, logrando identificar las características y la localización anatómica específica de estos quistes. Posteriormente, Matiasek et al. (2007) exploraron las características clínicas y las imágenes obtenidas por RM de quistes cuadrigéminos en perros, destacando la capacidad de esta técnica para diferenciar los quistes de otras alteraciones intracraneales. Más recientemente, Alves et al. (2018) realizaron un estudio retrospectivo en 26 perros, diagnosticando quistes aracnoideos cuadrigéminos mediante RM y tomografía computarizada (TC). Este estudio volvió a demostrar la utilidad de la RM para identificar con precisión la extensión y morfología de los quistes, contribuyendo al manejo clínico adecuado de estos pacientes.

La RMN se ha consolidado como una herramienta clave para la diferenciación y el diagnóstico de **alteraciones infecciosas e inflamatorias del sistema nervioso** central de carnívoros domésticos.

Lowrie et al, en el año 1989, realizan un estudio preliminar sobre un caso experimental de meningitis canina, evaluando la utilidad de la RMN, con esta publicación queda paatente que la RMN se puede usar para identificar signos iniciales de inflamación en el sistema nervioso. Brennan y colaboradores en el 1993, analizaron un caso de necrosis por radiación con edema en el cerebro de un perro, para ello combinan la tomografía por emisión de positrones (PET) con RM, para ofrecer una visión completa de los cambios patológicos en los tejidos cerebrales afectados por procesos inflamatorios y de necrosis.

A finales del siglo XX, 1999, Lotti et al documentaron un caso clínico de encefalitis necrosante en un Yorkshire Terrier, donde gracias a la RM se pudo visualizar la gravedad del proceso inflamatorio, y además se pudieron relacionar los signos clínicos con hallazgos de imagen. Lamb et al, en el 2005 estudiaron las características de las imágenes de RM en perros con elementos inflamatorios en el líquido cefalorraquídeo. Sobre procesos inflamatorios del SNC también se reseña a Cherubini et al., que un año después de Lamb, con una muestra de 11 perros, describieron los hallazgos específicos de meningoencefalomielitis granulomatosa, y concluyen que con las ventajas en la precisión de la RM para identificar distintos patrones de inflamación intracraneal.

En cuanto a las **enfermedades inflamatorias no infecciosas**, Carwardine y Granger (2013) usaron la RM para detectar alteraciones inflamatorias del sistema nervioso central en perros. Un año después, Furtado et al. (2014) se centraron en la inflamación nasal, resaltando el valor de las imágenes de la RM en casos de etiología incierta. En un estudio más reciente, Duperrier et al. (2020) documentaron un caso de diabetes insípida central en un gato, asociada a un quiste en la silla turca, donde la RM fue fundamental para localizar la etiología primaria de dicha diabetes.

Im et al., en el año 2020 analizaron los patrones de imágenes de RM en 32 perros con meningoencefalitis de etiología desconocida, revelando hallazgos que contribuyen a un diagnóstico orientativo en casos de clínica inflamatoria sin causa clara.



Figura 37. Imágenes transversales ponderadas en T1 con contraste. Fuente: Im et al. (2020)

En el contexto de las **enfermedades degenerativas**, la RM también ha sido de gran importancia para reseñar cambios estructurales en el sistema nervioso de carnívoros domésticos. Se reseña a Mariani et al. (2001) que documentaron un caso de degeneración esponjosa del sistema nervioso central en un labrador retriever, destacando cómo la RM permitió identificar las áreas de daño neuronal asociadas con esta enfermedad. En el año 2020 Dewey et al estudiaron la disfunción cognitiva canina en perros mayores, encontrando una reducción significativa en el volumen del hipocampo en perros afectados en comparación con los sanos, lo que refuerza el valor de la RM en la detección de cambios degenerativos específicos. También cabe reseñar a Lewis et al. que en el año 2021 emplearon técnicas avanzadas de RM, como la imagen por tensor de difusión, para analizar la mielopatía degenerativa en perros, mostrando alteraciones en la estructura cerebral que subrayan el deterioro neurodegenerativo.

En relación con las **patologías cerebrovasculares**, la RM se presenta como una herramienta fundamental para el diagnóstico de infartos y hemorragias cerebrales. Ya en el año 96, Thomas et al. (1996) describieron casos de infartos cerebrales en perros, proporcionando una base para el uso de la RM en la identificación temprana de estas lesiones. Un año después, Thomas et al. (1997) publicaron los hallazgos sobre una hemorragia intracraneal secundaria a una malformación vascular, donde la RM permitió visualizar la hemorragia y evaluar su impacto en el tejido circundante. Más adelante, McConnell et al. (2005) investigaron accidentes cerebrovasculares cerebelosos en 12 perros, confirmando la eficacia de la RM para identificar la localización y extensión de los daños. Garosi et al. (2006) también analizaron las características de la RM en casos de infartos cerebrales en 40 perros, documentando tanto la topografía como las manifestaciones clínicas de estas lesiones vasculares.

En investigaciones más recientes, Arnold et al. (2020) se centraron en la identificación de enfermedades isquémicas y hemorrágicas en el cerebro de perros, destacando las diferencias en las imágenes de la RM entre ambos tipos de eventos vasculares. Por último, Olszewska et al. (2020) reportaron un caso de colapso ventricular hemisférico y hemorragia subaracnoidea espontánea en un 119

perro con hidrocefalia congénita, donde la RM fue crucial para observar las complicaciones cerebrales asociadas.

Los **hematomas intracraneales** representan otro ámbito en el que la resonancia magnética (RM) ha demostrado ser una herramienta de diagnóstico esencial en carnívoros domésticos. Kitagawa et al. (2005) documentaron el caso de un hematoma intracerebral traumático en un perro, utilizando la RM para describir las imágenes obtenidas y responder las características clínicas. Un año después, Tamura et al. (2006) realizaron un estudio secuencial de RM para monitorizar la evolución de un hematoma intracraneal en un perro, demostrando la utilidad de la RM en el seguimiento del hematomas a lo largo del tiempo. Stalin et al. (2008) reportaron un hamartoma vascular cerebeloso en un gato British Shorthair, evaluándolo mediante la RM. Más recientemente, Whitlock et al. (2021) describieron las características de RM de hematomas intra-axiales en perros, utilizando un equipo de 1.5 Tesla para obtener una visualización precisa de las áreas afectadas.

De la misma forma, las **patologías cerebrales adquiridas o congénitas**, como la hidrocefalia y el meningoencéfalocele, también han sido objeto de estudios en la literatura veterinaria mediante el uso de RMN. Vullo et al., por ejemplo, en el año 1997, analizaron la ventriculomegalia cerebral en beagles adultos sanos utilizando RMN cuantitativa para evaluar el tamaño de los ventrículos cerebrales. En otro ejemplo, Targett et al. dos años después (1999) documentaron la presencia de un quiste dermoide medular con hidrocefalia secundaria en un perro, donde la RM fue crucial para identificar las alteraciones anatómicas. Por nombrar otro ejemplo, Johnson et al. (2001) investigaron un caso de ataxia cerebelosa familiar con hidrocefalia en bullmastiffs, en el cual la RM reveló características hereditarias de la patología.

La RMN también ha permitido la identificación de **alteraciones congénitas** menos comunes, como la lisencefalia en perros de raza Lhasa Apso, reportada por Saito et al. (2002), quienes pusieron de relieve la capacidad de la RM para identificar la falta de circunvoluciones en el cerebro. Más recientemente, Gunther et al. (2020)

120

describieron la formación de un meningoencéfalocele tras la extirpación de un meningioma en el lóbulo frontal de un gato, constituyendo un ejemplo de cómo la RM ayuda a visualizar complicaciones posquirúrgicas. Otro ejemplo de que la RM constituye una herramienta esencial en cirugía es el artículo de Nozue et al. (2020) en el que detallaron el tratamiento quirúrgico de un meningoencéfalocele intranasal en un gato, y cómo la RM desempeñó un papel fundamental para planificar la cirugía y evaluar la extensión de la lesión.

En la línea de las **patologías de la cavidad nasal**, la RMN ha facilitado el diagnóstico de enfermedades complejas en carnívoros domésticos. El estudio de Saunders et al. (2004) es un ejemplo de ello, donde en perros con aspergilosis nasal, evalúan las características radiográficas, de RM, tomográficas y rinoscópicas de la enfermedad, dejando palpable la versatilidad de la RM en la detección de infecciones fúngicas invasivas. Posteriormente, Miles et al. (2008) establecieron una la correlación entre los hallazgos de RM y el diagnóstico histológico en perros con enfermedades nasales, con una muestra de 78 casos y resaltaron la precisión de la RM para diferenciar entre diversas patologías nasales.

En un caso reciente, Petit et al. (2023) documentaron un meningioma de grado I con lisis concurrente de la lámina cribiforme en un perro, mediante la RM y la TC visualizaron la extensión de la neoplasia y su impacto en las estructuras nasales y adyacentes.

En el estudio del globo ocular y sus estructuras adyacentes de los carnívoros domésticos, la RMN ha permitido una evaluación precisa de las **patologías oculares y de la órbita**. Ejemplo de ello son los artículos de hace ya 30 años, de Davidson y Kraft, que utilizaron la RM para evaluar un linfosarcoma multicéntrico en un perro. Posteriormente, Morgan y colaboradores en 1996, emplean la RM en perros y gatos con enfermedades oculares, incluidas la neuritis óptica y celulitis orbitaria, y muestran la eficacia de esta técnica en el diagnóstico de lesiones orbitarias. Un año después, Cytryn et al, mediante RM realizan un diagnóstico diferencial entre el linfoma orbital y el síndrome inflamatorio orbital.

Tidwell y colaboradores (1997) realizaron un estudio comparativo de RMN y TC para evaluar el agrandamiento del seno cavernoso en un perro con exoftalmos unilateral, lo cual contribuyó a demostrar la importancia sobre el valor de la RMN en el diagnóstico de anomalías intracraneales vinculadas a patologías oculares. Por su parte, Dennis en una publicación del año 2000 se centra en la utilidad de la RM en el estudio de enfermedades orbitarias en pequeños animales, brindando una revisión detallada de sus aplicaciones. En un caso de melanoma ocular, Kato et al. (2005) usaron la RM para evaluar la extensión de la neoplasia en el ojo de un perro, mientras que Kitagawa et al. (2009) aplican esta técnica en el diagnóstico de una meningoencefalomielitis granulomatosa ocular, mostrando la precisión de la RMN para detectar lesiones complejas en el sistema nervioso ocular.

Ya en la segunda década del presente milenio tenemos estudios como los de Seruca et al. (2010) y Armour et al. (2011) que publican sendos trabajos sobre la ceguera postretiniana y revisaron casos de RM en pacientes caninos y felinos con enfermedades orbitarias, respectivamente, y aportan más evidencias sobre la capacidad de esta técnica de imagen para visualizar tanto estructuras intracraneales como orbitarias. Mencionar también un estudio de diagnóstico avanzado, de Lavaud et al. (2019), que utilizaron una bobina de alta resolución en RM para localizar un cuerpo extraño conjuntivoescleral en un perro. Estudios como los de Moris et al. (2021) y Lee et al. (2022) resaltan la importancia de la RMN en casos de neuritis óptica y pseudotumores orbitarios, respectivamente, redundando en su efectividad para evaluar diversas patologías inflamatorias y neoplásicas en los órganos de los sentidos.



Figura 38. Imágenes de RMN en proceso inflamatorio orbitario. Fuente: Lee et al. (2022)

En lo relativo a las **patologías del oído**, Dvir et al. (2000) escribieron sobre el uso de la RMN para diagnosticar casos de otitis media en perros, concluyendo en la superioridad en la evaluación de la región del oído medio en comparación con otros métodos de imagen. Garosi et al. (2003) publicaron una revisión sobre el diagnóstico de enfermedades auditivas en perros y gatos; por su parte, Sturges et al. (2006) investigaron infecciones otógenas intracraneales en perros y gatos, donde la RMN fue esencial para observar la extensión de la infección desde el oído hacia el sistema nervioso central.

Casi 10 años después, Harran et al. (2012) documentaron el uso de la RMN para identificar colesteatomas en el oído medio de un perro, mientras que Zhalniarovich et al. en el 2017 publicaron el diagnóstico de casos de otitis media en gatos mediante RMN de bajo campo. Sendos estudios ponen de relieve la versatilidad de la RMN en casos de inflamación crónica del oído.

En un estudio relativamente reciente, del 2022, Dutil y colaboradores, describen los hallazgos en las imágenes de RMN en casos de otitis media e interna de gatos, y establecen un patrón de relación con la elección del tratamiento y sus resultados clínicos. Más reciente aún es el estudio de Everest y sus colaboradores que en un estudio del 2023, publican una descripción de la enfermedad vestibular en gatos, para ello empleanron RMN para identificar una atenuación de la señal en el oído interno. La RMN también ha desempeñado un papel importante en el diagnóstico y tratamiento de las **patologías en la región del cuello de carnívoros domésticos**, sobretodo en los casos en los que la visualización de las estructuras internas de esta región es fundamental. Boswood et al. en el año 2003, reportan el caso de una estenosis nasofaríngea en un gato tratado mediante dilatación con balón, y utilizan la RMN para evaluar la extensión de la estenosis y la efectividad del tratamiento. Este estudio constituye un ejemplo de la utilidad de la RMN para el seguimiento de procedimientos intervencionistas en esta región y en las vías respiratorias superiores.

En el campo de la oncología, se reseña una publicación del año 2013, de Taeymans et al. que compararon los hallazgos clínicos y de imágenes de ecografía, TC y RMN en perros con sospecha de carcinoma tiroideo. La RMN posibilitó la diferenciación entre procesos neoplásicos e inflamatorios, y la evaluación de la extensión del carcinoma y su relación con las estructuras adyacentes del cuello.

Johnson y colaboradores, en 2016, publican un artículo que relaciona las características clínicas y las imagen de RMN, de las lesiones en los linfonodos retrofaríngeos mediales de perros y gatos, el objetivo de este trabajo fue comparar las lesiones de origen inflamatorio y neoplásico. Este estudio reafirma la utilidad de la RMN para la diferenciación entre ambas lesiones, Tal y como se ha ido evidenciando en este trabajo de doctorado, este aspecto evidencia el hecho de que la RMN es eficaz para un diagnóstico preciso y una planificación del tratamiento adecuada en alteraciones complejas, en este caso de masas linfonodales en la región del cuello.

Ungulados domésticos

Los estudios encontrados sobre la RMN en **équidos**, se centran fundamentalmente en el análisis de patologías craneales, así como porciones craneales del cuello, también en la revisión bibliográfica realizada se encontraron numerosas publicaciones sobre las extremidades, quedándose esta región anatómica fuera de la temática de este trabajo de doctorado.

Sanders y colaboradores en el año 2001, investigan la encefalomalacia nigropálida en caballos, trastorno relacionado con la ingestión de plantas tóxicas. Este estudio utilizó gadolinio como agente de contraste en un equipo de 1T, proporcionando imágenes detalladas de las lesiones. A continuación, Ferrell et al. (2002) emplearon también un equipo de 1 T con contraste de gadolinio para evaluar enfermedades neurológicas en una muestra de doce caballos.

Del mismo modo, Junker et al. un año después, año 2002, contribuyeron con un estudio del área de la cabeza y el cuello en caballos, poniendo de relieve cómo la RMN permite visualizar las características morfológicas de estos segmentos anatómicos, posibilitando así el diagnóstico específico de ciertas patologías. Otro estudio significativo fue el de Walker et al. (2002), en el que se investigó la osteoartropatía temporohioidea en 33 caballos, un problema asociado a una degeneración ósea de la articulación temporohioidea, y que las técnicas avanzadas de imagen como la RM constituyen una herramienta fundamental en su diagnóstico.

En casos de **abscesos cerebrales**, y siguiendo con el orden cronológico en el uso de la RMN en el diagnóstico y manejo de determinadas patologías de la región de la cabeza de los équidos, Spoormakers et al. en el año 2003, describieron abscesos en el cerebro de caballos como una manifestación metastásica del estreptococo, empleando la RMN como una herramienta clave en el diagnóstico temprano de estas complicaciones graves. De la misma forma, Audigie et al un año después, 2004, examinaron usando imágenes de RMN un absceso cerebral en una potra de diez meses de edad, lo que permitió un análisis detallado de las características internas de la lesión. En otra línea, Matiasek et al. (2007) publicaron un estudio sobre tumores neuroendocrinos retrobulbares en caballos, donde la RMN fue fundamental para la toma de decisiones en el tratamiento. Finalmente, Witte y Perkins (2011) resaltaron la importancia del diagnóstico temprano de neoplasias en las cavidades nasales y los senos paranasales, utilizando la RMN como método de diagnóstico preferente en estos casos, debido a su capacidad para diferenciar las características internas de las lesiones.

En el diagnóstico **desórdenes neurológicos** en équidos, los estudios han abordado un conjunto diverso de condiciones anatómicas y clínicas en la región del cráneo y el sistema nervioso. Dyson et al. en 2007 describieron el uso de la RMN en un poni con meningioma del tronco encefálico, analizando signos de ataxia y la afectación de los nervios craneales. En esta publicación se detallaron cuadros clínicos, relacionándolos con imágenes de RMN y resultados histopatológicos, obteniéndose una caracterización del tumor y sus efectos en el sistema nervioso.

En 2008, Bischofberger et al, aplicaron la RMN para estudiar un angiosarcoma ocular en un poni, las imágenes obtenidas junto a los hallazgos histopatológicos sirvieron para resaltar el valor de la RMN en la identificación de masas oculares y en el seguimiento de su pronóstico.

Por su parte, Mitchell y colaboradores en el 2012, examinaron mediante RMN caballos con ataxia espinal, obteniendo una interesante información para el diagnóstico de trastornos de médula espinal en équidos, este diagnóstico presenta dificultades debido al tamaño y la anatomía de la columna equina.

Sobre el caballo pura sangre árabe, es interesante nombrar el estudio de Cavalleri et al. (2013) que se enfocó en la abiotrofia cerebelosa en caballos árabes, combinando la RMN con pruebas genéticas. La importancia de esta investigación radica en el enfoque sobre una patología hereditaria, y su relación con la consanguinidad de la raza.

En el año 2013, relacionada con **alteraciones nasosinusales**, y elaborada por Tessier et al. (2013) se publica un estudio que muestra cómo la RMN puede

distinguir entre diferentes tipos de desórdenes nasales y sinusales, proporcionando imágenes detalladas de las estructuras afectadas y describe los cambios morfológicos acontecidos.

Posteriormente, Manso-Díaz et al. (2015) realizó un estudio extenso con una muestra de 84 casos de patologías de la cabeza en caballos, este estudio se realizó a lo largo de tres años, describiendo muchos tipos de desórdenes craneales mediante la RMN. Este trabajo ofreció una visión amplia de las aplicaciones que tiene la RMN en el diagnóstico de patologías craneales equinas.

El mismo grupo de investigación, Manso-Díaz et al. en el año 2021, y en la misma línea que el estudio citado en el párrafo anterior, recalcaron la utilidad de la RMN y la tomografía computarizada en la práctica veterinaria equina, estableciendo pautas para el uso de estas técnicas de imagen en la identificación de diferentes afecciones.



Figura 39. Imágenes de resonancia magnética transversal ponderada en T2 (T2W). Fuente: Manso-Díaz et al. (2021).

En **suidos**, los estudios con RMN se han enfocado principalmente en el uso de estos animales como modelos experimentales para la investigación de patologías humanas. Son escasos los trabajos relacionados con hallazgos clínicos específicos de medicina veterinaria, un ejemplo de ello es el estudio de Chawla et al. (2004), en el que se investigó la neurocisticercosis porcina. En este estudio, se empleó la resonancia magnética para correlacionar hallazgos de imagen con resultados histopatológicos, la RMN proporcionó detalles estructurales precisos 127 que fueron esenciales para evaluar la extensión de la infección y sus efectos en el cerebro.

En **rumiantes domésticos**, particularmente en pequeños rumiantes, ovejas y cabras, la RMN ha sido empleada para el estudio de diversas patologías relacionadas principalmente con el **sistema nervioso y las cavidades craneales**.

Tal es el caso de la cenurosis ovina, diagnosticada con el uso técnicas avanzadas de imagen en sendos estudios, Pernia et al. (1999) y Gonzalo-Orden et al. (2000). Estos estudios están centrados en la identificación de los quistes cerebrales y la valoración de la extensión de las lesiones producidas.

Por nombrar algún trabajo relacionado con cabras, tenemos el de Gygi et al. (2004) que emplean la RMN para esclarecer la etiología de una paraplejía en una cabra enana. El de Blogg et al. (2004) que examinaron los efectos neurológicos de la exposición hiperbárica en cabras mediante la RM, detectando cambios neuropatológicos que ayudaron a evaluar los efectos adversos de estas condiciones en el sistema nervioso.

Más recientemente, Precht et al. (2020) realizaron un estudio que combinó la RMN y la histopatología para analizar la romboencefalitis causada por *Listeria* en pequeños rumiantes, mostrando mediante RMN imágenes de las lesiones características de esta infección bacteriana.

Finalmente nombrar a Li et al., que en el año 2022 publica el diagnóstico de tumores nasales en cabras, utilizando imágenes de RMN, TC y radiografía. Su trabajo destacó la capacidad de la RMN para evaluar lesiones en el área nasal y diferenciar entre procesos neoplásicos y otras condiciones infecciosas, siendo particularmente útil en el diagnóstico de tumores asociados al virus nasal enzoótico.

En **bovinos**, los estudios mediante resonancia magnética que incluímos en este trabajo de doctorado, abordan diferentes patologías neurológicas y anomalías congénitas que afectan principalmente al sistema nervioso central. Gordon y Dennis (1995) realizaron un diagnóstico antemortem de hipoplasia cerebelar en un ternero Holstein utilizando un equipo de 0.5T, es un ejemplo del uso de la RMN para detectar malformaciones cerebrales en animales jóvenes.

En el 1999, Tsuka y Taura identificaron un absceso en el tronco encefálico de una vaca mediante RMN con contraste, lo posibilitó a localizar y caracterizar esta infección intracraneal, un ejemplo del valor de la RM en el diagnóstico de lesiones inflamatorias en el cerebro de los bovinos..

Wemheuer et al. ya en el presente milenio, año 2004, emplearon la RMN para estudiar una vaca que presentaba síntomas compatibles con encefalopatía espongiforme bovina (EEB). Identificándose, gracias a las imágenes obtenidas, un tumor maligno de vaina nerviosa, habiendo usado la RM como método para diferenciar entre EEB y otras enfermedades neurológicas.

En estudios más recientes, como el de Hori et al. (2019) analizaron un caso de estenosis del acueducto en un ternero, comparando los hallazgos de RMN y TC con los de terneros normales, lo que posibilitó la evaluación precisa de esta obstrucción en el sistema nervioso central. O el de Veenema et al., que en el 2021 documentaron una anomalía cerebral congénita compleja en un ternero cruzado de Azul Belga (Belgian Blue) con Frisona (Holstein Friesian), que mediante RMN caracterizaron los hallazgos anatómicos, correlacionándolos con los signos clínicos.

Finalmente, mencionar a Tsuka et al. (2022) que presentaron en este estudio, el uso combinado de ultrasonografía y RMN para diagnosticar disgenesia del segmento anterior en un ternero. Este estudio mostró cómo ambas técnicas pueden emplearse para evaluar y caracterizar malformaciones congénitas en el sistema ocular y la región craneal de los bovinos.

Animales exóticos y de vida libre.

Roedores y otros mamíferos pequeños.

Centrándonos en el orden animal al que pertenece el animal en estudio de este trabajo doctoral, el *Hystrix Cristata*, los roedores constituyen un grupo con gran cantidad de estudios patológicos realizados mediante RMN. Sin embargo, como se ha señalado previamente, la mayoría de estos trabajos no tienen una aplicación directa en el ámbito veterinario debido al uso frecuente de estos animales como modelos experimentales en diversas disciplinas científicas.



Figura 40. Armadillo de seis bandas (*Euphractus sexcintus*). Fuente: elaboración propia

En el caso de las cobayas, la resonancia magnética ha sido aplicada en estudios de patologías articulares degenerativas. Ejemplo es la publicación de Watson y colaboradores (1996), que documentaron el avance de la enfermedad articular degenerativa en esta especie mediante RMN, monitoreando la progresión de la patología ósea. Casi una década y media después, Bowyer et al. (2009) evalúan la acción de la doxiciclina en disminución de la pérdida de cartílago tibial en cobayas con osteoartritis, utilizando biomarcadores obtenidos por RMN, obteniendo un análisis detallado de los efectos terapéuticos de la intervención en el cartílago.

En cuanto a los conejos, animales que no pertenecen al orden rodentia, sino lagomorfa, pero que guardan relación con los roedores por su uso como animales de experimentación, y su similitud anatómica, nombrar el estudio de Mata et al. (2007) que experimentaron sobre el enfisema pulmonar, utilizando gases hiperpolarizados (³He y ¹²⁹Xe) en resonancia magnética, para valorar la gravedad y progresión de este trastorno. Este enfoque permitió una comparación entre las imágenes de RMN y las mediciones morfométricas, destacando el potencial de la RMN en el diagnóstico precoz y seguimiento de patologías pulmonares crónicas.

Los estudios clínicos mediante RMN en especies exóticas los he abordado principalmente los que se han empleado para investigar patologías relacionadas con el sistema nervioso, cabeza y órgano de los sentidos, en coherencia con el enfoque anatómico de este trabajo doctoral. Los siguientes estudios ejemplifican cómo la RMN ha sido empleada para el diagnóstico de enfermedades neurológicas y de oído en mamíferos exóticos:

Schulz et al. (2003) utilizaron la RMN para diagnosticar una leucoencefalopatía en un guepardo (*Acinonyx jubatus*), ejemplo de la utilidad de esta técnica para evaluar enfermedades neurológicas complejas en felinos exóticos.

Van Bonn et al. (2013) exploran la enfermedad de las burbujas de gas en el cerebro de un león marino de California (*Zalophus californianus*) vivo, aplicando la RMN para detectar estas formaciones gaseosas en el sistema nervioso, y posibilitando la monitorización de esta condición sin recurrir a métodos invasivos.

Desprez et al. (2019) diagnosticaron una otitis interna en un ejemplar de hurón (*Mustela putorius furo*) empleando un equipo de 1,5T. En otra investigación con hurones, Yarto-Jaramillo et al. (2022) documentaron tres casos de cordoma

cervical en hurones domésticos, donde la RMN resultó fundamental para identificar y localizar la masa tumoral en la región cervical, mejorando así las opciones de tratamiento para estos animales.

Estos estudios subrayan el potencial de la RMN en el diagnóstico avanzado de condiciones patológicas en animales exóticos, brindando una herramienta de diagnóstico en especies con opciones limitadas para la evaluación clínica detallada mediante técnicas avanzadas de diagnóstico, en este caso de imagen.

Los estudios de RMN en aves han permitido avanzar significativamente en el diagnóstico y comprensión de diversas patologías neurológicas y de otros sistemas corporales de estas especies. A continuación, se detallan algunos estudios relevantes que ejemplifican el uso de la RMN en aves exóticas y su eficacia para detectar enfermedades difíciles de diagnosticar con otras técnicas.

Fleming et al. (2003) diagnosticaron hidrocefalia severa en un loro gris africano (*Psittacus erithacus*) mediante RMN de alta resolución (4.7T). La técnica permitió observar la dilatación de todos los ventrículos.

En un estudio relacionado, Stauber et al. (2007) evaluaron a tres águilas calvas (*Haliaeetus leucocephalus*) con síntomas neurológicos, determinando que la RMN superaba a la radiografía en la evaluación de traumatismos medulares. El estudio mostró evaluación entre los hallazgos histopatológicos y de necropsia con los resultados de RMN, lo que confirma su idoneidad en el diagnóstico de lesiones de médula espinal en aves.

Beaufrére et al. (2011) documentaron un caso de presunto accidente cerebrovascular en un loro gris africano (*Psittacus erithacus*) que presentaba movimientos tónico-clónicos, y mediante la RMN se detectan dos infartos cerebrales. Los análisis de sangre y radiografías no revelaban anomalías.

Delk et al. (2014) en un ganso chino (*Anser cygnoides*), emplearon RMN y TC para diagnosticar una enfermedad vestibular periférica como consecuencia de una otitis media, el cual presentaba síntomas de inclinación de la cabeza y movimientos en círculos.

132

Grosset et al. (2014) identifican un síndrome vestibular central en una guacamayo azul y amarillo (*Ara ararauna*) causado por un accidente cerebro vascular (ACV) encefálico, siendo el primer reporte de aneurisma cerebral en un ave. El diagnóstico por RMN fue clave para visualizar las lesiones internas en el cerebro.



Figura 41. Imágenes de RMN del guacamayo con infartos cerebrales multifocales, con una orientación clásica (lado derecho del paciente a la izquierda de la imagen). Fuente: Abumandour et al, 2022.

En otro estudio de RMN en seis águilas calvas, de Francisco et al. (2016) identificaron mediante RMN cerebral las lesiones histológicas por envenenamiento con plomo. Se pudieron observar en áreas del tronco del encéfalo, el cerevelo y el mesencéfalo, cambios en la intensidad de la imagen, , lo cual indicó daño vascular, probablemente derivado del envenenamiento.

Estos estudios evidencian cómo la RMN se ha convertido en una herramienta de diagnóstico fundamental para detectar y caracterizar patologías complejas en aves, facilitando un diagnóstico más preciso y ampliando las posibilidades de tratamiento.
ARTÍCULOS

CAPÍTULO 1. ARTÍCULO 1:

Cranial Investigations of Crested Porcupine (*Hystrix cristata*) by Anatomical Cross-Sections and Magnetic Resonance Imaging

CAPÍTULO 2. ARTÍCULO 2:

Study of the Normal Crested Porcupine (*Hystrix cristata*) Nasal Cavity and Paranasal Sinuses by Cross-Sectional Anatomy and Computed Tomography

CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 3:

Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of a Rhinosinusitis Secondary to a Dental Abscess in a Crested Porcupine (*Hystrix cristata*)

CAPÍTULO 1. ARTÍCULO1.

animals

Article



Cranial Investigations of Crested Porcupine (Hystrix cristata) by Anatomical Cross-Sections and Magnetic **Resonance Imaging**

Daniel Morales-Bordon ¹, Mario Encinoso ^{2,*}, Alberto Arencibia ³, and José Raduan Jaber ^{3,*}

- Departamento de Patología Animal, Producción Animal, Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, 35413 Arucas, Las Palmas, Spain; daniel.morales@ulpgc.es
- Hospital Clínico Veterinario, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, 35413 Arucas, Las Palmas, Spain
- Departamento de Morfologia, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, 35413 Arucas, Las Palmas, Spain; alberto.arencibia@ulpgc.es
- Correspondence: mencinoso@gmail.com (M.E.); joseraduan.jaber@ulpgc.es (J.R.J.)

Simple Summary: Advanced imaging diagnostic techniques, such as magnetic resonance imaging with anatomical sections, were used to evaluate the head of the crested porcupine (Hystrix cristata). These techniques were very helpful to delineate the main formations that compose the central nervous system (CNS), as well as its associated structures. To the authors' knowledge, the present study is the first to describe this area using anatomical sections and magnetic resonance imaging (MRI) in crested porcupines.



Citation: Morales-Bordon, D.; Encinoso, M.; Arencibia, A.; Jaber, J.R. Cranial Investigations of Crested Porcupine (Hystrix cristata) by Anatomical Cross-Sections and Magnetic Resonance Imaging. Animals 2023, 13, 2551. https:// doi.org/10.3390/ani13162551

Academic Editors: Matilde Lombardero Fernández and María del Mar Yllera Fernández

Received: 28 June 2023 Revised: 29 July 2023 Accepted: 1 August 2023 Published: 8 August 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https:// creativecommons.org/licenses/by/ 4.0/).

Abstract: This paper aimed to describe an atlas of the crested porcupine (Hystrix cristata) head by applying advanced imaging techniques such as MRI. Furthermore, by combining the images acquired through these techniques with anatomical sections, we obtained an adequate description of the structures that form the CNS and associated structures of this species. This anatomical information could serve as a valuable diagnostic tool for the clinical evaluation of different pathological processes in porcupines, such as abscesses, skull malformations, fractures, and neoplasia.

Keywords: magnetic resonance imaging; anatomical sections; rodents; head anatomy; CNS; crested porcupine

1. Introduction

In recent years, advanced diagnostic imaging techniques have facilitated the visualization of several diseases in captive and wildlife medicine. Traditionally, standard radiography was the choice more frequently used by clinicians, biologists, and researchers [1]. Nevertheless, the results of previous studies have demonstrated that computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) provide more information with which to improve diagnostic accuracy, prognosis, treatment of diseases, and anatomic knowledge [2–4]. These modern techniques avoid the superimposition of adjacent anatomical structures and delineate the anatomic detail of specific tissue densities more finely, which improving the capacity for interpretation [2]. These benefits provide important value for the anatomic investigations of specific regions, providing essential knowledge of domestic and exotic mammal species [2-5]. Among these species, we highlight the crested porcupine (Hystrix cristata), which is one of the most well-known members of the family Hystricidae and is included in the IUCN red list as least concern since they are regionally or locally threatened, mainly due to the fact that they are hunted illegally for food and killed because they are considered as an agricultural pest [6,7]. Consequently, these animals require appropriate conservation policies in regional and local contexts. It is a species of rodent native to

Animals 2023, 13, 2551, https://doi.org/10.3390/ani13162551

Italy and Sicily, as well as a broad central strip ranging from Senegal west to Somalia and east to Kenya and Tanzania, but very little is known regarding its geographic variability in Africa [6–8]. These animals are found in forests, rocky areas, mountains, croplands, and sandhill deserts, and protect themselves in caves, aardvark holes, and burrows that they dig themselves [6,7].

Porcupines are characterized for presenting strong and pointed quills covering the tail, sides, and top of the body that can be raised into a crest and used for defensive purposes. Concerning their heads, they are large and robust with enlarged infraorbital foramina so that portions of the masseter extend through it and arise from the frontal side surface of the snout. In addition, the nasal cavities are enlarged [9]. Interestingly, Hystrix show prominent pockets in the skull, maxillary, lacrimal, and turbinate bones, which could be used for attachment of the masticatory muscles.

Some valuable literature on the anatomical, physiological, and pathological study of pet rabbits and rodents is already broadly available [10–16]. Among these, we highlighted those studies that deal with brain and head MRI anatomy, which are available at reduced resolution from low field-strength and anatomical cross-sections, and more recently, with a high field-strength magnet in excised and fixed rabbit brain for research and clinical guidance in animals with diverse pathological processes [14,15]. To the best of the authors' knowledge, only a few publications have been conducted on porcupines, which have been focused on their biology, morphometric geographic variability, and some clinical conditions such as upper respiratory tract disease [6,8,9,13]. However, no description of the brain has been reported in this specific rodent. Therefore, this study aimed to describe the normal anatomy of the CNS of the crested porcupine and its associated structures, using specific anatomical sections that better matched the images obtained by MRI. The combination of MRI and macroscopic anatomical sections could provide helpful information for anatomic teaching and clinical practice.

2. Materials and Methods

2.1. Animals

Three carcasses of adult (two males and one female) crested porcupines (*Hystrix cristata*) from the zoological park "Rancho Texas Lanzarote Park" (Lanzarote, Canary Islands, Spain) were collected. None of the porcupines used in this study had a history of central nervous system disease, and no abnormalities were detected during imaging examinations. Prior consent was obtained from the responsible person at the zoological park to include the porcupines in this study.

2.2. Anatomic Evaluation

After the MR images were acquired, the two scanned carcasses were frozen at -80 °C for 48 h before performing anatomical cross-sections. After that, the two frozen carcasses were sectioned using an electric band saw to obtain sequential anatomical cross-sections. Contiguous 1 cm transverse slices were obtained starting at the olfactory bulb and extending to the first cervical vertebra region. These slices were intentionally thicker than those of the MRI to retain the integrity and position of the anatomic formations in the slices. The obtained sections were cleaned with water, numbered, and photographed on the cranial and caudal surfaces. Later, we selected those anatomical sections that better correlated with the MRI images to identify the structures of central nervous system and associated structures of the crested porcupine. Moreover, we also used anatomical textbooks and relevant references describing the anatomy of cats, rabbits, and different rodent species to facilitate accurate anatomic identification of these structures [14,15,17–21].

2.3. MRI Technique

A magnetic resonance imaging study was conducted on individual crested porcupine using a 1.5-Tesla magnet (Toshiba, Vantage Elan, Japan) while the animal was positioned in a ventral recumbent position. A standard MRI protocol was employed to generate spinecho (SE) T1-weighted and T2-weighted images in sagittal, transverse, and dorsal planes. SE T1-weighted transverse images were acquired with the following parameters: echo time (TE) of 10 ms, repetition time (TR) of 800 ms, acquisition matrix size of 536×384 , and a slice thickness of 4.5 mm with 4 mm spacing between slices. For SE T2-weighted transverse images, the TE was set to 120 ms, TR to 10,541 ms, acquisition matrix size to 624×448 , and slice thickness to 3 mm with 3 mm interslice spacing. SE T2-weighted sagittal images were obtained with a TE of 120 ms, TR of 7529 ms, acquisition matrix size of 512×804 , and a slice thickness of 2.8 mm with 2 mm interslice spacing. Lastly, SE T2-weighted dorsal images were acquired using a TE of 120 ms, TR of 8282 ms, acquisition matrix size of 468×512 , and a slice thickness of 3.4 mm with 3 mm interslice spacing. A medical imaging viewer (OsiriX MD, Geneva, Switzerland) was utilized to assess the images of the study.

3. Results

In this study, we present different anatomical cross-sections and T2W images of the crested porcupine, which were displayed in a rostral-to-caudal progression from the level of the ethmoturbinates and eyeballs to the caudal end of the brain stem. Therefore, Figure 1 represents a T2W sagittal image in which each line and number (I–VI) represents approximately the level of the following anatomical and MRI transverse images. Transverse anatomical sections and MR images of the porcupine revealing the relevant anatomical structures of the head were displayed (Figures 2–7). These figures were composed of two images: (A) macroscopic anatomical section and (B) T2W MR image. Additionally, two sagittal and two dorsal T2W MR images were presented to depict the relevant structures of the porcupine central nervous system (Figures 8 and 9).

3.1. Anatomical Cross-Sections

The anatomical sections obtained in this study allowed us to visualize the different structures belonging to the central nervous system and its associated structures, which were labeled according to the International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Therefore, we identified the main components of the brain (the prosencephalon, mesencephalon, and rhombencephalon). Thus, the two telencephalic hemispheres surrounded by the cerebral cortex and separated by the longitudinal cerebral fissure were identified (Figures 5A, 6A and 7A). Both hemispheres were connected by fibers of white matter known as the corpus callosum (Figures 4A, 5A, 6A and 7A). Each cerebral hemisphere contained a lateral ventricle (Figures 4A, 5A, 6A and 7A). Ventrally, we distinguished a component of the basal ganglia, the nucleus caudatus (Figures 4A and 5A). Thus, we identified different parts of it, such as the head and the tail. Other structures which we observed were the septal nuclei, which were circumscribed by two parallel vertical lines through the most inferior and medial aspect of each lateral ventricle (Figure 4A). More caudally, the diencephalon enclosing the third ventricle was identified, as well as more ventrally specific components of the hypothalamus, such as the optic chiasm (Figures 4A and 5A). Additionally, these sections were quite helpful in showing the caudal parts of the thalamus. Hence, the lateral eminence on the caudodorsal surface of the thalamus, known as the lateral geniculate body, was distinguished, whereas caudoventrally, we identified the medial geniculate body of the thalamus (Figure 5A). Moreover, the dorsal part of the mesencephalon with the caudal and rostral colliculus and its ventral part with the cerebral peduncles were also shown (Figures 6A and 7A). These anatomical sections were helpful in identifying the vermis and the cerebellar peduncles, which connected the cerebellum to the adjacent brain stem and the cerebrum (Figure 7A). The ventral part of the cerebellum with the lingula, covering part of the fourth ventricle, could also be identified (Figure 7A). These sections were also helpful in distinguishing the medulla oblongata and the decussation of the pyramids. In addition, different bony structures comprising the neurocranium were observed, such as the frontal, the temporal (with its scamous, petrous, and tympanic parts), the sphenoid, and the occipital bones (Figures 2A, 3A, 4A, 5A, 6A and 7A). Furthermore, these sections showed different air-filled spaces, such as the frontal and the sphenoidal

sinuses (Figures 2A, 3A, 4A, 5A, 6A and 7A), and structures associated with the nasal cavity, including the ethmoturbinates and the vomer, could be distinguished (Figures 2A and 3A). Main sensory organs such as the eyeball and its associated structures were also depicted. Consequently, we identified the retina, the vitreous chamber, and the optic nerve, which were surrounded by extraocular muscles. Among these, we distinguished the dorsal and ventral rectus muscles (Figure 2A). Moreover, the main components of the auditory system, such as the external auditory canal, the tympanic cavity, and the inner ear, were visualized (Figures 5A and 6A). Also, we identified the relevant muscles related to masticatory function, such as the temporalis, the medial and lateral pterygoid muscles, the masseter, the digastric muscle, and other important muscles, including the buccinator muscle and the longissimus capitis of the head (Figures 2A, 3A, 4A, 5A, 6A and 7A).



Figure 1. Sagittal T2W MR image of the head of a crested porcupine. The lines and numbers (I–VI) represent the approximate levels of the following transverse cross-sections and MR images.

3.2. Magnetic Resonance Imaging (MRI)

No significant anatomic differences were identified subjectively in the three porcupines which were imaged. Most anatomic structures distinguished on T2-weighted images of the cadaver specimens matched adequately with structures identified in the corresponding anatomical cross-sections. Hence, the central nervous system structures of the porcupine head, the eyeball's structures (vitreous humour and lens), and the masticatory muscles showed an accurate visualization using T2W MR images. Nonetheless, the bones that comprised the neurocranium, such as the frontal, the parietal, the temporal, the eccipital, and the sphenoid bones, were identified with a hypointense signal (Figures 2B, 3E, 4B, 5B, 6B, 7B, 8 and 9).



Figure 2. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the ethmoturbinates corresponding to line I in Figure 1. F: frontal bone; F': orbital plate of frontal bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; Eth: ethmoturbinates; Lp: *Lamina perpendicularis ossis ethmoidei*; Sphs: sphenoid sinus; V: vomer; Np: nasopharynx; On: optic nerve; Vc: vitreous chamber; L: lens; Dr: *Musculus rectus dorsalis*; Vr: *Musculus rectus ventralis*; MPt: *Musculus perygoideus medialis*; Z: zygomatic bone; Mx: maxillary bone; t: tooth; M: mandible; Mc: mandibular canal; Mm: *Musculus masseter*; Mb: *Musculus buccinator*; Tg: tongue.



Figure 3. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the olfactory bulb corresponding to line II in Figure 1. F: frontal bone; F': orbital plate of frontal bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; Ob: olfactory bulb; Or: olfactory recess; Lp: Lamina perpendicularis ossis ethnoidei; Sphs: sphenoid sinus; Ssphs: septum of sphenoidal sinuses; PSph: presphenoid bone; Np: nasopharynx; Pt: pterygoid bone; Sp: soft palate; Oc: oral cavity; MPt: Musculus pterygoideus medialis; MPtl: Musculus pterygoideus lateralis; Mt: Musculus temporalis; Zg: zygomatic glands; Z: zygomatic bone; t: tooth; M: mandible; Mm: Musculus masseter; Mb: Musculus buccinator; Tg: tongue.



Figure 4. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the optic chiasm, corresponding to line III in Figure 1. F: frontal bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; Dss: dorsal sagittal sinus; Lcf: longitudinal cerebral fissure; Cc: corpus callosus; Cr: *Corona radiata*; Lv: lateral ventricle; Nc: *Nucleus caudatus*; Ic: internal capsule; Rs: rhinal sulcus; Op: olfactory peduncle; St septum of telencephalon (*Septum telencephali*); Ns: *Nuclei septi*; Och: optic chiasm; Of: orbital fissure; T: temporal bone (squamous part); T'': zygomatic process of temporal bone; Sph: sphenoid bone; Np: nasopharynx; Mt: *Musculus temporalis*; MPtt: *Musculus pterygoideus lateralis*; M: mandible. Mm: *Musculus masseter*.



Figure 5. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the caudal part of the diencephalon, corresponding to line IV in Figure 1. F: frontal bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; Dss: dorsal sagittal sinus; Lcf: longitudinal cerebral fissure; SCc: splenium of corpus callosum; Cr: *Corona radiata;* Lv: lateral ventricle; Hp: *Hippocampus;* FHp. fimbria of hippocampus; Nc: *Nucleus caudatus* (tail); Ic: internal capsule; III: third ventricle; Hb: habenula; Cgl: *Corpus geniculatum laterale* (lateral geniculate body); Cgm: *Corpus geniculatum mediale* (medial geniculate body); Cgs: central grey substance; Cp: cerebral peduncle; If: interpeduncular fossa; Rs: rhinal sulcus; PI: piriform lobe; T: temporal bone squama; T': tympanic and petrous parts of temporal bone; Ie: inner ear. Cca: caudal communicating artery; Bsph: basisphenoid bone; Mt: *Musculus temporalis*.



Figure 6. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the caudal part of the hippocampus, corresponding to line V in Figure 1. F: fronta bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; Dss: dorsal sagittal sinus; Lcf: longitudinal cerebral fissure; Cc: corpus callosus; Cr: *Corona radiata;* Lv: lateral ventricle; Hp: *Hippocampus*; Ic internal capsule; Tm: tectum of mesencephalon; Ma: mesencephalic aqueduct; Po: Pons; PI: piriform lobe; Cb: cerebellum; Cbp: cerebellar peduncle (lateral); Cp: cerebral peduncle; T: temporal bone scuama; T': tympanic and petrous parts of temporal bone; Bocc: basioccipital bone; Mt: *Musculus temperalis;* Mlc: *Musculus longissimus capitis;* Md: *Musculus digastricus;* Pg: parotid gland; Ie: inner ear (cochlea); Tc: tympanic cavity; Tb: tympanic bulla; E: ear (external part).



Figure 7. Transverse cross-section (A) and T2W MR (B) images of the crested porcupine head at the level of the cerebellum, corresponding to line VI in Figure 1. F: frontal bone; Fs: frontal sinuses; SFs: septum of frontal sinuses; T: temporal bone squama; Mt: *Musculus temporalis*; T': tympanic and petrous parts of temporal bone; Dss: dorsal sagittal sinus; Lcf: longitudinal cerebral fissure; Lv: lateral ventricle; SCc: splenium of corpus callosum; Hp: hippocampus; Ts: transverse sinus; MCbt: membranous cerebellar tentorium; RC: rostral colliculus; CdC: caudal colliculus; Cbp: cerebellar peduncle; Vx: vermis of cerebellum; RCbp: rostral cerebellar peduncle; CCbp: caudal cerebellar peduncle; Lin: lingula; IV: fourth ventricle; Mo: *medulla oblongata*; Py: pyramids of the medulla oblongata; Cv: first cervical vertebra; Ocon: occipital condyle; Bocc: basioccipital bone; E: external ear.



Figure 8. Sagittal (A) and parasagittal (B) T2W MR images of the crested porcupine head. Fs: frontal sinuses; Ip: interparietal bone; Pocc: *Protuberantia occipitalis externa*; Eth: ethmoturbinates; Ob: olfactory bulb; Or: olfactory recess; T: telencephalon; Lv: lateral ventricle; Cc: *corpus callosum*; GCc: genu of corpus callosum; BCc: body of corpus callosum; SCc: splenium of corpus callosum; Hp: *hippocampus*; Fx: fornix; Nc: *Nucleus caudatus*; III: third ventricle; Ta: interthalamic adhesion; Th: *thalamus*; Cgl: *Corpus geniculatum laterale* (lateral geniculate body); Cgm: *Corpus geniculatum mediale* (medial geniculate body); Mb: mamillary body; Hyp: *Hypophysis*; Ta: tentorial process; Tm: tectum of mesencephalon; Ma: mesencephalic aqueduct; CdC: caudal colliculus; Cp: cerebral peduncle; Vx: vermis of cerebellum; Lin: lingula; Cl: central lobe of cerebellum; RC: rostral culmen; CC: caudal culmen; D: declive; FI: folium; Tu: tuber; P: pyramid; U: uvula; N: nodule; IV: fourth ventricle; Po: Pons; Mo: *Medulla oblongata*; Sc: spinal cord; Cv: cervical vertebra; Mrd: *Musculus rectus dorsalis;* O: occipital bone; Sphs: sphenoid sinus; PSph: presphenoid bone; Bsph: basisphenoid bone; Bocc: basioccipital bone; Oc: oral cavity; Sp: soft palate.

In the transverse planes of the encephalon, identifiable structures of the brain were more hyperintense than the white matter, which was more hypointense in T2W sequences (Figures 3B, 4B, 5B, 6B and 7B). Moreover, the two sagittal and dorsal (Figures 8 and 9) images and the different transverse T2W images were essential to depicting the components that comprise the ventricular system, which displayed a hyperintense signal. Hence, the lateral ventricles and the dorsal and ventral parts of the third ventricle were displayed (Figures 4B, 5B, 6B, 7B, 8 and 9), and among these, we observed interthalamic adhesion, limited laterally by the right and left sides of the thalamus (Figure 8A). In addition, transverse, sagittal, and parasagittal T2W images displayed with adequate detail the dorsal and ventral parts of the hippocampus (Figures 5B, 6B, 7B, 8B and 9). In addition, the tectum of mesencephalon (tectum mesencephali) with the caudal colliculus and the fourth ventricle was visualized in excellent detail (Figure 8A,B and Figure 9B). Other essential components of the CNS, such as the vermis of the cerebellum with its dorsal and ventral lobes, were distinguished in the sagittal T2W images (Figure 8A). Hence, the moderate contrast between grey and white matter was helpful in distinguishing the different lobes. Thus, the dorsal lobes of the cerebellum (the rostral and ventral culmen, the declive, the folium, the tuber, and the pyramid), as well as its ventral lobes (the lingula, the nodulus, and the uvula), were identified. In addition to these findings, we also observed the rostral and caudal cerebellar peduncles (Figures 7B and 9A). This technique also facilitated an adequate resolution to be achieved with which to identify the muscles involved in the masticatory function, which have already been mentioned in the anatomical sections.



Figure 9. T2W dorsal MRI images of the crested porcupine head at the level of the olfactory bulb (A) and corpus callosum (B). Ob: olfactory bulb; Or: olfactory recess; Lcf: longitudinal cerebral fissure; Cc: corpus callosum; Lv: lateral ventricle; Nc: *Nucleus caudatus*; St: septum of telencephalon (*Septum telencephali*); Fx: *fornix*; III: third ventricle; Ic: internal capsule; Ch: cerebral hemisphere; Hp: *hippocampus*; Th. *thalamus*; Ta: interthalamic adhesion; Cgl: *corpus geniculatum laterale* (lateral geniculate body); Ma: mesencephalic aqueduct; RC: rostral colliculus; CdC: caudal colliculus; Cl: central lobe of cerebellum; Lin: *lingula*; Cbp: cerebellar peduncle; Cbh: cerebellar hemisphere; IV: fourth ventricle; Mo: *medulla oblongata*; Py: pyramids of the medulla oblongata; Gf: Gracile fasciculus; T: temporal bone squama; T': tympanic and petrous parts of temporal bone.

4. Discussion

In recent years, modern diagnostic imaging techniques such as computed tomography and magnetic resonance imaging have become quite fashionable in captive and free-ranging animals to diagnose and treat diseases, since their availability for clinical use has dramatically increased. However, the costs and risk of complications due to general anesthesia [11,12] are limiting factors to the use of these techniques in exotic animals. In contrast with traditional imaging methods such as radiography and ultrasound, which are widespread among veterinarians [10], these procedures can provide images of the different structures in various planes without repositioning the animal [12,16,22,23]. CT provides more detailed anatomical information regarding the skull bones and dentition compared to MRI [16]. However, certain clinical conditions affecting rodents may involve secondary soft tissue structures that are better visualized using MRI. In the case of the CNS, magnetic resonance imaging is considered the gold standard imaging modality for humans and animals, as CT tends to depict the CNS structures as a homogeneous formation without a clear distinction between its different components [24]. Furthermore, MRI allows the identification of structures deep into the bone and air and is less limited by operator experience [3,11,12,14]. Therefore, these advanced imaging techniques enhance anatomic identification and lesion detection, allowing assessment, detailed prognosis, diagnosis of underlying lesions, and treatment choice to be carried out [11,12]. In the case of rodent species, these procedures have been used to evaluate a range of head processes not well visualized through conventional imaging techniques. Among these, we included dental disease and its associated problems, deformities, and osteomyelitis; the extension of the infection process to different bone cavities of the skull such as the nasal cavity, the paranasal sinuses, and the tympanic bullae; as well as fractures and different types of neoplasia [10-12]. However, it is important to consider their cost, the need for sedation, and the time required for data analysis before employing these methods. Despite these disadvantages, their application in the study of endangered species is justified due to the valuable information they can provide with minimal risk to the animal [3,22,23]. In this study, we successfully yielded high-resolution images of the central nervous system and its related structures using state-of-the-art diagnostic imaging techniques such as MRI. These images exhibited exceptional clarity and complemented the anatomical cross-section images. To the best of the authors' knowledge, this represents the first comprehensive description of the CNS and associated structures of the crested porcupine utilizing contemporary diagnostic imaging techniques, such as MRI, and their correlation with the anatomical cross-section images. As a result, our investigation has provided valuable insights into the intricate anatomic details of the crested porcupine's head, which hold potential diagnostic, experimental, and educational significance.

In our study, the utilization of anatomical cross-sections has proven to be immensely valuable in accurately characterizing the morphologic features of the CNS in the crested porcupine, as well as the structures related to the eyeball and the auditory system. These cross-sectional views played a crucial role in visualizing significant components of the diencephalon, brainstem, and cerebellum, including the habenula, the rostral and caudal colliculi, and the cerebellar peduncles. However, due to the wide interval between slices employed in this study, some of these structures were not clearly discernible in the transverse MR views. Comparable investigations conducted in other exotic species, such as rabbits, guinea pigs, iguanas, and loggerhead turtles, have consistently demonstrated that this combination is essential to comparing the relative positions and sizes of cephalic or other anatomical structures [3,14,25–27].

The MR images obtained in the transverse and sagittal planes were acquired without repositioning the head. The high-field magnet facilitated an adequate evaluation of the crested porcupine's head. Thus, the different planes utilized herein made structure identification more evident. Additionally, subjective image analysis and objective measurements revealed a relatively large dorsal metencephalon and a smaller telencephalon compared to dogs of a similar size and weight. One report described similar findings in size when they studied the rabbit brain with a high field-strength magnet [15]. Nonetheless, further studies are needed to confirm these findings. Moreover, the present study demonstrated that MRI was effective in visualizing the bones of the porcupine's head. Nonetheless, it is important to note, as described in other reports, that the skull bones and teeth could be identified due to their hypointense signal [24,27]. In contrast, excellent discrimination of the main components of the encephalon, including the rhinencephalon, telencephalon, diencephalon, mesencephalon, metencephalon, and myelencephalon, was achieved with the T2W images. These images have proven to be useful for anatomical and clinical studies of various exotic species [3,12,22-31]. Therefore, the transverse T2W images revealed the olfactory bulb and its recess, which was hyperattenuated compared to the telencephalon. Similar enhancement was observed in rabbits, particularly in the sagittal plane [14,15]. Additionally, the sagittal T2W images were essential for visualizing the different lobes of the cerebellar vermis, which displayed a hyperintense/isointense signal when compared with the hypointense cerebellar white matter. Our results confirmed those obtained in rodents and rabbits, which have demonstrated that MRI is an essential technique for evaluating

the CNS and its associated soft tissue structures [2,11,12,14–17,27,31,32]. However, other structures, such as the nasal cavity and paranasal sinuses, were not evaluated in our study because we were focused on those structures better visualized by MRI.

As mentioned in previous studies [25], the use of cadavers in our research limited the administration of an intravenous contrast medium, which could have improved the resolution of MR images. This limitation, as well as the small number of specimens, should be considered in further studies. Nevertheless, both MRI and macroscopic anatomical sections provided adequate information for anatomic evaluation in teaching and clinical settings. In contrast to other studies conducted on rodents and rabbits [15,30–32], we employed anatomical sections and conducted a comprehensive anatomical description, including the location and intensity of the different structures comprising the central nervous system of the crested porcupine. The sagittal images, compared with those displayed in the transverse plane, facilitated a better assessment of the topographic anatomical structures in the median plane, primarily involving the intracranial cavity and the central nervous system. Similar findings have been reported in other MRI studies performed on exotic species [3,25]. All the images obtained in this study could serve as initial reference materials to support pathological investigations of crested porcupine heads.

5. Conclusions

This investigation is the first description of a crested porcupine's head using transverse, sagittal, and dorsal MR images in combination with anatomical cross-sections. The images obtained in this study were quite helpful in providing essential references for the different bone and soft tissue structures comprising the CNS and sensory organs of the crested porcupine. Therefore, the information obtained in this study could be adequate for the anatomic and clinical evaluation of numerous pathologic processes involving the heads of these animals, such as abscesses, metabolic bone diseases, fractures, inflammation, and neoplasia. Moreover, the MR images obtained in different spatial planes could facilitate our understanding of anatomic organization for our students, since these procedures allow for the visualization of structures. Nevertheless, the high cost and accessibility of this equipment do not facilitate its use on porcupines or rodents in daily veterinary practice.

Author Contributions: Conceptualization, J.R.J., A.A. and M.E.; methodology, J.R.J., D.M.-B. and M.E.; formal analysis, J.R.J., D.M.-B. and M.E.; investigation, J.R.J., A.A., D.M.-B. and M.E.; resources, D.M.-B.; writing—original draft preparation, J.R.J. and D.M.-B.; writing—review and editing, J.R.J., D.M.-B. and M.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external fundings.

Institutional Review Board Statement: As happens in domestic mammals, informed consent from the owner allowed us to carry out this study. Therefore, Rancho Texas Lanzarote Park was informed that all animal identity information obtained from this study would be treated as confidential to the extent permitted by law, and only used for research or teaching purposes.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The information is available at "https://accedacris.ulpgc.es".

Acknowledgments: In loving memory of Alvaro Domingo and Honorio Rodriguez Garcia. We also thank Ayesh Mohamad, Carmen Mingot, Emilia Mingot, Concha Mingot, Nicolas Aquino, Marisa Mohamad, and Jamal Jaber for their support and constructive comments, and Rancho Texas Lanzarote Park for providing the animals included in this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Banzato, T.; Russo, E.; Di Toma, A.; Palmisano, G.; Zotti, A. Anatomic imaging of the Boa constrictor head: A comparison between radiography, computed tomography and cadaver anatomy. Am. J. Vet. Res. 2011, 72, 1592–1599. [CrossRef] [PubMed]
- Van Caelenberg, A.I.; De Rycke, L.M.; Hermans, K.; Verhaert, L.; Van Bree, H.J.; Gielen, I.M. Comparison of radiography and CT to identify changes in the skulls of four rabbits with dental disease. J. Vet. Dent. 2011, 28, 172–181. [CrossRef] [PubMed]
- González Rodríguez, E.; Encinoso Quintana, M.; Morales Bordon, D.; Garcés, J.G.; Artiles Nuez, H.; Jaber, J.R. Anatomical Description of Rhinoceros Iguana (*Cyclura cornuta cornuta*) Head by Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging and Gross-Sections. *Animals* 2023, 13, 955. [CrossRef] [PubMed]
- Arencibia, A.; Corbera, J.A.; Ramírez, G.; Diaz-Bertrana, M.L.; Pitti, L.; Morales, M.; Jaber, J.R. Anatomical Assessment of the Thorax in the Neonatal Foal Using Computed Tomography Angiography, Sectional Anatomy, and Gross Dissections. *Animals* 2020, 10, 1045. [CrossRef]
- Zafra, R.; Carrascosa, C.; Rivero, M.; Peña, S.; Fernández, T.; Suarez-Bonnet, A.; Jaber, J.R. Analysis of equine cervical spine using three-dimensional computed tomographic reconstruction. J. Appl. Anim. Res. 2012, 40, 108–111. [CrossRef]
- Amori, G.; De Smet, K. Hystrix cristata. In IUCN Red List of Threatened Species. 2016, p. e.T10746A22232484. Available online: https://www.iucnredlist.org/especies/10746/22232484 (accessed on 12 June 2023).
- Wilson, D.E.; Reeder, D.M. (Eds.) Species Hystrix (Hystrix) cristata. In Manmal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference, 3rd ed.; Johns Hopkins University Press: Baltimore, MA, USA, 2005; p. 1543.
- Angelici, F.M.; Colangelo, P.; Gippoliti, S. Out of Europe: Investigating Hystrix cristata (Rodentia: Hystricidae) skull morphometric geographic variability in Africa. Biogeographia 2021, 36, a001. [CrossRef]
- Storch, G. Porcupines. In Grzimek1s Encyclopedia of Mammals; Grzimek, B., Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1990; pp. 300–307.
- 10. Capello, V.; Cauduro, A. Comparison of Diagnostic Consistency and Diagnostic Accuracy Between Survey Radiography and Computed Tomography of the Skull in 30 Rabbits with Dental Disease. J. Exot. Pet Med. 2016, 25, 115–127. [CrossRef]
- Capello, V. Diagnostic Imaging of Dental Disease in Pet Rabbits and Rodents. Veter Clin. N. Am. Exot. Anim. Pract. 2016, 19, 757–782. [CrossRef]
- Głodek, J.; Adamiak, Z.; Przeworski, A. Magnetic Resonance Imaging of Reptiles, Rodents, and Lagomorphs for Clinical Diagnosis and Animal Research. Comp. Med. 2016, 66, 216–219.
- Fornazari, F.; Guimaraes, F.F.; Teixeira, C.R.; Langoni, H. Isolation of Staphylococcus epidermidis from inflamed upper respiratory tract of an orange-spined hairy dwarf porcupine (*Sphiggurus villosus*). J. Venom. Anim. Toxins Incl. Trop. Dis. 2012, 18, 455–458. [CrossRef]
- Van Caelenberg, A.I.; De Rycke, L.M.; Hermans, K.; Verhaert, L.; van Bree, H.J.; Gielen, I.M. Low-field magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of the rabbit head. *Vet. J.* 2011, 188, 83–91. [CrossRef]
- Müllhaupt, D.; Augsburger, H.; Schwarz, A.; Fischer, G.; Kircher, P.; Hatt, J.M.; Ohlerth, S. Magnetic resonance imaging anatomy of the rabbit brain at 3 T. Acta Vet. Scand. 2015, 57, 47. [CrossRef]
- Capello, V.; Lennox, A. Advanced diagnostic imaging and surgical treatment of an odontogenic retromasseteric abscess in a guinea pig. J. Small Anim. Pract. 2015, 56, 134–137. [CrossRef] [PubMed]
- Muñoz-Moreno, E.; Arbat-Plana, A.; Batalle, D.; Soria, G.; Illa, M.; Prats-Galino, A.; Eixarch, E.; Gratacos, E. A Magnetic Resonance Image Based Atlas of the Rabbit Brain for Automatic Parcellation. *PLoS ONE* 2013, 8, e67418. [CrossRef]
- 18. Shek, J.W.; Wen, G.Y.; Wisniewski, H.M. Atlas of the Rabbit Brain and Spinal Cord; Karger: Basel, Switzerland, 1986.
- 19. Popesko, P.; Rajtova, V.; Horak, J. Anatomy of Small Laboratory Animals; Wolfe Publishing Ltd.: London, UK, 1990; pp. 14-53.
- Gray-Edwards, H.L.; Salibi, N.; Josephson, E.M.; Hudson, J.A.; Cox, N.R.; Randle, A.N.; McCurdy, V.J.; Bradbury, A.M.; Wilson, D.U.; Beyers, R.J.; et al. High resolution MRI anatomy of the cat brain at 3Tesla. J. Neurosci. Methods 2014, 227, 10–17. [CrossRef] [PubMed]
- International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Nomina Anatomica Veterinaria; Ithaca: New York, NY, USA, 2012.
- Arencibia, A.; Encinoso, M.; Jaber, J.R.; Morales, D.; Blanco, D.; Artiles, A.; Vázquez, J.M. Magnetic resonance imaging study in a normal Bengal tiger (*Panthera tigris*) stifle joint. BMC Vet. Res. 2015, 11, 192. [CrossRef]
- Jaber, J.R.; Encinoso, M.; Morales, D.; Artiles, A.; Santana, M.; Blanco, D.; Arencibia, A. Anatomic study of the normal Bengal tiger (*Panthera tigris tigris*) brain and associated structures using low field magnetic resonance imaging. *Eur. J. Anat.* 2016, 20, 195–203.
- Ben Khalifa, A.; Belkhiria, J.; Hamdi, H.; Chandoul, W.; Mattoussi, A. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the brain and associated structures of the one humped camel (*Camelus dromedarius*): A comparative study. J. New Sci. 2019, 68, 4221–4231.
- Arencibia, A.; Hidalgo, M.; Vázquez, J.M.; Contreras, S.; Ramírez, G.; Oros, J. Sectional anatomic and magnetic resonante imaging features of the head of juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta careta*). Am. J. Vet. Res. 2012, 73, 1119–1127. [CrossRef]
- Valente, A.L.; Cuenca, R.; Zamora, M.A.; Parga, M.L.; Lavin, S.; Alegre, F.; Marco, I. Sectional anatomic and magnetic resonance imaging of coelomic structures of loggerhead sea turtles. Am. J. Vet. Res. 2006, 67, 1347–1353. [CrossRef]
- Mahdy, M.A.A. Correlation between computed tomography, magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of the head of the guinea pig (*Cavia porcellus*, Linnaeus 1758). *Anat. Histol. Embryol.* 2022, 51, 51–61. [CrossRef] [PubMed]

- Arencibia, A.; Matos, J.; Encinoso, M.; Gil, F.; Artiles, A.; Martínez-Gomariz, F.; Vázquez, J.M. Computed tomography and magnetic resonance imaging study of a normal tarsal joint in a Bengal tiger (*Panthera tigris*). BMC Vet. Res. 2019, 15, 126. [CrossRef] [PubMed]
- Snow, T.M.; Litster, A.L.; Gregory, R.J. Big cat scan: Magnetic resonance imaging of the tiger. Australas. Radiol. 2004, 48, 93–95. [CrossRef]
- Encinoso, M.; Oros, J.; Ramírez, G.; Jaber, J.R.; Artiles, A.; Arencibia, A. Anatomic Study of the Elbow Joint in a Bengal Tiger (*Panthera tigris* tigris) Using Magnetic Resonance Imaging andGross Dissections. *Animals* 2019, 9, 1058. [CrossRef]
- Encinoso, M.; Morales, D.; Déniz, S.; Guerra, J.V.; Jaber, J.R. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of a Rhinosinusitis Secondary to a Dental Abscess in a Crested Porcupine (*Hystrix cristata*). Slov. Vet. Res. 2023, 60, 37–43. [CrossRef]
- Chuang, N.; Mori, S.; Yamamoto, A.; Jiang, H.; Ye, X.; Xu, X.; Richards, L.J.; Nathans, J.; Miller, M.I.; Toga, A.W.; et al. An MRI-based atlas and database of the developing mouse brain. *Neuroimage* 2011, 54, 80–89. [CrossRef] [PubMed]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

CAPÍTULO 2. ARTÍCULO 2



Article



Study of the Normal Crested Porcupine (*Hystrix cristata*) Nasal Cavity and Paranasal Sinuses by Cross-Sectional Anatomy and Computed Tomography

Daniel Morales Bordon ¹, Francisco Suárez-Cabrera ², Gregorio Ramírez ³, Pablo Paz-Oliva ², Alejandro Morales-Espino ², Alberto Arencibia ², Mario Encinoso ⁴,*, Myriam R. Ventura ¹ and José Raduan Jaber ^{1,5,*}

- ¹ Departamento de Patología Animal, Producción Animal, Bromatología y Tecnología de Los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontana, Arucas, 25/12 Las Palmas, Seria durá de martes@ultras.co.(D.M.R.), municar redriguestantus, en Arucas.
- 35413 Las Palmas, Spain; daniel.morales@ulpgc.es (D.M.B.); myriam.rodriguezventura@ulpgc.es (M.R.V.)
 ² Departamento de Morfología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain; ecovetcanarias@yahoo.es (F.S.-C.);
- pablo.paz101@alu.ulpgc.es (P.P.-O.); alejandro.morales108@alu.ulpgc.es (A.M.-E.); alberto.arencibia@ulpgc.es (A.A.) Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, Facultad de Veterinaria,
- ³ Departamento de Anatomia y Anatomia Patologica Comparadas, Facultad de Veterin Universidad de Murcia, 30100 Murcia, Spain; grzar@um.es
- ⁴ Hospital Veterinario, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain
- ⁵ VETFUN, Educational Innovation Group, University of Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain
- * Correspondence: mario.encinoso@fpct.ulpgc.es (M.E.); joseraduan.jaber@ulpgc.es (J.R.J.)



Citation: Morales Bordon, D.; Suárez-Cabrera, F.; Ramírez, G.; Paz-Oliva, P.; Morales-Espino, A.; Arencibia, A.; Encinoso, M.; Ventura, M.R.; Jaber, J.R. Study of the Normal Crested Porcupine (*Hystrix cristata*) Nasal Cavity and Paranasal Sinuses by Cross-Sectional Anatomy and Computed Tomography. *Vet. Sci.* **2024**, *11*, 611. https://doi.org/ 10.3390/vetsci11120611

Academic Editor: Giovanna Bertolini

Received: 11 September 2024 Revised: 5 November 2024 Accepted: 20 November 2024 Published: 29 November 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https:// creativecommons.org/licenses/by/ 4.0/). **Simple Summary:** The nasal cavity involves essential functions in rodents, including olfaction, respiration, behavior, and reproduction. The crested porcupine (*Hystrix cristata*) is a species of rodent native to Italy, North Africa, and sub-Saharan Africa, and it is listed as "least concern" by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). However, in porcupines, there is little information available about the anatomy of this species. Therefore, we conducted a study using cross-sectional anatomy and computed tomography (CT) to highlight the specific anatomical findings of the nasal cavities, paranasal sinuses, and associated structures of the crested porcupine. The results obtained here could be used by biologists, researchers, and practitioners to learn about the organization of the structures that constitute this region.

Abstract: This study utilized CT imaging to investigate the rostral part of the head of the crested porcupine's head. By combining CT images with anatomical cross-sections, we have provided a detailed description of the structures in this area. This information could be useful for diagnosing disorders and improving their treatment in the nasal cavity and paranasal sinuses of crested porcupines.

Keywords: head; computed tomography; anatomy; nasal cavity; paranasal sinuses; crested porcupine

1. Introduction

The crested porcupine (*Hystrix cristata*) is a well-known member of the family Hystricidae. Since 2016, it has been on the IUCN red list as the least concerning [1]. It occurs mainly in Europe and Africa, where these animals are still hunted illegally for meat and killed because they are considered a pest species due to the damage produced to crops [2]. Consequently, porcupines require adequate conservation policies in regional and local contexts. It is native to Italy and Sicily, inhabiting dry shrubland, maquis, abandoned farmland, steppe, forest, and rocky areas. There is limited information on its geographic variability in Africa [1–3], where these animals are found in various habitats such as forest

Vet. Sci. 2024, 11, 611. https://doi.org/10.3390/vetsci11120611

https://www.mdpi.com/journal/vetsci

formations, woodland savannahs, mountains, croplands, and sandhill deserts. They seek refuge in caves, aardvark holes, and burrows that they dig themselves [1,2].

Hystrix cristata, also known as histrik, are large rodents measuring 60–90 cm in length and 25 cm in height. Their bodies are covered in long black-and-white-striped spikes up to 30 cm long, dotted with shorter and thicker ones covering the entire back and tail. The quills that run along the head, nape, and back can be raised into a crest, which gives them the name of a crested porcupine. Moreover, they come off and are projected as a defense mechanism [4]. This porcupine has a gestational period of approximately 112 days, where one or two offspring of both sexes are born [5]. These babies typically reach adult weight at one to two years of age, and just before then, they reach sexual maturity [4]. Porcupines are strictly nocturnal, walking long distances for food [4,6]. They are herbivorous and consume plant material [6,7], including roots, tubers, bark, rhizomes, bulbs, cultivated crops and fallen fruits. This plant material represents a significant portion of their diet [8].

Regarding its anatomical head remarks, it shows a large and round head with small ears. Its skull presents a large infraorbital foramen and a remarkable nasal cavity development, and the angular process is inflected on the lower jaw [4]. Moreover, histrik shows notable prominences in the skull used for masticatory muscle attachment [7]. In addition, it shows a well-developed incisor, two premolars, and two molars in each quadrant [4].

The anatomical intricacy between the different mammal species and the expanding attentiveness to wildlife species have represented a challenge to practitioners in evaluating imaging techniques studies [9]. Thanks to technological advancements, obtaining anatomical and diagnostic information has become easier and much faster. Therefore, diagnostic techniques have become remarkable tools for medical practice, combining conventional methods, such as radiology and ultrasounds [9], with advanced imaging procedures, like CT or magnetic resonance imaging (MRI) [9–15]. These modern techniques offer better imaging resolution, fast image acquisition, and the clear visualization of structures, thus providing detailed anatomical and functional information with an improved capability to differentiate between bone and soft tissue formations.

Thus far, various studies on the anatomy and pathology of pet rabbits and rodents are already available using diagnostic techniques [15–21]. However, to our knowledge, no research has been conducted on the crested porcupine's nasal cavities and paranasal sinuses using anatomical cross-sections and CT images. The rodent's nasal cavity is an anatomical structure with multiple functions related to the respiratory and olfactory systems. It is responsible for heating, humidifying, filtering the inspired air, and correctly directing it in the respiratory airways [22]. Considering the large size of this animal and its biology, eating plant material that they smell from the ground, we wanted to perform a deep description of this cavity and check any specific anatomical differences compared to mammals, including other rodents. This information could help to understand its respiratory and olfactory functions better.

2. Materials and Methods

2.1. Animals

Five adult crested porcupine carcasses (two males and three females) were obtained from the "Rancho Texas Lanzarote Park" in the Canary Islands, Spain. The animals had been euthanized from causes unrelated to this region. Neither porcupine had a history of nasal disease, and pathologic conditions were not detected during physical and radiologic examination.

2.2. CT Technique

The imaging study was conducted at the Veterinary Hospital of Las Palmas de Gran Canaria University using a 16-slice helical CT scanner (Toshiba Astelion, Canon Medical System, Tokyo, Japan). The five porcupines were placed in ventral recumbency on the CT scan table. The CT scan produced sequential transverse images with a thickness of 1 mm using a standard clinical protocol (100 kVp, 80 mA, 512 \times 512 acquisition matrix, 1809×858 field of view, a spiral pitch factor of 0.94, and a gantry rotation of 1.5 s). To distinguish the CT appearance of the nasal cavity, two CT windows with different widths and levels were used: a bone window setting (WW = 1500; WL = 300), and a pulmonary window setting (WW = 1400; WL = -500). In addition, dorsal and sagittal multiplanar reconstructed (MPR) images were also obtained to enhance the identification of normal porcupine anatomical structures. All the CT images were imported to an image viewer (OsiriX MD, Apple, Cupertino, CA, USA) for data manipulation and analysis.

2.3. Anatomic Evaluation

We obtained transverse anatomical cross-sections of three animals after the scanning to help us identify the structures in the CT images. The animals were placed in a plastic holder, frozen (-80 °C), and then sliced into 1 cm sections using an electric band saw. These sections, thicker than the CT images, were cleaned with water, numbered, photographed, and compared with the corresponding CT view. We selected the sections that best matched the CT images to identify the relevant structures of the porcupine's sinuses and nasal passages. In addition, we used anatomical texts and reputable references to aid in our identification process [14–16,20,22–33].

3. Results

No anatomic differences were identified in the heads of the five porcupines in this study. Images displaying relevant anatomical structures of the porcupine nasal cavity and paranasal passages are presented (Figures 1–12). Figure 1 is a sagittal CT image, with lines and numbers (I-XI) indicating approximately the level of the following anatomical and transverse CT images. Figures 2–12 consist of three transverse images: (A) an anatomical cross-section, (B) a bone CT window image, and (C) a lung CT window image. The images progress from the nose (Figure 2) to the ethmoidal labyrinth (Figure 12).



Figure 1. Parasagittal MPR CT image of the crested porcupine head depicting the approximate anatomical levels of the sections of the porcupine head. Sections I–XI correspond to Figures 2 12.



Figure 2. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the nose, corresponding to line I in Figure 1. Af: alar fold. Ag: alar groove. An: tip of the nose. Aw: alar wing. Dlnc: dorsal lateral nasal cartilage. Dn: dorsum of nose. Nos: nostrils. Phi: philtrum. Rn: root of nose. Ui: upper incisive tooth.



Figure 3. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the nasal vestibule, corresponding to line II in Figure 1. Af: alar fold. Ag: alar groove. Aw: alar wing. Bf: basal fold (medial part). Bf': basal fold (lateral part). Dlnc: dorsal lateral nasal cartilage. Hf: hair follicle. I: incisive bone. Lac: lateral accessory nasal cartilage. Ns: nasal septum. Nv: nasal vestibule. Pf: parallel fold. Sf: straight fold. Ui: upper incisive tooth. UiR: upper incisive tooth root. Vlnc: ventral lateral nasal cartilage.



Figure 4. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the basal folds, corresponding to line III in Figure 1. Af: alar fold. Bf: basal fold (medial part). Bf': basal fold (lateral part). Dlnc: dorsal lateral nasal cartilage. Hf: hair follicle. I: incisive bone. Li: lower incisive tooth. N: nasal bone. Ns: nasal septum. Nv: nasal vestibule. Oc: oral cavity. Pf: parallel fold. Pp: palatine plexus. UiR: upper incisive tooth root. Vlnc: ventral lateral nasal cartilage.



Figure 5. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the dorsal nasal concha, corresponding to line IV in Figure 1. Dnc: dorsal nasal concha. Hf: hair follicle. I: incisive bone. Li: lower incisive tooth. Ll: lower lip. Mx: maxilla. N: nasal bone. Ns: nasal septum. Oc: oral cavity. Pf: parallel fold. Pp: palatine plexus. T: tongue. Ul: upper lip. UiR: upper incisive tooth root. V: vomer. Vn: vomeronasal organ. Vnc: ventral nasal concha.



Figure 6. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the dorsal and ventral nasal conchae, corresponding to line V in Figure 1. Cnm: common nasal meatus. Dnc: dorsal nasal concha. Dnm: dorsal nasal meatus. Hf: hair follicle. I: incisive bone. Li: lower incisive tooth. Ll: lower lip. Mx: maxilla. N: nasal bone. Ns: nasal septum. Oc: oral cavity. Pp: palatine plexus. UiR: upper incisive tooth root. SVnc: sinus of ventral nasal concha (dorsal part). SVnc': sinus of ventral nasal concha (ventral part). T: tongue. UI: upper lip. V: vomer. Vn: vomeronasal organ. Vnm: ventral nasal meatus.



Figure 7. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the dorsal and ventral nasal conchae, and rostral maxillary sinus, corresponding to line VI in Figure 1. Cnm: common nasal meatus. Dnc: dorsal nasal concha. Dnm: dorsal nasal meatus. Li: lower incisive tooth. Mx: maxilla. Ms': rostral maxillary sinus. N: nasal bone. Ncp: nasal cavernous plexuses. Ns: nasal septum. Oc: oral cavity. Pf: parallel fold. Pp: palatine plexus. SVnc: sinus of ventral nasal concha (dorsal part). SVnc': sinus of ventral nasal concha (ventral part). UiR: upper incisive tooth root. V: vomer. Vn: vomeronasal organ. Vnm: ventral nasal meatus.



Figure 8. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the choanae, corresponding to line VII in Figure 1. Ch: choanae. Ccm: conchal crest of maxilla. Cnm: common nasal meatus. Dnm: dorsal nasal meatus. Li: lower incisive teeth. Mx: maxilla. Mb: mandible. Mnm: middle nasal meatus. Ms': rostral maxillary sinus. N: nasal bone. Ns: nasal septum. NMxo: nasomaxillary opening. Oc: oral cavity. PMx: first premolar tooth (maxillar). PMb: first premolar tooth (mandibular). SDnc: sinus of dorsal nasal concha. SVnc: sinus of ventral nasal concha (dorsal part). SVnc': sinus of ventral nasal concha (ventral part). V: vomer. Vn: vomeronasal organ. Vnm: ventral nasal meatus.





Figure 9. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the nasopharynx, corresponding to line VIII in Figure 1. Ch: choanae. Cnm: common nasal meatus. Dnm: dorsal nasal meatus. Li: lower incisive teeth. Mi: mylohyoid muscle. Mx: maxilla. Mb: mandible. Mbu: buccinator muscle. Ms'': caudal maxillary sinus. N: nasal bone. Ns: nasal septum. NMxo: nasomaxillary opening. Oc: oral cavity. PMx': second premolar tooth (maxillar). PMb': second premolar tooth (mandibular). SFr: sinus of frontal bone (rostral part). SVnc: sinus of ventral nasal concha (dorsal part). SVnc': sinus of ventral nasal concha (ventral part). T: tongue. V: vomer. Vn: vomeronasal organ. Vnc: ventral nasal concha. Vnm: ventral nasal meatus. Zp: zygomatic process.



Figure 10. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the middle nasal concha, corresponding to line IX in Figure 1. Cnm: common nasal meatus. CMxo: conchomaxillary opening. Dnm: dorsal nasal meatus. Li: lower incisive tooth. Mi: mylohyoid muscle. Mx: maxilla. Mb: mandible. Mbu: buccinator muscle. Ms'': caudal maxillary sinus. N: nasal bone. Np: nasopharynx. Ns: nasal septum. MMx: first molar tooth (maxillar). MMb: first molar teeth (mandibular). Oc: oral cavity. SFr: sinus of frontal bone (rostral part). Smnc: sinus of midle nasal concha. SphS: sphenopalatine sinus (palatine part). SVnc: sinus of ventral nasal concha. T: tongue. V: vomer.



Figure 11. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the eyeball, corresponding to line X in Figure 1. Cnm: common nasal meatus. Dnm: dorsal nasal meatus. Dr: dorsal rectus muscle of the eye. E: ethmoid bone (tectorial plate). Ect: ectoturbinate. End: endoturbinate. F: frontal bone. L: lens. LiR: lower incisive root. Lp: perpendicular plate (ethmoid bone). Mb: mandible. Mm: masseter muscle (superficial portion). Mm': masseter muscle (deeper portion). Mx: maxilla. MMx': second molar tooth (maxillar). MMb': second molar tooth (mandibular). Np: nasopharynx. Sc: sclera. SFs: septum of frontal sinuses. SFr: sinus of frontal bone (rostral part). SphS: sphenopalatine sinus (palatine part). T: tongue. V: vomer. Vc: vitreous chamber. Vnm: ventral nasal meatus. Vr: ventral rectus muscle of the eye. Zp: zygomatic process.



Figure 12. Anatomical section (**A**), bone window (**B**), and pulmonary window (**C**) CT transverse images of a crested porcupine's nasal cavity at the level of the olfactory bulb, corresponding to line XI in Figure 1. F: frontal bone. LiR: lower incisive root. Lp: perpendicular plate (ethmoid bone). Mb: mandible. Mm: masseter muscle. Mt: temporalis muscle. Mpt: medial pterygoid muscle. Mptl: lateral pterygoid muscle. Np: nasopharynx. Ob: olfactory bulb. Or: olfactory recess. SFr: sinus of frontal bone (caudolateral part). SFs: septum of frontal sinuses. Sp: soft palate. SphS: sphenopalatine sinus (sphenoidal part). SSphS: septum of sphenopalatine sinus. T: tongue. Zg: zygomatic gland. Zp: zygomatic process.

3.1. Anatomical Sections

These images displayed relevant formations of the nasal cavity and paranasal sinuses. Consequently, its rostral aperture was depicted by the nares, which had an oval shape. The outer more-or-less flaring wall of them is the radix nasi (root of the nose) that expands rostroventrally as the dorsum nasi (dorsum of the nose) until it is ended in the apex nasi (tip of the nose). Moreover, these sections showed the philtrum with adequate detail. Hence, it was presented as a vertical indentation with a Y-shape between the base of the nose and the border of the upper lip. Inside the nostrils, we identify a small-dilated area forming the nasal vestibule. More ventrally, we identified the incisive bone bearing the upper incisive teeth (Figures 2A–7A) and caudally, we identified the nasal septum, protected by a mucous membrane, and joined dorsally to the nasal bone (Figures 4A–10A).

This septum shows a ventral part supported by the vomer (Figures 5A–11A). Besides, we could identify the vomeronasal organ located ventrally to the vomer and it showed as a large-caliber duct Figures 4A–9A). The nasal septum divides the nasal cavity into two symmetrical passages and is prolonged dorso- and ventrolaterally, forming the dorsal and ventrolateral nasal cartilages (Figures 3A and 4A). These transverse images were pivotal for identifying the straight, alar, basal (with its medial and lateral parts), and parallel folds (Figures 2A–5A). Caudally to the passages, we identified the nasal conchae represented by the dorsal, ventral, and medial nasal conchae (Figures 5A–10A). Between the walls of the nasal cavity and the nasal conchae, we distinguished different meatuses, including the dorsal, the middle, the ventral, and the common meatuses (Figures 6A–11A).

Additionally, these cross sections allowed the distinction of the conchomaxillary opening, connecting the middle nasal concha with the caudal compartment of the maxillary sinus (illustrated in Figure 10A). More caudal sections identified the fundus of the nasal cavity represented by the ethmoidal bone complex pinpointed between the neurocranium and the splanchnocranium, displaying a clear distinction between its perpendicular and tectorial plates. Besides, these sections allowed the identification of scroll-like plates of bone termed ethmoturbinates, which were differentiated between ectoturbinates and endoturbinates (Figure 11A). Other structures associated with the nasal cavity were the rostral part of the maxillary sinus, which communicated to the nasal cavity by the nasomaxillary opening through the ventral nasal meatus (Figures 7A and 9A), the rostral and caudal compartments of the frontal sinus, and the palatine and sphenoidal parts of the sphenopalatine sinuses (Figures 9A–12A).

In addition, these images facilitate the depiction of structures belonging to the oral cavity, including the tongue, the lower incisors, the upper and lower lips, and the oral vestibule. Adjoining formations, including the nasopharynx, the hard palate, and the palatine plexus, were also depicted (Figures 4A–12A). Furthermore, other notable bones, including the maxilla and the mandible bearing the premolar and molar teeth were displayed in these anatomical sections (Figures 8A–11A).

In the last anatomical images, we identify some brain structures, including the olfactory bulb and the olfactory recess (Figure 12A). Moreover, there is a clear distinction between the eye and its associated structures. Therefore, we distinguished the vitreous chamber, the sclera and the optic nerve, and the dorsal and ventral rectus muscles (Figure 11A). Moreover, we observed pivotal muscles associated with the masticatory activity, including the lateral and medial pterygoid muscles, the temporalis, the superficial and deeper portions of the masseter, and the buccinator muscle (Figure 9A–12A).

3.2. Computed Tomography (CT)

No relevant anatomic variations were observed in the five porcupines scanned. The anatomic formations displayed with the pulmonary and bone tissue matched adequately with structures in the complementary anatomical sections. Therefore, these CT windows showed a lateral cleft corresponding to the nostrils (Figure 2B,C). Moreover, the pulmonary and bone CT windows distinguished the philtrum as an I-shape in the ventral part of the face. This section was also essential in identifying the alar groove (Figures 2B,C and 3B,C).

More caudally, we observed different cartilages of the nose, including the dorsal and ventral lateral cartilages, the lateral accessory nasal cartilage, and various nasal folds, such as the alar, basal, straight, and parallel folds that showed intermediate attenuation signals (Figures 2B,C–5B,C). Enclosed by the nasal cartilages, we distinguished the nasal vestibule that showed hypoattenuation.

In contrast, this section displayed the incisive bone and the lower incisors with a high degree of attenuation. More caudal sections allowed the visualization of other bones that constitute the nasal cavity, including the nasal, the palatine, the maxillary, the vomer, and the ethmoid bones showing hyperattenuating signal (Figures 3B,C–12B,C). In addition, most parts of the nasal cavities and paranasal sinuses were displayed with the corresponding CT sections, which were easily identified due to the intraluminal gas content effect. Therefore, we distinguished the oral cavity, the nasopharyngeal duct, as well as the dorsal, ventral, and medial nasal conchal recesses, the maxillary, the frontal, and the sphenopalatine sinuses (Figures 8B,C–12B,C).

Moreover, there were areas of soft tissue attenuation that were closely related to the mandible and compatible with the mylohyoideus, the buccinators, the temporal, lateral and medial pterygoideus, and the superficial and deeper portions of the masseter muscles (Figures 9B,C–12B,C). On these CT images, it was possible to visualize some adjacent formations that remained on the skull, including the olfactory bulb and diverse components of crested porcupine eyeballs, such as the extraocular muscles, the sclera, and the lens, appearing all of them as moderate to high attenuating structures (Figures 11B,C and 12B,C).

4. Discussion

At present, the application of traditional imaging techniques, including radiology and ultrasound, is still quite helpful and very employed in exotic referral centers. Nonetheless, advanced imaging diagnostic techniques have proved essential in the anatomical knowledge and the diagnosis of different disorders in veterinary medicine [10–18]. These procedures give exceptional images of anatomic structures, an excellent definition of the extent and character of various pathologies, fast imaging acquisition and the avoidance of superimposition, which have revolutionized teaching purposes, research, and veterinary diagnosis [10,11]. Despite these advantages, the use of these procedures in exotic animal medicine is limited due to their costs, availability, and logistical challenges in obtaining images of captive and free-ranging animals. While several studies have been conducted using CT and MRI to assess the nasal cavities and paranasal sinuses in traditional and various exotic species, including domestic mammals, sea turtles, rabbits, koalas, guinea pigs, six-banded armadillos, and felids [17,20,27-32], there is a lack of an anatomical description of normal crested porcupine images. In this context, this study aims to provide anatomical details of the crested porcupine's nasal cavity through anatomic sections and their correlation with transverse bone and pulmonary CT images. Other reports have used dorsal and sagittal images to obtain a complete visualization of the nasal cavities [29,30,34]. However, adequate information on the entire crested porcupine nasal cavity was also possible with those images obtained via the transverse sections. Relevant investigations have already demonstrated how the transverse plane has been helpful in veterinary medicine in identifying the nasal cavity and paranasal sinuses in detail, which is essential to evaluating nasal pathologic changes [29,31,35,36].

Concerning the nose, relevant structures were confirmed using these techniques. Since the nasal cavities and paranasal sinuses do not contain soft-tissue structures other than the mucosa, using different CT windows was quite helpful in evaluating the normal structures that compose this cavity. CT is considered the best imaging technique for an initial evaluation of the nasal cavity due to the excellent visualization of the bony limits and their extensions [34]. Other advantages of CT over MRI are lower cost and less time to conduct an examination. In contrast to CT, MRI allows differentiation between the nasal mucosa and other soft tissues or fluids, which can be valuable in interpreting pathological conditions [17,20,34]. In our work, we were working with animals without nasal pathologies. Thus, this fact and the combination of different CT windows and anatomical cross-sections provided excellent detail of this cavity. Therefore, we could distinguish various parts constituting the nose, which were better visualized in the anatomical cross-sections.

In contrast, the CT images provided excellent detail of the alar folds that showed relevant development in this species. Similar results were reported in exotic species such as the lion [34]. Nonetheless, other related species, including the six-banded armadillo, guinea pigs, koalas, rabbits, and big felids, such as the leopard and cheetah, did not report this extension [17,20,28,30,34]. As in lions [34], the caudal portion of this fold allowed the visualization of the incisive bone bearing the upper incisors.

Since we aimed to obtain detailed anatomical images with notable resolution, we performed our CT examinations with bone and pulmonary windows. The use of both windows in combination with the anatomical cross-sections provided pivotal details on the nasal conchae and the adjoining paranasal sinuses. Thus, we could distinguish a very little dorsal nasal concha, and a large ventral nasal concha divided into a dorsal and a ventral part, showing an oval shape and extending to the level of the first maxillary tooth. Important development of the nasal concha has been reported in other species, including domestic mammals, rabbits, guinea pigs, and six-banded armadillos [17,20,24,30,31,37]. Moreover, crested porcupines showed a notable development of the middle nasal concha compared to other wildlife and domestic species [34,37,38], depicted in the anatomical cross sections.

As in other species, such as the guinea pigs and the rabbits [20,37], we highlight the remarkable development of different paranasal sinuses. Therefore, we underlined the maxillary sinus, the largest paranasal sinus in the crested porcupine. This sinus was divided into rostral and caudal compartments. The rostral compartment was elongated in shape and extended from the upper incisive teeth roots to the level of the first premolar teeth. In contrast, the caudal compartment of the maxillary sinus was larger, and triangular, extending caudoventrally around the nasopharynx until the second molar teeth. According to other studies performed on this region [37,39], we used the cheek teeth to help in the sinus extension. Concerning the frontal sinus, it also reached proportionally large dimensions, extending under the parietal bone. Cheetahs and cats can also get large dimensions [38], although not as observed in the crested porcupines. Interestingly, other rodents do not show such extension of the frontal sinus [13,16,22,24]. All these sinuses serve several important functions. The mucosal lining helps warm and humidify the inhaled air from the nasal cavity. Additionally, these sinuses lighten the overall mass of the skull. This weight reduction allows the muscles responsible for moving the head and neck to operate more efficiently [16,22,34]. Here, we also highlighted that porcupines showed remarkable similarities with the equine paranasal sinuses [31,39]. Therefore, these rodents also presented a clear sphenopalatine sinus, which differentiated a palatine compartment with a triangular shape and a rounded sphenoidal compartment.

The information obtained about the crested porcupine nasal cavity and paranasal sinuses could be relevant for detecting pathological alterations reported in rodents and rabbits, including masses, foreign bodies, and acquired dental diseases and their associated consequences, such as deformities and osteomyelitis, and the extension of the infection process to different parts of the nasal and paranasal cavities [13,15,19,35,36].

The present investigation shows some limitations related to the evolution of sexual size dimorphism in favor of females in this animal. This has been related to the distribution and quality of food resources [40]. Despite this, we did not observe the essential difference between normal crested porcupine females and male nasal cavity samples. Nonetheless, further studies with more animals should be done to evaluate this possible difference and assess the notable development of the nasal cavity and paranasal sinuses observed in these animals.

This investigation provides a comprehensive anatomical description of the crested porcupine's nasal cavity and paranasal sinuses using anatomical cross-sections and transverse CT images. The images obtained in this research adequately identified the anatomical landmarks of the rostral part of the porcupine head. Besides, these modern techniques provide essential insights to facilitate teaching applied anatomy as these imaging techniques provide excellent identification of specific anatomic structures without overlapping, enhancing the visualization and the organization of the nasal cavity in the crested porcupine. In addition, the details displayed here could be used as a preliminary source for the practitioner to evaluate CT images of porcupines with pathological conditions of the nasal cavity and paranasal sinuses.

Author Contributions: Conceptualization, J.R.J., D.M.B. and M.E.; methodology, J.R.J., D.M.B., A.M.-E., M.R.V., F.S.-C. and M.E.; formal analysis, J.R.J., D.M.B., A.A., G.R. and M.E.; investigation, J.R.J., A.A., P.P.-O., D.M.B., F.S.-C., M.R.V. and A.M.-E.; resources, D.M.B.; writing—original draft preparation, J.R.J. and D.M.B.; writing—review and editing, J.R.J., A.A., P.P.-O., D.M.B., F.S.-C., G.R., M.R.V., A.M.-E. and M.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: An informed consent from the owner, allowed us to carry out this study. Therefore, Rancho Texas Lanzarote Park was informed that all the information obtained from this study was treated as confidential to the extent permitted by law, and only used for research or teaching purposes.

Data Availability Statement: The information is available at https://accedacris.ulpgc.es/ (accessed on 24 September 2024).

Acknowledgments: In loving memory of Alvaro Domingo and Honorio Rodriguez Garcia. We thank Ayesh Mohamad, Nicolasa Rodríguez, Carmen Mingot, Emilia Mingot, Concepción Mingot, Nicolas Aquino, Marisa Mohamad, and Jamal Jaber for their support and constructive comments. Moreover, we thank Rancho Texas Lanzarote Park (Lanzarote, Canary Islands, Spain) for providing the animals for this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

- Amori, G.; De Smet, K. Hystrix cristata. In IUCN Red List of Threatened Species; 2016; e.T10746A22232484. Available online: https://www.iucnredlist.org/species/10746/22232484 (accessed on 23 June 2024).
- Wilson, D.E.; Reeder, D.M. (Eds.) Species Hystrix (Hystrix) cristata. In Manmal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference, 3rd ed.; Johns Hopkins University Press: Baltimore, MA, USA, 2005; p. 1543.
- Angelici, F.M.; Colangelo, P.; Gippoliti, S. Out of Europe: Investigating Hystrix cristata (Rodentia: Hystricidae) skull morphometric geographic variability in Africa. Biogeographia 2021, 36, a001. [CrossRef]
- Storch, G. Porcupines. In Grzimek's Encyclopedia of Mammals; Grzimek, B., Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1990; pp. 300–307.
- Felicioli, A.; Grazzini, A.; Santini, L. The mounting behaviour of a pair of crested porcupine Hystrix cristata L. Mammalia 1997, 61, 119–123.
- Pigozzi, G.; Patterson, I.J. Movements and diet of crested porcupines in the Maremma Natural Park, central Italy. Acta Theriol. 1990, 35, 173–180. [CrossRef]
- Corsini, M.T.; Lovari, S.; Sonnino, S. Temporal activity patterns of crested porcupines Hystrix cristata. J. Zool. 1995, 236, 43–54. [CrossRef]
- Bruno, E.; Riccardi, C. The diet of the crested porcupine Hystrix cristata L., 1758, in a Mediterranean rural area. Z. Säugetierkunde 1995, 60, 226–236.
- 9. Farrow, C.S. Veterinary Diagnostic Imaging: Birds, Exotic Pets and Wildlife; Mosby Elsevier: St. Louis, MO, USA, 2009.
- Knipe, M.F. Principles of Neurological Imaging of Exotic Animal Species. Vet. Clin. N. Am. Exot. Anim. Pract. 2007, 10, 893–907. [CrossRef]

- Lauridsen, H.; Hansen, K.; Wang, T.; Agger, P.; Andersen, J.L.; Knudsen, P.S.; Rasmussen, A.S.; Uhrenholt, L.; Pedersen, M. Inside out: Modern Imaging Techniques to Reveal Animal Anatomy. *PLoS ONE* 2011, 6, e17879. [CrossRef]
- Banzato, T.; Russo, E.; Di Toma, A.; Palmisano, G.; Zotti, A. Anatomic imaging of the Boa constrictor head: A comparison between radio graphy, computed tomography and cadaver anatomy. Am. J. Vet. Res. 2011, 72, 1592–1599. [CrossRef]
- Capello, V. Diagnostic Imaging of Dental Disease in Pet Rabbits and Rodents. Vet. Clin. N. Am. Exot. Anim. Pract. 2016, 19, 757–782. [CrossRef]
- Arencibia, A.; Encinoso, M.; Jaber, J.R.; Morales, D.; Blanco, D.; Artiles, A.; Vázquez, J.M. Magnetic resonance imaging study in a normal Bengal tiger (Panthera tigris) stifle joint. BMC Vet. Res. 2015, 11, 192. [CrossRef]
- Capello, V.; Cauduro, A. Comparison of diagnostic consistency and diagnostic accuracy between survey radiography and computed tomography of the skull in 30 rabbits with dental disease. J. Exot. Pet. Med. 2016, 25, 115–127. [CrossRef]
- Glodek, J.; Adamiak, Z.; Przeworski, A. Magnetic Resonance Imaging of Reptiles, Rodents, and Lagomorphs for Clinical Diagnosis and Animal Research. Comp. Med. 2016, 66, 216–219. [PubMed]
- Van Caelenberg, A.I.; De Rycke, L.M.; Hermans, K.; Verhaert, L.; van Bree, H.J.; Gielen, I.M. Low-field magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of the rabbit head. *Vet. J.* 2011, 188, 83–91. [CrossRef] [PubMed]
- Müllhaupt, D.; Augsburger, H.; Schwarz, A.; Fischer, G.; Kircher, P.; Hatt, J.M.; Ohlerth, S. Magnetic resonance imaging anatomy of the rabbit brain at 3 T. Acta Vet. Scand. 2015, 57, 47. [CrossRef] [PubMed]
- Capello, V.; Lennox, A. Advanced diagnostic imaging and surgical treatment of an odontogenic retromasseteric abscess in a guinea pig. J. Small Anim. Pract. 2015, 56, 134–137. [CrossRef]
- Mahdy, M.A.A. Correlation between computed tomography, magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of the head of the guinea pig (*Cavia porcellus*, Linnaeus 1758). Anat. Histol. Embryol. 2022, 51, 51–61. [CrossRef]
- Chuang, N.; Mori, S.; Yamamoto, A.; Jiang, H.; Ye, X.; Xu, X.; Richards, L.J.; Nathans, J.; Miller, M.I.; Toga, A.W.; et al. An MRI-based atlas and database of the developing mouse brain. *NeuroImage* 2011, 54, 80–89. [CrossRef]
- Alvites, R.D.; Caseiro, A.R.; Pedrosa, S.S.; Branquinho, M.E.; Varejão, A.S.P.; Maurício, A.C. The Nasal Cavity of the Rat and Mouse-Source of Mesenchymal Stem Cells for Treatment of Peripheral Nerve Injury. Anat. Rec. 2018, 10, 1678–1689. [CrossRef]
- Gray-Edwards, H.L.; Salibi, N.; Josephson, E.M.; Hudson, J.A.; Cox, N.R.; Randle, A.N.; McCurdy, V.J.; Bradbury, A.M.; Wilson, D.U.; Beyers, R.J.; et al. High resolution MRI anatomy of the cat brain at 3 Tesla. J. Neurosci. Methods 2014, 227, 10–17. [CrossRef]
- 24. Popesko, P.; Rajtova, V.; Horak, J. Anatomy of Small Laboratory Animals; Wolfe Publishing Ltd.: London, UK, 1990; pp. 14–53.
- Jaber, J.R.; Encinoso, M.; Morales, D.; Artiles, A.; Santana, M.; Blanco, D.; Arencibia, A. Anatomic study of the normal *Bengal tiger* (*Panthera tigris tigris*) brain and associated structures using low field magnetic resonance imaging. *Eur. J. Anat.* 2016, 20, 195–203.
- Silva, A.B.; Sousa, M.M.; Silva, J.V.; Oliveira, I.M.; Barbosa, C.M.; Santos, M.; Conde, A.M. Anatomy of the nasal cavity of nine-banded armadillo (*Dasypus novemcinctus*, Linnaeus, 1758). J. Interdiscip. Biocienc. 2016, 1, 1–4. [CrossRef]
- Burk, R.L. Computed tomographic anatomy of the canine nasal passages. Vet. Radiol. Ultrasound 1992, 33, 170–176. [CrossRef]
 Bercier, M.; Alexander, K.; Gorow, A.; Pye, G.W. Computed tomography and magnetic resonance for the advanced imaging of the normal nasal cavity and paranasal sinuses of the koala (*Phascolarctos cinereus*). J. Zoo. Wildl. Med. 2014, 45, 766–774. [CrossRef] [PubMed]
- De Rycke, L.M.; Saunders, J.H.; Gielen, I.M.; van Bree, H.J.; Simoens, P.J. Magnetic resonance imaging, computed tomography, and cross-sectional views of the anatomy of normal nasal cavities and paranasal sinuses in mesaticephalic dogs. Am. J. Vet. Res. 2003, 64, 1093–1098. [CrossRef] [PubMed]
- Jaber, J.R.; Morales Bordon, D.; Arencibia, A.; Corbera, J.A.; Conde-Felipe, M.; Ayala, M.D.; Encinoso, M. Correlation between Cross-Sectional Anatomy and Computed Tomography of the Normal Six-Banded Armadillo (*Euphractus sexcintus*) Nasal Cavity and Paranasal Sinuses. *Animals* 2024, 14, 1135. [CrossRef] [PubMed]
- Arencibia, A.; Vázquez, J.M.; Jaber, R.; Gil, F.; Ramírez, J.A.; Rivero, M.; González, N.; Wisner, E.R. Magnetic resonance Imaging and cross-sectional anatomy of the normal equine sinuses and nasal passages. *Vet. Radiol. Ultrasound* 2000, 41, 313–319. [CrossRef] [PubMed]
- Arencibia, A.; Hidalgo, M.R.; Vázquez, J.M.; Contreras, S.; Ramírez, G.; Orós, J. Sectional Anatomic and Magnetic Resonance Imaging Features of the Head of Juvenile Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*). Am. J. Vet. Res. 2012, 73, 1119–1127. [CrossRef]
- Morales-Bordon, D.; Encinoso, M.; Arencibia, A.; Jaber, J.R. Cranial Investigations of Crested Porcupine (*Hystrix cristata*) by Anatomical Cross-Sections and Magnetic Resonance Imaging. *Animals* 2023, 13, 2551. [CrossRef]
- 34. Díaz Martínez, E.; Arencibia Espinosa, A.; Soler Laguía, M.; Kilroy, D.; Martínez Gomariz, F.; Casas García, D.L.; Sánchez Collado, C.; Gil Cano, F.; Jaber, J.R.; Ramírez Zarzosa, G. An Anatomical Study Using Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging, and Rhinoscopy of the Nasal Cavity of Domestic Cat (*Felis silvestris catus* L.) and Big Cats: Lion (*Panthera leo leo* L.), Leopard (*Panthera pardus kotiya* L.), and Cheetah (*Acinonyx jubatus jubatus S.*). Animals 2024, 14, 1172. [CrossRef]
- Fornazari, F.; Guimaraes, F.F.; Teixeira, C.R.; Langoni, H. Isolation of staphylococcus epidermidis from inflamed upper respiratory tract of an orange-spined hairy dwarf porcupine (Sphiggurus villosus). J. Venom. Anim. Toxins Incl. Trop. Dis. 2012, 18, 455–458. [CrossRef]
- Encinoso, M.; Morales, D.; Déniz, S.; Guerra, J.V.; Jaber, J.R. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of a Rhinosinusitis Secondary to a Dental Abscess in a Crested Porcupine (*Hystrix cristata*). Slov. Vet. Res. 2023, 60, 37–43. [CrossRef]

- Ragab, S.A.; Abouelela, Y.S.; Daghash, S.M.; Khattab, M.A.; Tahon, R. Comparative Morphological and Histochemical Characteristics of the Nasal Cavity and Paranasal Sinuses of Adult Rabbits and Domestic Cats in Egypt. Inter. J. Vet. Sci. 2018, 7, 97–105.
- Diaz Martínez, E.; Arencibia Espinosa, A.; Soler Laguía, M.; Ayala Florenciano, M.D.; Kilroy, D.; García García, M.I.; Martínez Gomariz, F.; Sánchez Collado, C.; Gil Cano, F.; Jaber, J.R.; et al. The Bony Nasal Cavity and Paranasal Sinuses of Big Felids and Domestic Cat: A Study Using Anatomical Techniques, Computed Tomographic Images Reconstructed in Maximum-Intensity Projection, Volume Rendering and 3D Printing Models. *Animals* 2024, 14, 2609. [CrossRef] [PubMed]
- Probst, A.; Henninger, W.; Willmann, M. Communications of normal nasal and paranasal cavities in computed tomography of horses. Vet. Radiol. Ultrasound 2005, 46, 44–48. [CrossRef]
- 40. Pigozzi, G. Female-biased sexual size dimorphism in the crested porcupine (Hystrix cristata L.). Ital. J. Zool. 1987, 3, 255–259.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Case Report

CAPÍTULO 3. ARTÍCULO 3.

DOI 10.26873/SVR-1499-2023 UDC 599.324.32:616.314-002:616-073 Pages: 37-43

Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of a Rhinosinusitis Secondary to a Dental Abscess in a Crested Porcupine (*Hystrix cristata*)

Key words	Mario Encinoso ¹ , Daniel Morales ¹ , Soraya Déniz ¹ , Jose V Guerra ² , Jose Raduan Jaber ³ *
porcupine, dental abscess, computed tomography, magnetic resonance imaging	¹ Hospital Universitario, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, ² Rancho Texas Lanzarote Park, Puerto del Carmen, Tías 35510, Lanzarote, ³ Departamento de Morfologia. Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain
	*Corresponding author: joseraduan.jaber@ulpgc.es
Received: 24 March 2022 Accepted: 21 February 2023	Abstract: A captive crested porcupine (<i>Hystrix cristata</i>) adult male was imaged due to reduced food intake, anorexia, fever, nasal discharge, changes in fecal quantity and size, and respiratory difficulties. Advanced imaging diagnostic techniques such as computed tomography and magnetic resonance imaging were performed to evaluate the animal. These techniques were very helpful to delineate the dental abscess, as well as the extension of the process to other locations such as the nasal cavity and the tympanic bulla. This is the first description of rhinosinusitis secondary to a dental abscess in a crested porcupine.

Introduction

In recent years, the introduction of modern diagnostic imaging techniques has improved the visualization of diseases in exotic mammal medicine. Traditionally, standard radiography has been used by clinicians (1). Nonetheless, results of previous works have proposed that computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) may provide more information to improve diagnostic accuracy, prognosis, and treatment of diseases (2, 3, 4). These techniques avoid the superimposition of adjacent anatomical structures and depict the anatomic detail of specific tissue densities more finely, which improves its interpretation (2). Moreover, the refinements in CT technology involve the application of computer software for the generation of threedimensional (3D) reconstruction of an area of anatomic interest (5). These advantages have demonstrated great value for the diagnosis of several diseases in exotic mammal species (2,3,4,5). Some of these species, such as the crested porcupine (Hystrix cristata), appear in worrisome categories of the IUCN red list since are regionally or locally threatened and thus require appropriate conservation

policies in regional and local contexts. It is a species of rodent in the family Hystricidae native to Italy and Sicily, and a broad central strip ranging from Senegal and west to Somalia and east to Kenya and Tanzania (6, 7).

Porcupine presents strong and pointed quills that cover their tail, sides and top of the body. Concerning its head, it is large and robust with an enlarged infraorbital foramen so that portions of the masseter extend through it and arise from the frontal side surface of the snout (8). The anatomy and physiology of their oral cavity can produce several dental disorders. The teeth of rodents grow continuously (incisors in all species and molars in some species), therefore, any disease affecting the positioning of teeth within this cavity and disrupting normal attritional movements will lead to overgrowth and malocclusion (2, 3). Nonetheless, their oral cavity is very difficult to examine because of its anatomic configuration; these features typically allow the evaluation of superficial changes (9). For these motives, new imaging modalities are of tremendous importance for

Slov Vet Res | Vol 60 No 1 | 37

the assessment of teeth and surrounding structures (10). Therefore, the use of CT and MRI allows an accurate diagnosis of dental disorders since it is highly effective in visualizing soft tissues and, unlike conventional radiology, can be used to diagnose even small dental abscesses, as well as osteoarthritis of the temporomandibular joint and odontogenic tumours (2, 11).

Case Presentation

An adult male crested porcupine (*Hystrix cristata*) weighing 7,8 kg from Rancho Texas Lanzarote Park (Lanzarote, Canary Islands, Spain) was admitted to the Veterinary Hospital of Las Palmas de Gran Canaria University (Canary Islands, Spain) to be imaged due to medical history of weight loss, reduced activity and food intake, anorexia, fever, mucopurulent nasal discharge, reduced stool production, and respiratory difficulties. The blood collection revealed mild anemia, marked lymphopenia, hypoglycaemia,

hypoalbuminaemia, slightly high serum urea concentrations, and low potassium levels.

To perform the imaging study and evaluate the animal, we sedated the porcupine using a combination of dexmedetomidine (0,25 mg/kg IM, DEXDOMITOR®, Ecuphar, Barcelona, Spain) and ketamine (25 mg/kg, Imalgene®, Boehringer Ingelheim, Barcelona, Spain). No physical abnormalities were observed when we checked the head, However, the inspection of its oral cavity revealed an abscess of the right maxillary molar tooth and halitosis. The images were obtained using a 16-slice helical CT scanner (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, Spain). The animal was positioned symmetrically in sternal recumbency on the CT couch, and a standard clinical protocol (120 kVp, 80 mA, 512 X 512 acquisition matrix, 1809 x 858 field of view, a spiral pitch factor of 0,94, and a gantry rotation of 1,5 s) was used to acquire sequential transverse CT images of 1 mm thickness slice. To optimize the CT appearance of the head structures, two CT algorithms (bone/



Figure 1: A) Dorsal MPR image of the porcupine head, bone window. The image displays an increase of the alveolar space corresponding to the third right maxillary molar tooth (white arrows). B) Volume-rendered reconstruction image of the porcupine head, displaying the dentary abscess (black arrows)

38 | Slov Vet Res | Vol 60 No 1

pulmonary algorithm), and two windows were applied by adjusting the window widths (WW) and window levels (WL): a bone window setting (WW=1500; WL=300) and a soft-tissue window setting (WW=350; WL=40). Multiplanar reconstruction (MPR) of CT images was performed to improve the visualization of the normal anatomy of the affected area as well as greater diagnostic accuracy of the extension of the disease. In addition, the original data were used to generate volume-rendered reconstructed images after manual editing of the transverse CT images to remove soft tissues using a standard Dicom 3D format (OsiriX MD, Geneva, Switzerland).

The CT and volume rendering reconstruction images displayed an increase in the alveolar space corresponding to the third right maxillary molar tooth (Figure 1). This alveolar space was hypoattenuating concerning the subjacent soft tissue. The rest of the oral cavity appeared unremarkable without any sign of disease. The nasal cavity and paranasal sinuses showed a large amount of fluid collection affecting both sides (more marked on the right side) that were hyperattenuated in the transverse and MPR images (Figure 2, 4a). No other remarkable findings were observed. The MRI study was conducted with a 1.5-Tesla magnet (Toshiba, Vantage Elan, Japan) with the animal placed in ventral recumbence. A standard MRI protocol was used to generate spin-echo (SE) T1-weighted, and T2-weighted images in sagittal, transverse, and dorsal planes. SE T1weighted transverse images were acquired with the following settings: Echo time (TE), 10 ms, repetition time (TR), 800 ms, acquisition matrix of 536 x 384, and 4,5 mm slice thickness with 4 mm spacing between slices. For SE T2weighted transverse images, the TE 120 ms, TR 10541 ms, acquisition matrix 624 x 448, and 3 mm slice thickness with 3 mm interslice spacing. For SE T2-weighted sagittal images, the TE 120 ms, TR 7529 ms, acquisition matrix 512 x 804, and 2,8 mm slice thickness with 2 mm interslice spacing. For SET2-weighted dorsal images, the TE120 ms, TR 8282 ms, acquisition matrix 468 x 512, and 3,4 mm slice thickness with 3 mm interslice spacing. We used a medical imaging viewer (OsiriX MD, Geneva, Switzerland) to evaluate the images of the study.

Dorsal, transverse, and sagittal MR images of the porcupine head are presented (Figures 3, 4B). These images showed an increase of the alveolar space corresponding



Figure 2: A) Transverse CT image of the porcupine head, bone window. The image shows an increase of the alveolar space corresponding to the third right maxillary molar tooth (black arrow). This increased space produced deviation to the right midline of the right wall of the nasopharynx (white arrow). In addition, there was a fluid collection in the paranasal sinuses (white arrow). B) Transverse CT image of the porcupine head, bone window. The image shows fluid collection in the dorsal and ventral nasal conchae (white arrows)

Slov Vet Res | Vol 60 No 1 | 39

to the third right maxillary molar tooth. The increase of the alveolar space was hyperattenuated in T2W images when compared with the subjacent soft tissue. The dorsal and sagittal T2W images depicted abundant fluid collection in the nasal cavity and paranasal sinuses (Figures ·3A, 4B). In addition, the tympanic bullas showed a slight amount of fluid that was hyperintense in the T2W transverse images (Figure 3B). No other Imaging findings were identified.

We submitted samples of the fluid collection for aerobic and anaerobic bacterial culture. These were performed using sterile cotton swabs in a transport medium (Eurotubo®, Rubi, Barcelona, Spain). The swab was introduced 2-4 cm into the medial aspect of each nare and was stored and kept at 4 °C until further processing in the laboratory. Later, samples were inoculated on Blood agar, MacConkey agar, Baird parker agar, and sabouraud agar. Plates were incubated at 37 °C for 24 hours. There was bacterial growth on blood agar and Baird parker agar. We also performed a Gram stain, resulting in gram-positive cocci in pure culture. Subsequently, the API 20 Staph gallery confirmed the presence of *Staphylococcus aureus*. The antimicrobial resistance was tested to select effective drugs for treatment with those antimicrobials used in people against staphylococcal infection (12). The antimicrobial sensitivity discs (Oxoid, England) were cephalexin, enrofloxacin, ciprofloxacin, and amoxicillin-clavulanic acid. With this result, we recommend enrofloxacin (15 mg/kg s.c. q24h) for 14 days. Unfortunately, medical treatment was ineffective so surgical therapy was performed to extract the affected tooth and instilment the surgical site with antibiotic preparations (doxycycline-containing polymer gel). Later, the porcupine was maintained with amoxicillin–clavulanate 7,5 mg/kg q48h s.c. for six weeks. Further evaluation of the animal revealed no further complications.

Discussion

To the authors' knowledge, the present study is the first to characterize CT and MRI findings of a dental abscess in a crested porcupine. Different reports have postulated that rodents can develop dental diseases in their lifetime and be



Figure 3: MRI of the porcupine head. A) T2W, dorsal image, displaying the fluid collection in the nasal cavity and paranasal sinuses (black arrows). B) T2W, transverse image. The image shows the tympanic bullas with a slight amount of fluid that is hyperintense (white arrows)

40 | Slov Vet Res | Vol 60 No 1

a cause of morbidity (13, 14) since these diseases may lead to infection of teeth and surrounding structures. Among these diseases, we highlighted dental abscesses, which are common in lagomorphs and rodents (10, 11, 15, 16). However, the singular aspects of its dental anatomy, physiologic characteristics, and host response make abscess diagnosis and treatment quite difficult (17). The aetiology of dental abscesses implies food and microorganisms being able to track up a loosened or broken tooth into the periodontal tissues and alveolar socket, resulting in the generation of an abscess associated with the maxilla or mandible, which can extend to the nasal cavity (17, 18). In this study, CT and MR images supported the diagnosis of rhinosinusitis secondary to dental associated infection. Information concerning rhinosinusitis in captive and free-ranging wildlife species is sparse. Thus, only a few reports have described this finding in rodents such as ground squirrels (19) or an orange-spined hairy dwarf porcupine (20), and as in our case, the nasal cavity inflammation was associated to Staphylococcus spp infection.

Diseases of incisors and cheek teeth result in clinical signs that could require appropriate imaging techniques to obtain a definitive diagnosis, formulate a prognosis, and develop a treatment plan. The use of radiographic imaging can be contemplated as a primary diagnostic tool to evaluate these processes. Unfortunately, the small size of rodents and the overlapping of the dental quadrants make radiographic evaluation quite arduous (18). Advanced diagnostic imaging such as CT and MRI have become popular in exotic mammal medicine since these techniques improve anatomic identification and lesion detection that allows accurate assessment, detailed prognosis, the diagnosis of underlying lesions and treatment choice (10, 18). CT has been widely used in rabbits to evaluate acquired dental disease and its associated problems, such as deformities and osteomyelitis, as well as the extension of the infection process to different bone cavities of the skull as the nasal or the paranasal cavities and the tympanic bullae (10, 11, 12). Therefore, the clinical signs are commonly related to the primary dental problem or complications connected with dental disease. The clinical signs observed in our animal such as anorexia, reduced food intake, excessive salivation, or nasal discharge were similar to those described in previous reports (10, 11, 12). Additionally, mild anemia, marked lymphopenia, and hypoglycaemia have also been reported in other animals with dental diseases (3, 14, 15).

In this study, a third-generation CT scan provided transverse and three-dimensional reconstructed images that gave an adequate overview of head morphology, displaying a good depiction of the affected areas. Thus, the transverse CT images were helpful to delineate the dental abscess, as well as the extension of the process to other locations, such as the nasal cavity and the tympanic bulla. Interestingly, other studies performed on rabbits showed similar Imaging findings (2, 3, 15, 16). Three-dimensional CT reconstruction is a helpful procedure to evaluate the extension of bony lesions with excellent detail by cropping part of the volume to evaluate deeper anatomic structures (5, 21). Hard and soft tissues can be added virtually or subtracted to different extents and degrees of density, providing a comprehensive relationship between soft and hard tissues. Shaded surface displays present a contoured surface map of the entire image volume, converting CT data into an image very similar to the depiction of an anatomic specimen (10). Despite these arguments, this technique has been infrequently used in exotic veterinary medicine. Three-dimensional CT reconstruction may be of critical importance for diagnostic accuracy and selecting the best



Figure 4: A) Sagittal MPR image of the porcupine head displaying the tooth abscess and the fluid collection in the paranasal sinuses (white arrows). B) T2W, sagittal image, displaying the abundant fluid collection in the nasal cavity and paranasal sinuses (black arrows)

Slov Vet Res | Vol 60 No 1 | 41

surgical approach, depending on the nature and extension of the process. Thus, the use of this technique in rabbits has been quite helpful evaluating osteomyelitis, or dental and skull abnormalities (10). In our study, the images obtained by three-dimensional CT reconstruction displayed excellent detail of the dental abscess and the extension of the process to the nasal cavity, providing additional information to the transverse CT images.

In recent years, the contribution of MRI to the knowledge of exotic animals has increased (10, 11, 16). This Imaging technique displays soft tissues with excellent resolution. Therefore, an MRI of the head for reasons other than studies of the brain is a very helpful tool in pet rabbits and rodents to diagnose the presence and the extent of abscesses (10, 11, 16). In our study, we used a magnet of 1.5 T that provided T2W images with high resolution. These images displayed abundant fluid collection affecting the nasal cavity and the tympanic bulla, thus, diagnosing the presence and extension of the abscess.

Anaerobic and aerobic bacteria have been cultured from dental abscesses when pertinent techniques are used (17). Specific bacteria such as *Staphylococcus Aureus*, previously described to be important etiologic in rabbit dental infections (22), was isolated in our study. It is a versatile opportunistic pathogen that causes a wide spectrum of pathologies. It is also a mammalian commensal and opportunistic pathogen that colonizes niches such as skin, nares, and diverse mucosal membranes. The prevalence in animals varies from host species but colonization and infection have only been superficially investigated in small rodent wild animals (23) such as beavers, ground squirrels, red squirrels, or wood mice (24).

To summarize, advanced imaging diagnostic techniques such as computed tomography and magnetic resonance imaging were helpfully delineating the dental abscess and the extension of this process to other locations such as the nasal cavity and the tympanic bulla. It is the first time this pathology is described in crested porcupines by modern diagnostic techniques.

References

- Banzato T, Russo E, Di Toma A, Palmisano G, Zotti A. Anatomic imaging of the Boa constric-tor head: a comparison between radiography, computed tomography and cadaver anatomy. Am J Vet Res 2011; 72: 1592–9.
- Van Caelenberg AI, De Rycke LM, Hermans K, et al. Comparison of radiography and CT to identify changes in the skulls of four rabbits with dental disease. J Vet Dent 2011; 28: 172–81.
- Capello V, Cauduro A. Comparison of diag-nostic consistency and diagnostic accuracy between survey radiography and computed tomography of the skull in 30 rabbits with dental dis-ease. J Exot Pet Med 2016; 25:115–27.
- 42 | Slov Vet Res | Vol 60 No 1

- Arencibia A, Corbera JA, Ramírez G, Díaz-Bertrana ML, Pitti L, Morales M, Jaber JR. Anatomical assessment of the thorax in the neonatal foal using computed tomography angiography, sectional anatomy, and gross dissections. Animals 2020; 10(6): e1045. doi: 10.3390/ ani10061045
- Zafra R, Carrascosa C, Rivero M, Peña S, Fernández T, Suarez-Bonnet A, Jaber JR. Analysis of equine cervical spine using three-dimensional computed tomographic reconstruction. J Appl Anim Res 2012; 40 (2): 108–11.
- Amori G, De Smet K. Hystrix cristata Linnaeus, 1785. In: IUCN Red List of Threatened Species, 2016: e.T10746A22232484. doi:10.2305/IUCN. UK.2016-2
- Wilson DE, Reeder DM, eds. "Species Hystrix (Hystrix) cristata". Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference. 3rd ed. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2005.
- Storch G. Porcupines. In: Grzimek B, editor. Grzimek's encyclopedia of mammals. New York : McGraw-Hill, 1990; 300–7.
- Mackey EB, Hernandez-Divers SJ, Holland M, Frank P. Clinical technique: application of computed tomography in zoological medicine. J Exot Pet Med 2008; 17: 198–209.
- Capello V. Diagnostic imaging of dental disease in pet rabbits and rodents. Vet Clin North Am Exot Anim Pract 2016; 19(3):757–82.
- Glodek J, Adamiak Z. Przeworski A. Magnetic resonance imaging of reptiles, rodents, and lagomorphs for clinical diagnosis and animal research. Comp Med 2016; 66: 216–9.
- Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. Am J Clin Pathol 1996; 45(4): 493–6.
- Crossley DA. Oral biology and disorders of lagomorphs. Vet Clint Exit Anim 2003; 6: 629–59.
- Capello V, Gracis M, Lennox AM, eds. Rabbit and rodent dentistry handbook. Lake Worth FL : Zoological Education Network, 2005.
- Capello V, Cauduro A. Clinical technique: application of computed tomography for diagnosis of dental disease in the rabbit, guinea pig, and chinchila. J Exotic Pet Medicine 2008; 17: 93–101.
- Capello V, Lennox A. Advanced diagnostic imaging and surgical treatment of an odontogenic retromasseteric abscess in a guinea pig. J Small Anim Pract 2015; 56: 134–7.
- Taylor WM, Beaufrère H, Mans C, Smith DA. Long-term outcome of treatment of dental abscesses with a wound-packing technique in pet rabbits: 13 cases (1998–2007). J Am Vet Med Assoc 2010; 237(12): 1444–9.
- Arzi B, Sinclair KM. Diagnostic imaging in veternary dental practice. Periapical lesions associated with the left maxillary molar teeth and associated cellulitis. J Am Vet Med Assoc 2010; 236(4): 405–7.
- Campbell GA, Kosanke SD, Toth DM, White GL. Disseminated staphylococcal infection in a colony of captive ground squirrels (*Citellus lateralis*). J Wildl Dis 1981; 17(2): 177–81.
- Fornazari F, Guimaraes FF, Teixeira CR, Langoni H. Isolation of Staphylococcus epidermidis from inflamed upper respiratory tract of an or-ange-spined hairy dwarf porcupine (Sphiggurus villosus). J Venom Anim Toxins Incl Trop Dis 2012; 18(4): 455–8.
- Jaber JR, Carrascosa C, Arencibia A, Corbera JA, Ramirez AS, Melian C. 3-D computed tomography reconstruction: another tool to teach anatomy in the veterinary colleges. Iran J Vet Res 2018; 19(1): 1–2.
- Harcourt-Brown FM. Abscesses. In: Harcourt-Brown FM, ed. In: Textbook of rabbit medicine. Philadelphia, PA: Butterworth-Heinemann, Elsevier Science; 2002: 206–223
- Haag AF, Fitzgerald JR, Penadés JR. Staphylococcus aureus in animals. Microbiol Spectr. 2019; 7(3). doi: 10.1128/microbiolspec.
 Monecke S, Gavier-Widén D, Hotzel H, et al. Diversity of Staphylococcus aureus isolates in European wildlife. PLoS One 2016; 11(12): e0168433. GPP3-0060-2019.
 - doi: 10.1371/journal.pone.0168433

Uporaba računalniške tomografije in magnetne resonance za slikanje rinosinuzitisa, nastalega zaradi zobnega abscesa pri afriškem ježevcu (Hystrix cristata)

M. Encinoso, D. Morales, S. Déniz, J. V. Guerra, J. R. Jaber

Izvleček: Odraslega samca afriškega ježevca (Hystrix cristata) v ujetništvu smo slikali zaradi zmanjšanega vnosa hrane, anoreksije, nosnega izcedka, sprememb v količini in velikosti iztrebkov ter težav z dihanjem. Uporabili smo napredne tehnike slikovne diagnostike, kot sta računalniška tomografija in magnetna resonanca. Te tehnike so bile zelo koristne pri opredelitvi zobnega abscesa in razširitve procesa na druga mesta, kot sta nosna votlina in timpanični del temporalne kosti. To je prvi opis rinosinuzitisa, ki je posledica zobnega abscesa pri afriškem ježevcu.

Ključne besede: ježevec; zobni absces; računalniška tomografija; magnetna resonanca

Slov Vet Res | Vol 60 No 1 | 43

CONCLUSIONES

- 1. Las imágenes de RMN obtenidas de la cabeza en este estudio fueron de gran ayuda para proporcionar referencias esenciales para las diferentes estructuras óseas y de tejidos blandos que comprenden el SNC, los órganos sensoriales, así como otras estructuras asociadas del puercoespín crestado. Por lo tanto, la información obtenida en este estudio podría ser adecuada para la evaluación anatómica y clínica de numerosos procesos patológicos que involucran las cabezas de estos animales, como abscesos, enfermedades óseas metabólicas, fracturas, inflamación y neoplasia.
- 2. Las imágenes de RMN obtenidas en diferentes planos espaciales facilitan la comprensión de la organización anatómica para nuestros estudiantes, ya que estos procedimientos permiten la visualización de estructuras sin superposición, eliminando las dificultades de visualización de estructuras anatómicas específicas. Se concluye que la RMN, en combinación con las secciones anatómicas macroscópicas, posibilita la descripción e identificación de la anatomía craneal del puercoespín crestado.

El presente estudio es el primero en describir esta zona mediante cortes anatómicos y RMN con cortes transversales, sagitales y dorsales en puercoespines crestados.

3. Esta investigación proporciona, del mismo modo que con el cráneo y SNC, una descripción anatómica completa de la cavidad nasal y los senos paranasales del puercoespín crestado, en este caso mediante imágenes de TC transversales y cortes transversales anatómicos. Las imágenes obtenidas de estas regiones identificaron adecuadamente los puntos de referencia anatómicos de la parte rostral de la cabeza del puercoespín.

4. Estas técnicas de diagnóstico por imagen avanzadas proporcionan conocimientos esenciales para facilitar la enseñanza de la anatomía aplicada de la cavidad nasal del puercoespín crestado. Siendo también útiles para diagnosticar trastornos y mejorar su tratamiento en la cavidad nasal y los senos paranasales de los puercoespines crestados, los detalles que se muestran aquí podrían usarse como una fuente preliminar para que el médico veterinario evalúe las imágenes de TC de puercoespines con procesos patológicos de la cavidad nasal y los senos paranasales.

Usando diferentes configuraciones de ventanas en la TC, así como secciones y disecciones anatómicas transversales, permitió topografiar y estudiar las diferentes estructuras. Por ello se puede afirmar que la tomografía computarizada es eficaz para el estudio integral de la estructura anatómica de los roedores y otros mamíferos exóticos, obteniendo imágenes de alta calidad.

- 5. Este trabajo presenta un caso clínico donde la TC y la RMN fueron de gran ayuda para delinear un absceso dental, establecer la extensión del proceso infeccioso a otras ubicaciones, como la cavidad nasal y la bulla timpánica, y complementar el diagnóstico y descripción de la rinosinusitis secundaria a la lesión dental. Siendo esta patología muy frecuente en pequeños roedores, es la primera vez que se publica un proceso de este tipo en un gran roedor, utilizando TC y RMN de alto campo, destacando la importancia del olfato en este tipo de animales a la hora de la ingesta en estos animales, al igual que ocurre en otras especies.
- 6. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la gran utilidad para médicos veterinarios, biólogos, investigadores y otros profesionales, así como para estudiantes, de las técnicas avanzadas de imagen como la TC y la RMN en el estudio de la organización de las estructuras que constituyen estas regiones, y el estudio comparado con otras especies animales.

RESUMEN

Los métodos de diagnóstico por imagen avanzados como la RMN y la TC, han revolucionado el estudio y la comprensión de las estructuras anatómicas de los animales. La aplicación de estas técnicas de imagen no invasivas para estudiar la anatomía de la cabeza de las especies de animales incluidas en el orden rodentia, ha contribuido significativamente al conocimiento de su neuroanatomía y ha facilitado la comprensión de la relación existente entrelas estructuras anatómicas y la función de las mismas. Este trabajo de doctorado no solo se ha centrado en dar una visión exhaustiva de la utilidad y significación para el conocimiento científico y médico de la RMN y la TC en la investigación de la anatomía de la cabeza de roedores en general y del Hystrix cristata en particular, sino también de sus limitaciones. Los roedores, sobre todo los ratones y las ratas, son ampliamente utilizados como modelos animales en la investigación biomédica debido a su similitud genética con los humanos y a su facilidad de manejo en los laboratorio. El conocimiento detallado de la anatomía de la cabeza es imprescindible para comprender los procesos fisiológicos normales, la patogenia de las enfermedades y lesiones, y la evaluación de las posibles intervenciones terapéuticas. Los estudios anatómicos tradicionales, basados principalmente en métodos de disección invasiva, están muy limitados para proporcionar información espacial precisa, no pudiendo representar procesos dinámicos. Sin embargo, las técnicas de imagen por RMN y TC ofrecen una visualización tridimensional con una alta resolución y no invasiva, de la de las regiones anatómicas, lo que permite a los investigadores explorar las diferentes estructuras anatómicas con un detalle excepcional. Por ejemplo, la RMN usa ondas de radiofrecuencia y altos campos magnéticos consiguiendo imágenes con gran detalle de distintas secciones de la cabeza de los roedores. Proporciona un excelente contraste de los tejidos blandos, permitiendo la diferenciación precisa de las estructuras cerebrales, los nervios craneales, los vasos sanguíneos y otros componentes de tejido blando. También puede proporcionar imágenes en múltiples planos, lo que facilita la evaluación completa de la cabeza de los roedores desde diversas orientaciones, lo que proporciona información para la identificación de las estructuras anatómicas de 175

referencia. Además, otras las técnicas de RMN más avanzadas, como la imagen ponderada por difusión (DWI) o la RMN funcional (RMNf), permiten investigar la conectividad microestructural y el mapeo cerebral funcional, respectivamente, lo que posibilita ampliar la comprensión de su circuito neural.

La TC emplea rayos X para generar imágenes transversales de las regiones anatómicas de los animales en general, incluido los roedores, como puede ser la cabeza de los roedores. La TC ofrece una resolución espacial mayor y es particularmente útil para visualizar estructuras óseas, dientes y tejidos calcificados. Esta modalidad de imagen proporciona capturas de detalles finos del esqueleto craneal (por ejemplo del cráneo, la mandíbula y las estructuras dentales), por lo que es de gran utilidad en el estudio de la morfología craneal, la patología dental y los trastornos maxilofaciales en los roedores. Además, la TC se puede combinar con agentes de contraste para facilitar la diferenciación de los vasos sanguíneos, ampliando aún más su uso en el estudio de la anatomía vascular de los roedores, y por ende de las anomalías vasculares.

En resumen, las técnicas de imagen por RMN y TC han revolucionado el conocimiento de las estructuras anatómicas de la región de la cabeza de los roedores al proporcionar imágenes de alta resolución y de forma tridimencional, siendo no invasivas. Permitiendo estudiar, de forma integral, las estructuras de los tejidos blandos y los elementos óseos, posibilitando de esta forma conocer los detalles de la neuroanatomía de los roedores que de otra forma sería imposible.

Del mismo modo, la revisión bibliográfica realizada para este trabajo de doctorado profundizará en aplicaciones específicas, consideraciones técnicas y avances en el uso la RMN y la TC. Cómo las técnicas de imagen avanzada posibilitan el conocimiento de una amplia gama de campos de investigación y su potencial impacto en la medicina traslacional.

Palabras clave: Hystrix cristata, anatomía de la cabeza de roedores, resonancia magnética, RMN, tomografía computarizada, TC, neuroanatomía, técnicas de imagen, no invasivas, contraste de tejidos blandos, estructuras óseas, patología dental, anatomía vascular, orden rodentia.

SUMARY

Advanced imaging methods such as magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) have revolutionized the study and understanding of the anatomical structures of animals. The application of these noninvasive imaging techniques to study the anatomy of the head of the animal species included in the order Rodentia has contributed significantly to the knowledge of their neuroanatomy and has facilitated the understanding of the relationship between the anatomical structures and their function. This doctoral work has not only focused on giving an exhaustive overview of the usefulness and significance for scientific and medical knowledge of MRI and CT in the investigation of the anatomy of the head of rodents in general and of Hystrix cristata in particular, but also of their limitations. Rodents, especially mice and rats, are widely used as animal models in biomedical research due to their genetic similarity to humans and their ease of handling in the laboratory. A detailed knowledge of head anatomy is essential for understanding normal physiological processes, the pathogenesis of diseases and injuries, and the evaluation of potential therapeutic interventions. Traditional anatomical studies, based primarily on invasive dissection methods, are severely limited in providing accurate spatial information and are unable to depict dynamic processes. However, MRI and CT imaging techniques offer noninvasive, highresolution, three-dimensional visualization of anatomical regions, allowing researchers to explore different anatomical structures in exceptional detail. For example, MRI uses radiofrequency waves and high magnetic fields to obtain highly detailed images of different sections of the rodent head. It provides excellent soft tissue contrast, allowing for accurate differentiation of brain structures, cranial nerves, blood vessels, and other soft tissue components. It can also provide images in multiple planes, facilitating complete evaluation of the rodent head from various orientations, providing information for the identification of reference anatomical structures. In addition, other more advanced MRI techniques, such as diffusionweighted imaging (DWI) or functional MRI (fMRI), allow investigation of microstructural connectivity and functional brain mapping, respectively, allowing for further understanding of its neural circuitry.

CT uses X-rays to generate cross-sectional images of anatomical regions of animals in general, including rodents, such as the rodent head. CT offers higher spatial resolution and is particularly useful for visualizing bone structures, teeth, and calcified tissues. This imaging modality provides fine detail captures of the cranial skeleton (e.g., the skull, mandible, and dental structures), making it very useful in the study of cranial morphology, dental pathology, and maxillofacial disorders in rodents. In addition, CT can be combined with contrast agents to facilitate the differentiation of blood vessels, further expanding its use in the study of vascular anatomy in rodents, and therefore vascular anomalies.

In summary, MRI and CT imaging techniques have revolutionized the understanding of the anatomical structures of the head region of rodents by providing highresolution, three-dimensional, noninvasive images. This allows for a comprehensive study of soft tissue structures and bone elements, thus making it possible to understand details of rodent neuroanatomy that would otherwise be impossible.

Similarly, the literature review conducted for this PhD thesis will delve into specific applications, technical considerations and advances in the use of MRI and CT, how advanced imaging techniques enable knowledge of a wide range of research fields and their potential impact on translational medicine.

Keywords: Hystrix cristata, rodent head anatomy, magnetic resonance imaging, MRI, computed tomography, CT, neuroanatomy, imaging techniques, noninvasive, soft tissue contrast, bone structures, dental pathology, vascular anatomy, order rodentia.

BIBLIOGRAFÍA

Aasmundstad, T., Kongsro, J., Wetten, M., Dolvik, N. I., & Vangen, O. (2013). Osteochondrosis in pigs diagnosed with computed tomography: heritabilities and genetic correlations to weight gain in specific age intervals. Animal, 7(10), 1576-1582

Aasmundstad, T., Grindflek, E., Nordbo, O., Kongsro, J., & Vangen, O. (2014). Osteochondrosis in Duroc pigs scored by computed tomography; heritabilities based on genomic and pedigree relationship matrices. In Proc 10th World Congress of Genetics Applied to Livest. Prod., Vancouver, Canada

Abumandour, M. M., El-Bakary, R., Enany, E. S., Karkoura, A., & Farid, S. (2022). Biological aspects of the nasal turbinates of the Anatolian shepherd dog captured from Egypt: Using computed tomography, histological, and scanning electron microscopic observations. Microscopy Research and Technique, 85(3), 927-939.

Adams, W. M., Kleiter, M. M., Thrall, D. E., Klauer, J. M., Forrest, L. J., La Due, T. A., & Havighurst, T. C. (2009). Prognostic significance of tumor histology and computed tomographic staging for radiation treatment response of canine nasal tumors. Veterinary Radiology & Ultrasound, 50(3), 330-335.

Allgoewer, I., Lucas, S., & Schmitz, S. A. (2000). Magnetic resonance imaging of the normal and diseased feline middle ear. Veterinary Radiology & Ultrasound, 41(5), 413-418.

Alonso Pavon, P. (2015). *Imaginología: proyección clínica en medicina deportiva equina de la IRM*. Tesis doctoral. Universidad de Leon.

Alsafy, M. A., El-gendy, S. A., & Abumandour, M. M. (2014). Computed tomography and gross anatomical studies on the head of one-humped camel (Camelus dromedarius). The Anatomical Record, 297(4), 630-642.

Al-Shakhrah, I., & Al-Obaidi, T.(2003). Common artifacts in computerized tomography: a review. *Applied Radiology, 32,* 25-32.

Alvarez Gonzalez, L., Elena Aldana, D.M., Carmona Rosa, M. (2012). *Principios de resonancia magnética*.

Alves, L. S., Rodriguez, D., Machado, V., Mamprim, M. J., Vulcano, L. C., & Amorim, R. M. (2018). A retrospective study of quadrigeminal arachnoid cysts diagnosed by Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography in 26 dogs. Pesquisa Veterinária Brasileira, 38, 300-308.

Amengual-Batle, P., Jose-Lopez, R., Durand, A., Czopowicz, M., Beltran, E., Guevar, J., ... & Gutierrez-Quintana, R. (2020). Traumatic skull fractures in dogs and cats: A comparative analysis of neurological and computed tomographic features. Journal of veterinary internal medicine, 34(5), 1975-1985.

Amori, G. y De Smet, K. 2016. Hystrix cristata. Lista Roja de Especies AmenazadasdelaUICN2016:e.T10746A22232484.http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20162.RLTS.T10746A22232484.en

Anderson, D. E. (2006). Periapical tooth root infections in llamas and alpacas. Small Ruminant Research, 61(2-3), 235-240

Antinoff, N., Stefanacci, J., Vazquez, D., Orosz, S., Henrys, R., & Janick, L. (1996). The correlation between CT and the anatomy of the psittacine sinus. Proceedings of the Annual Conference of the Association of Avian Veterinarians. Tampa, Florida. pp 367-368.

Aref, M., Ismail, A., Emam, H., & Dhama, K. (2019). Identification of normal horse head structures, with special reference to paranasal sinuses, by anatomical crosssection and magnetic resonance imaging (MRI). Advances in Animal and Veterinary Sciences, 7(3), 200-204.

Arencibia, A., Sandoval, J. A., Vazquez, J. M., Ramirez, J. A., Sosa, C., & Ramirez, G. (1995). Topografia craneoencefalica del perro por resonancia magnetica. O. Medico Veterinario, 43, 15-25. (1995)

Arencibia, A., Vazquez, J. M., Jaber, J. R., Ramirez, J. A., Rivero, M., Gonzalez, N., & Wistner, E. R. (2000). Magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of

the normal equine sinuses and nasal passages. Veterinary Radiology & Ultrasound, 41(4), 313-319

Arencibia, A., Vazquez, J. M., Ramirez, J. A., Ramirez, G., Vilar, J. M., Rivero, M., ... & Gil, F. (2001). Magnetic resonance imaging of the normal equine brain. Veterinary Radiology & Ultrasound, 42(5), 405-408.

Arencibia, A., Rivero, M. A., Ramirez, J. A., Gil, F., Gutierrez, C., Oros, J., ... & Vazquez, J. M. (2004). Magnetic resonance imaging of the normal brain in a newborn dromedary camel. Vet. J., 168(3), 353-357.

Arencibia, A., Rivero, M. A., Gil, F., Ramirez, J. A., Corbera, J. A., Ramirez, G., & Vazquez, J. M. (2005). Anatomy of the cranioencephalic structures of the camel (Camelus dromedarius L.) by imaging techniques: a magnetic resonance imaging study. Anat. Histol. Embryol., 34(1), 52-55.

Arencibia, A., Rivero, M. A., Casal, A. B., Gonzalez-Romano, N., & Oros, J. (2005). CT and cross-sectional anatomy of the normal head of the Loggerhead Sea Turtle (Caretta caretta). Anatomia, Histologia, Embryologia, 34, 3-3.

Arencibia, A., Rivero, M. A., De Miguel, I., Contreras, S., Cabrero, A., & Oros, J. (2006). Computed tomographic anatomy of the head of the loggerhead sea turtle (Caretta caretta). Research in Veterinary Science, 81(2), 165-169.

Arencibia, A., Blanco, D., Gonzalez, N., & Rivero, M. A. (2012). Computed tomography and magnetic resonance imaging features of the temporomandibular joint in two normal camels. Anatomy Research International, 2012.

Arencibia, A., Encinoso, M., Jaber, J. R., Morales, D., Blanco, D., Artiles, A., & Vazquez, J. M. (2015). Magnetic resonance imaging study in a normal Bengal tiger (Panthera tigris) stifle joint. BMC Veterinary Research. 11(1):1-9.;

Arencibia, A., Matos, J., Encinoso, M., Gil, F., Artiles, A., Martinez- Gomariz, F., & Vazquez, J. M. (2019). Computed tomography and magnetic resonance imaging study of a normal tarsal joint in a Bengal tiger (Panthera tigris). BMC Veterinary Research, 15(1), 1-14.

Armour, M. D., Broome, M., Dell'Anna, G., Blades, N. J., & Esson, D. W. (2011). A review of orbital and intracranial magnetic resonance imaging in 79 canine and 13 feline patients (2004–2010). Veterinary Ophthalmology, 14(4), 215-226.

Arnold, S. A., Platt, S. R., Gendron, K. P., & West, F. D. (2020). Imaging ischemic and hemorrhagic disease of the brain in dogs. Front Vet Sci., 7, 279.

Arzi, B., Cissell, D. D., Verstraete, F. J., Kass, P. H., DuRaine, G. D., & Athanasiou, K. A. (2013). Computed tomographic findings in dogs and cats with temporomandibular joint disorders: 58 cases (2006–2011). Journal of the American Veterinary Medical Association, 242(1), 69-75.

Attali-Soussay, K., Jegou, J. P., & Clerc, B. (2001). Retrobulbar tumours in dogs and cats: 25 cases. Veterinary Ophthalmology, 4(1), 19-27

Audigie, F., Tapprest, J., George, C., Didierlaurent, D., Foucher, N., Faurie, F., Houssin, M., & Denoix, J. M. (2004). Magnetic resonance imaging of a brain abscess in a 10-month-old filly. Vet. Radiol. & Ultrasound, 45(3), 210-215.

Artul, S. (2013). Ring artefact in multidetector CT. BMJ Case

Reports, 2013.

Avasthi, A., Caro, C., Pozo Torres, E., Leal, M. P., & Garcia Martin, M. L. (2020). Magnetic nanoparticles as MRI contrast agents. *Surface-modified Nanobiomaterials for Electrochemical and Biomedicine Applications, 49-*91.

Banzato, T., Russo, E., Di Toma, A., Palmisano, G., & Zotti, A. (2011). Evaluation of radiographic, computed tomographic and cadaveric anatomy of the head of boa constrictors. American Journal of Veterinary Research, 72, 1592–1599.

Barakzai, S. Z. (2012). The use of computed tomography for diagnosing dental and sinus disease. Proceedings of The British Equine Veterinary Association Congress, Equine Veterinary Journal, Ltd., Fordham, p 102.

Barakzai, S. Z., & Barnett, T. P. (2015). Computed tomography and scintigraphy for evaluation of dental disease in the horse. Equine Veterinary Education, 27(6), 323-331.

BAR-AM, Y. O. A. V., Pollard, R. E., Kass, P. H., & Verstraete, F. J. (2008). The diagnostic yield of conventional radiographs and computed tomography in dogs and cats with maxillofacial trauma. Veterinary Surgery, 37(3), 294-299.

Barret, J., & Keat, N. (2004). Artifacts in CT: recognition and avoidance. *Radiographics, 24,* 1679-91.

Barrington, G.M. and R.L. Tucker (1996). Use of computed tomography to diagnose sinusitis in a goat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 37 (2), 118-120

Barrs VR, Beatty JA, Dhand NK, et al. (2014). Computed tomographic features of feline sino-nasal and sino-orbital aspergillosis. Vet J, 201, 215–222

Barthez, P. Y., Koblik, P. D., Hornof, W. J., Wisner, E. R., & Seibert, J. A. (1996). Apparent wall thickening in fluid-filled versus air-filled tympanic bulla in computed tomography. Veterinary Radiology & Ultrasound, 37(2), 95-98.

Bartels T., Brinkmeier J., Portmann S., Baulain U., Zinke A., Krautwaldjunghanns M.E., Boos A., Wolf P. and Kummerfeld N. (2001). Magnetic resonance imaging of intracranial tissue accumulations in domestic ducks with feather crests. Vet. Radiol. & Ultrasound. 42(3): 254-258

Beam, R. C., Kunz, D. A., Cook, C. R., Carson, R. L., Briscoe, P., & Cook, J. L. (2007). Use of three-dimensional computed tomography for diagnosis and treatment planning for open-mouth jaw locking in a cat. Journal of the American Veterinary Medical Association, 230(1), 59-63.

Beaufrere, H., Nevarez, J., Gaschen, L., Ryan, K., Schnellbacher, R., & Tully, T. (2011). Diagnosis of presumed acute ischemic stroke and associated seizure management in a Congo African grey parrot. Journal of the American Veterinary Medical Association, 239(1), 122-128. Beckmann, E. C. (2006). CT scanning the early days. *The British journal of radiology,* 79(937), 5-8.

Bell, C. M., Schwarz, T., & Dubielzig, R. R. (2011). Diagnostic features of feline restrictive orbital myofibroblastic sarcoma. Veterinary Pathology, 48(3), 742-750.

Belmudes, A., Couturier, J., Gory, G., Cauvin-Coulson, G., Condamin, G., Rabillard, M., & Rault, D. (2018). Computed tomographic characteristics of pneumolabyrinth in a French bulldog with otitis media and externa. Veterinary Radiology & Ultrasound, 60(5)

Belotta, A. F., Sukut, S., Lowe, C., Waldner, C., Randall, E. K., MacDonald, V. S., ... & Mayer, M. N. (2022). Computed tomography features of presumed normal mandibular and medial retropharyngeal lymph nodes in dogs. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 86(1), 27-34.

Ben, K., Belkhiria, J., Hamdi, H., Chandoul, W., & Mattoussi, A. (2019). Computed tomography and magnetic resonance imaging of the brain and 161 associated structures of the one-humped camel (Camelus dromedarius): a comparative study. Journal of New Sciences, 68, 4221-4231.

Ben Khalifa, A., Ben Braiek, A., Belhaj Hmida, L., Chandoul, W., & Mattoussi, A. (2021). Macroscopic anatomy, radiography and computed tomography of normal paranasal sinuses of the adult one-humped dromedary (Camelus dromedarius). Veterinary Medicine and Science, 7(5), 1460-1468.

Ben Khalifa, A., Ben Braiek, A., Belhaj Hmida, L., Chandoul, W., & Mattoussi, A. (2021). Macroscopic anatomy, radiography and computed tomography of normal paranasal sinuses of the adult one-humped dromedary (Camelus dromedarius). Veterinary Medicine and Science, 7(5), 1460-1468.

Bergman, R., Jones, J., Lanz, O., Inzana, K., Shell, L., Moon, M., and E. Wright. (2000). Post-operative computed tomography en two dogs with cerebral meningioma. Veterinary Radiology & Ultrasound, 41(5), 425- 432. Bernard S. Buetow, Michael A. Laflamme, 10 - Cardiovascular, Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine, Comparative Anatomy and Histology (Second Edition), Academic Press, 2018, Pages 163-189,

Bischofberger, A. S., Konar, M., Posthaus, H., Pekarkova, M., Grzybowski, M., & Brehm, W. (2008). Ocular angiosarcoma in a pony-MRI and histopathological appearance. Equine Veterinary Education, 20(7), 340-347.

Bitar, R., Leung, G., Perng, R., Tadros, S., Moody, A. R., Sarrazin, J., ... & Roberts, T. P. (2006). MR pulse sequences: what every radiologist wants to know but is afraid to ask. *Radiographics*, *26*(2), 513-537.

Blanke, A., Ohlerth, S., Hollerrieder, J., & Schusser, G. F. (2016). Computed tomographic features of the osseous external ear canal, tympanic membrane, and tympanic bulla in clinically normal horses. Journal of Equine Veterinary Science, 45, 17-21.

Blogg, S. L., Loveman, G. A., Seddon, F. M., Woodger, N., Koch, A., Reuter, M., ... & White, M. G. (2004). Magnetic resonance imaging and neuropathology findings in the goat nervous system following hyperbaric exposures. European Neurology, 52(1), 18-28.

Boas, F.E., & Fleischmann, D. (2012). CT artifacts: causes and reduction techniques. *Imaging Medicine*, *4*, 229-40.

Boroffka, S. A., & Voorhout, G. (1999). Direct and reconstructed multiplanar computed tomography of the orbits of healthy dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 60(12), 1500-1507

Boroffka, S. A., Gorig, C., Auriemma, E., PASSON-VASTENBURG, M. H., Voorhout, G., & Barthez, P. Y. (2008). Magnetic resonance imaging of the canine optic nerve. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 49(6), 540- 544.

Bosch, E. (2004). Sir Godfrey Newbold Hounsfield y la tomografía computada, su contribución a la medicina moderna. Revista chilena de radiología, 10(4), 183-185.

Boswood, A., Lamb, C. R., Brockman, D. J., Mantis, P., & Witt, A. L. (2003). Balloon dilatation of nasopharyngeal stenosis in a cat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(1), 49-53.

Bouyssou, S., Hammond, G. J., & Eivers, C. (2021). Comparison of CT features of 79 cats with intranasal mass lesions. Journal of Feline Medicine and Surgery, 23(10), 987-995.

Bowyer, J., Heapy, C. G., Flannelly, J. K., Waterton, J. C., & Maciewicz, R. A. (2009). Evaluation of a magnetic resonance biomarker of osteoarthritis disease progression: doxycycline slows tibial cartilage los in the Dunkin Hartley guinea pig. International Journal of Experimental Pathology, 90(2), 174-181.

Brennan, K.M., Roos, M.S., Budinger, T.F., Higgins, R.J., Wong, S.T. & Bristol, K.S. (1993). A study of Radiation necrosis and edema in the canine brain using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. Radiol. Res., 134(1), 43-53.

Britt, L.G., Middleton, J.R., Warhover, T.T., Kreeger, J.M. and K.R. Branson. (2005). Acanthomatous ameloblastoma of the maxilla of an adult alpaca. Veterinary Radiology & Ultrasound, 46 (1), 65-68

Brosed Serreta, A., Ruiz Manzano, P., et al. (2012). *Fundamentos de Física Médica Volumen 2. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. Sociedad Espanola de Fisica Medica.

Brown, M. A., & Semelka, R. C. (1999). MR imaging abbreviations, definitions, and descriptions: a review. *Radiology*, *213*(3), 647-662.

Budgeon, C., Mans, C., Chamberlin, T., Stein, J., Drees, R., Robat, C., Pinkerton, M., Imai, D., & McAnulty, J. (2014). Diagnosis and surgical treatment of a malignant trichoepithelioma of the ear canal in a pet rabbit (Oryctolagus cuniculus). Journal of the American Veterinary Medical Association, 245(2), 227-231 Buhler, M., Furst, A. F. I., Lewis, F. I., Kummer, M., & Ohlerth, S. (2014) Computed tomographic features of apical infection of equine maxillary cheek teeth: a retrospective study of 49 horses. Equine Vet. J., 46, 468- 473.

Buonanno, F. S., Pykett, I. L., Kistler, J. P., Vielma, J., Brady, T. J., Hinshaw, W. S., ... & Pohost, M. G. (1982). Cranial anatomy and detection of ischemic stroke in the cat by nuclear magnetic resonance imaging. Radiology, 143(1), 187-193

Burk RL. (1992). Computed tomographic imaging of nasal disease in 100 dogs. Vet Radiol Ultrasound, 33, 177–180.

Burk, R. L. (1992). Computed tomographic anatomy of the canine nasal passages. *Vet Radiol Ultrasound, 33*, 170–176.Barthez et al.(1996) publica un artículo anatómico mediante TC del oído medio.

Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., Boone, J. M., & Frank, L. R. (2012). *The* essential physics of medical imaging. *AJR-American Journal of Roentgenology*, *163*(6), 1338-1338.

Bushong, S. C. (1995). *Manual de radiología para técnicos* (5a Ed). Mosby/Doyma Libros. Madrid.

Bushong, S. (1998). Manual de radiología para técnicos. Física, Biología y Protección Radiológica (6a ed.). Harcourt & Brace, Madrid.

Byers, S. R., Parish, S. M., Holmes, S. P., Donahoe, S. L., & Barrington, G. M. (2007). A fungal granuloma of the frontal sinus in a llama. The Canadian Veterinary Journal, 48(9), 939-941

Cabrera, L., Arencibia, A., Rizkallal, C., Blanco, D., Farray, D., Diaz-Bertrana, M. L., ... & Jaber, J. R. (2015). Computed tomographic imaging of the brain of normal neonatal foals. Archives of Medical Veterinary, 47, 209-214.

Calzado, A., & Geleijns, J. (2010). Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. Revista de Física Médica, 11(3).

Canet, E., Roger, T., Chambon, C., Delabre, C., Baldy, C., & Revel, D. (1996). Imagerie par resonance magnetique (IRM) fonctionelle de l'ischemie hepatique chez le lapin. Contribution d'un agent de contraste particulaire (AMI-25). Anatomie, Histologie, Embryologie, 25(1), 23-29

Capello, V., & Cauduro, A. (2008). Clinical technique: application of computed tomography for diagnosis of dental disease in the rabbit, guinea pig, and chinchilla. Journal of Exotic Pet Medicine, 17(2), 93-101.

Carabus, A., Gispert, M., Rodriguez, P., Brun, A., Francas, C., Soler, J., & Font i Furnols, M. (2011). Differences in body composition between pigs crossbreds of 30 kg measured in vivo by computed tomography. In 62nd EAAP Annual Meeting (Vol. 29).

Carabus A, Gispert M, Brun A, Rodriguez P, Font-i-Furnols M. (2015). In vivo computed tomography evaluation of the composition of the carcass and various cuts of growing pigs of three commercial cross breeds. Livestock Production Science, 170, 181-192.

Carr, D. H., Brown, J., Bydder, G. M., Weinmann, H. J., Speck, U., Thomas, D. J., & Young, I. R. (1984). Intravenous chelated gadolinium as a contrast agent in NMR imaging of cerebral tumors. *The Lancet, 1*(8374), 484-486

Carwardine, D., & Granger, N. (2013). Non-infectious inflammatory diseases of the central nervous system in dogs. Companion Animal, 18(10), 490-494.

Cavalleri, J. M., Metzger, J., Hellige, M., Lampe, V., Stuckenschneider, K., Tipold, A., ... & Feige, K. (2013). Morphometric magnetic resonance imaging and genetic testing in cerebellar abiotrophy in Arabian horses. BMC Veterinary Research, 9, 1-9

Cecker, T.L., Karino, K., Kador, P.F., & Balaben, R.S. (1991). Magnetic resonance imaging of the rabbit eye. Invest Ophthalmol Vis Sci. 32:3109- 3113.

Chai, O., Peery, D., Bdolah-Abram, T., Moscovich, E., Kelmer, E., Klainbart, S., ... & Shamir, M. H. (2017). Computed tomographic findings in dogs with head trauma

and development of a novel prognostic computed tomography–based scoring system. American Journal of Veterinary Research, 78(9), 1085-1090.

Chandrakumar, S. S., Zur Linden, A., Owen, M., Pemberton, S., Pinard, C. L., Matsuyama, A., & Poirier, V. J. (2019). Computed tomography measurements of intraocular structures of the feline eye. *Veterinary Record*, *184*(21), 651-651.

Chawla, S., Husain, N., Kumar, S., Pal, L., Tripathi, M., & Gupta, R. K. (2004). Correlative MR imaging and histopathology in porcine neurocysticercosis. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 20(2), 208- 215.

Chen, K. C., Arad, A., Song, Z. M., & Croaker, D. (2018). High-definition neural visualization of rodent brain using micro-CT scanning and nonlocal- means processing. BMC Medical Imaging, 18(1), 1-13.

Chen, M. Y. M., Pope, T. L., Ott, D. J. (2006). *Radiología Básica*. McGraw Hill/Interamericana de Espana, S.A.U.

Cherubini, G.B., Platt, S.R., Anderson, T.J., Rusbridge, C., Lorenzo, V., Mantis, P., & Cappello R. (2006). Characteristics of magnetic resonance images of granulomatous meningoencephalomyelitis in 11 dogs. Vet. Rec., 159(4), 110-115.

Chesney, C.J. (1998). CT scanning in chinchillas. Journal of Small Animal Practice, 39(11), 550

Chien, Y. C., Lien, C. Y., Guo, J. C., Chin, S. C., Chang, Y. P., & Liu, C.H. (2013). Meningothelial meningioma in a Malayan sun bear (Helarctos malayanus). Journal of Veterinary Diagnostic Investigation, 25(5), 636- 640.

Chiwitt, C. L., Baines, S. J., Mahoney, P., Tanner, A., Heinrich, C. L., Rhodes, M., & Featherstone, H. J. (2017). Ocular biometry by computed tomography in different dog breeds. Veterinary Ophthalmology, 20(5), 411-419.

Christopher Jerome, Benjamin Hoch, Cathy S. Carlson, 5 - Skeletal System, Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine, Comparative Anatomy and Histology (Second Edition), Academic Press, 2018, Pages 67-88 Cissell, D. D., Wisner, E. R., Textor, J., Mohr, F. C., Scrivani, P. V., & Theon, A. P. (2012). Computed tomographic appearance of equine sinonasal neoplasia. Veterinary Radiology & Ultrasound, 53(3), 245-251.

Cole, L. K., & Samii, V. F. (2007). Contrast-enhanced computed tomographic imaging of the auditory tube in mesaticephalic dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, *48*(2), 125-128.

Coppola, F., Guerrieri, D., Simoncini, A. *et al.* Evidence of scavenging behaviour in crested porcupine. *Sci Rep* **10**, 12297 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-69252-z

Contreras Falcon, S. (2005). Estudio tomografico de la cabeza de la tortuga boba (*Caretta caretta*) mediante resonancia magnetica. *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Cook, L. B., Bergman, R. L., Bahr, A., & Boothe, H. W. (2003). Inflammatory polyp in the middle ear with secondary suppurative meningoencephalitis in a cat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(6), 648-651

Corfield, J. R., Wild, J. M., Cowan, B. R., Parsons, S., & Kubke, M. F. (2008). MRI of postmortem specimens of endangered species for comparative brain anatomy. Nature Protocols, 3(4), 597-605

Corgozinho, K.B., Belchior C., De e, R.C., e, J.D., & Ferreira, A.M.R. (2010). Pituitary adenoma in a cat with hyperadrenocorticism. Acta Scientiae Veterinariae, 38(2), 205-208.

Cormack, A. M. (1963). Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *Journal of applied physics*, *34*(9), 2722-2727.

Couturier, L., Degueurce, C., Ruer, Y., Dennis, R., & Began, D. (2005). Anatomical study of cranial nerve emergence and skull foramina in the dog using magnetic resonance imaging and computed tomography. Veterinary Radiology & Ultrasound, 46(5), 375-383.

Crossley, D. A., Jackson, A., Yates, J., & Boydell, I. P. (1998). Use of computed tomography to investigate cheek tooth abnormalities in chinchillas (Chinchilla lanigera). Journal of Small Animal Practice, 39(8), 385-389.

Cuzin, F. 2003. Thèse de Doctorat discipline Ecologie animale. Les grands mammifères du Maroc méridional.

Cytryn, A. S., Putterman, A. M., Schneck, G. L., Beckman, E., & Valvassori, G. E. (1997). Predictability of magnetic resonance imaging in differentiation of orbital lymphoma from orbital inflammatory syndrome. Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery, 13(2), 129-134.

Czeibert, K., Baksa, G., Grimm, A., Nagy, S. A., Kubinyi, E., & Petnehazy, O. (2019). MRI, CT and high resolution macro-anatomical images with cryosectioning of a Beagle brain: Creating the base of a multimodal imaging atlas. *PLoS One*, 14(3), e0213458.

Dale J.O., Ibrahim H.(1980). The contemporary land mammals of Egypt (Including Sinai). Fieldiana Zoology. Edit Field Museum of Natural History. New Series n°5

Dance, D. R., Christofides, S., Maidment, A. D. A., McLean, I. D., & Ng, K. H. (2014). *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics.

Daniel, G. B., & Mitchell, S. K. (1999). The eye and orbit. Clinical Techniques in Small Animal Practice, 14(3), 160-169

D'Aout, C., Nisolle, J. F., Navez, M., Perrin, R., Launois, T., Brogniez, L.,... & Vandeweerd, J. M. (2015). Computed tomography and magnetic resonance anatomy of the normal orbit and eye of the horse. Anatomia, Histologia, Embryologia, 44(5), 370-377.

Datta, R., Lee, J., Duda, J., Avants, B. B., Vite, C. H., Tseng, B., ... & Aguirre, G. K. (2012). A digital atlas of the dog brain. PLoS One, 7(12), e52140. 191 Davidson, H. J., & Kraft, S. L. (1994). Imaging diagnosis (magnetic resonance imaging for multicentric lymphosarcoma in a dog). Veterinary Radiology & Ultrasound, 35, 282-284.,

DeFalque, V. E., Rosenstein, D., & Rosser, E. J. (JR). (2005). Measurement of normal middle ear cavity volume in mesaticephalic dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, *4*6(6), 490-493.

de Francisco, O. N., Feeney, D., Armien, A. G., Wuenschmann, A., & Redig, P. T. (2016). Correlation of brain magnetic resonance imaging of spontaneously lead poisoned bald eagles (Haliaeetus leucocephalus) with histological lesions: A pilot study. Research in veterinary science, 105, 236-242

De Haan, C. E., Kraft, S. L., Gavin, P. R., Wendling, L. R., & Griebenow, M. L. (1994). Normal variation in size of the lateral ventricles of the Labrador Retriever dog as assessed by magnetic resonance imaging. Veterinary Radiology & Ultrasound, 35(2), 83-86

Dennis, R. (1995). Magnetic resonance imaging: an overview of its current use in veterinary medicine. *Veterinary International*, *7*, 50-58.

Dennis, R. (2000). Use of magnetic resonance imaging for the investigation of orbital disease in small animals. Journal of Small Animal Practice, 41(4), 145-155.

DenOtter, T. D., & Schubert, J. (2023). *Hounsfield Unit*. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. PMID: 31613501.

Delk, K. W., Mejia-Fava, J., Jimenez, D. A., Kent, M., Myrna, K., Mayer, J., & Divers, S. (2014). Diagnostic imaging of peripheral vestibular disease in a Chinese goose (Anser cygnoides). Journal of Avian Medicine and Surgery, 31-37

De Rycke, L. M., Saunders, J. H., Gielen, I. M., et al. (2003). Magnetic resonance imaging, computed tomography, and cross-sectional views of the anatomy of normal nasal cavities and paranasal sinuses in mesaticephalic dogs. Am J Vet Res, 64, 1093–1098. Desprez, I., Donnelly, T. M., Mayousse, V., Thibaud, J. L., Parker, D. L.,& Pignon, C. (2019). A case of otitis interna in a ferret (Mustela putorius furo). Journal of Exotic Pet Medicine, 31, 104-107.: otitis interna en hurón diagnosticado con un equipo de 1,5T.

Detweiler DA, Johnson LR, Kass PH, et al. (2006). Computed tomographic evidence of bulla effusion in cats with sinonasal disease: 2001–2004. J Vet Intern Med, 20, 1080–1084

Dewey, C. W., Rishniw, M., Johnson, P. J., Platt, S., Robinson, K., Sackman, J., & O'Donnell, M. (2020). Canine cognitive dysfunction patients have reduced total hippocampal volume compared with aging control dogs: A comparative magnetic resonance imaging study. OpenVeterinary Journal, 10(4), 438-442.

De Zani, D., Borgonovo, S., Biggi, M., Vignati, S., Scandella, M., Lazzaretti, Modina, S., & Zani, D. (2010). Topographic comparative study of paranasal sinuses in adult horses by computed tomography, sinuscopy, and sectional anatomy. *Veterinary Research Communications*, *34*(1), 13–16.

Diego Blanco (2013) Tesis doctoral sobre un estudio descriptivo de la cabeza del dromedario mediante TC y cortes macroscópicos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Dillesenger, J., & Moerschel, E. (2012) *Manual para técnicos radiólogos*. Cuando la teoria enriquece la practica. Buenos Aires: Journal; 2.

Dimitrov, R. (2021). MRI anatomical investigation of rabbit prostate gland. Bulg. J. Vet. Med. 1311-1447.

Dixon, P. M., Barnett, T. P., Morgan, R. E., & Reardon, R. J. (2020). Computed tomographic assessment of individual paranasal sinus compartment and nasal conchal bulla involvement in 300 cases of equine sinonasal disease. Frontiers in Veterinary Science, 7, 580356.

Doss, G. A., Mans, C., Hoey, S., Di Girolamo, N., Stepien, R. L., & Waller III, K. R. (2017). Vertebral heart size in chinchillas (Chinchilla lanigera) using radiography and CT. Journal of Small Animal Practice, 58(12), 714-719.

Drees, R., Dennison, S. E., Keuler, N. S., & Schwarz, T. (2009). Computed tomographic imaging protocol for the canine cervical and lumbar spine. Veterinary Radiology and Ultrasound, 50(1), 74-79.

Drees, R., Forrest, L. J., & Chappell, R. (2009). Comparison of computed tomography and magnetic resonance imaging for the evaluation of canine intranasal neoplasia. Journal of Small Animal Practice, 50(7), 334-340.

Dutil, G. F., Guevar, J., Schweizer, D., Roosje, P., Kajin, F., Volk, H. A., ... & Maiolini, A. (2022). Otitis media and interna with or without polyps in cats: association between meningeal enhancement on postcontrast MRI, cerebrospinal fluid abnormalities, and clinician treatment choice and outcome. Journal of Feline Medicine and Surgery, 24(12), e481-e489.

Dvir, E., Kirberger, R. M., & Terblanche, A. G. (2000). Magnetic resonance imaging of otitis media in a dog. Vet. Radiol. Ultrasound., 41(1), 46-49

Dyson, P. K., Dunn, K. A., Whitwell, K., & Dennis, R. (2007). Ataxia and cranial nerve signs in a pony suffering a brainstem meningioma; clinical, MRI, gross and histopathological findings. Equine Veterinary Education, 19(4), 173-178.

Edelman, R. R., Hesselink, J. R., & Zlatkin, M. B. (2005). *Clinical Magnetic Resonance Imaging*. New York, NY: Saunders.

Emam, H., Aref, M., Abdelbaset-Ismail, A., Abdelaal, A., Gouda, S., & Gomaa, M. (2020). Description of normal head structures of the onehumped camel (Camelus dromedarius) by magnetic resonance imaging, computed tomography, and crosssectional anatomy. Veterinary World, 13(8), 1581.

Emms, S.G., Wortman, J.A., Johnston, D.E., & Goldschmidt, M.H. (1986). Evaluation of canine hyperadrenocorticism, using computed tomography. Journal of the American Veterinary Medical Association, 189(4), 432-439. Encinoso, M., Oros, J., Ramirez, G., Jaber, J. R., Artiles, A., & Arencibia, A. (2019). Anatomic study of the elbow joint in a Bengal Tiger (Panthera tigris tigris) using magnetic resonance imaging and gross dissections. Animals. 9(12):1058.

Engelhorn, T., Eyupoglu, I. Y., Schwarz, M. A., Karolczak, M., Bruenner, H., Struffert, T., ... & Doerfler, A. (2009). In vivo micro-CT imaging of rat brain glioma: A comparison with 3 T MRI and histology. Neuroscience Letters, 458(1), 28-31.

Eom, K., Kwak, H., Kang, H., Park, S., Lee, H., Kang, H., ... & Lee, K. (2008). Virtual CT otoscopy of the middle ear and ossicles in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound, 49*(6), 545-550.

Erika L. Barthelmess.2006. *Hystrix africaeaustralis*. Mammalian Species. No. 788, pp. 1–7, 3 figs. Edited for the American Society of Mammalogists.

Espitia Mendoza, O. J., Mejia Melgarejo, Y. H., & Arguello, H. (2016). Tomografia computarizada: proceso de adquisicion, tecnologia y estado actual. *Tecnura*, *20*(47), 119-135.

Everest, S., Monteith, G., Gaitero, L., & Samarani, F. (2023). Suppression of inner ear signal intensity on fluid-attenuated inversión recovery magnetic resonance imaging in cats with vestibular disease. Journal of Feline Medicine and Surgery, 25(4), 1098612X231168001.

Faillace, A. C. L., Vieira, K. R. A., & Santana, M. I. S. (2021). Computed tomographic and gross anatomy of the head of the blue-fronted Amazon parrot (*Amazona aestiva*). *Anatomia, Histologia, Embryologia, 50*(1), 192-205.

Fernanda de Assis, B. A., Torres, L. N., Pinto, A. C. B., Unruh, S. M., Matera, J. M., & Stopiglia, A. J. (2015). Tomography, radiography, and rhinoscopy in diagnosis of benign and malignant lesions affecting the nasal cavity and paranasal sinuses in dogs: Comparative study. Topics in Companion Animal Medicine, 30(2), 39-42.

Ferrell, E. A., Gavin, P. R., Tucker, R. L., Sellon, D. C., & Hikes, M. (2002). Magnetic resonance for evaluation of neurologic disease in 12 horses. Veterinary Radiology & Ultrasound, 43(6), 510-516.

Fike, J. R., Lecouteur, R. A., & Cann, C. E. (1981a). Anatomy of the canine brain using high resolution computed tomography. *Veterinary Radiology, 22*(6), 236-243.

Fike, J. R., Lecouteur, R. A., & Cann, C. E. (1984a). Anatomy of the canine orbital region multiplanar imaging by CT (computer tomography). *Veterinary Radiology, 25*(1), 32-42.

Finkgraf, K. (1964). Ein Beitrag zur rontgenologischen Darstellum des Hundeschadels unter Berucksichtigung der Schichtuntersuchung. *Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Veterinärmedizinischen Fakultät der Karl-Marx Universität, Leipzig.*

Finck, M., Ponce, F., Guilbaud, L., Chervier, C., Floch, F., Cadore, J. L., ... & Hugonnard, M. (2015). Computed tomography or rhinoscopy as the first-line procedure for suspected nasal tumor: a pilot study. The Canadian Veterinary Journal, 56(2), 185

Fil, J. E., Joung, S., Zimmerman, B. J., Sutton, B. P., & Dilger, R. N. (2021). Highresolution magnetic resonance imaging-based atlases for the young and adolescent domesticated pig (Sus scrofa). Journal of Neuroscience Methods, 354, 109107.

Fleming, G. J., Lester, N. V., Stevenson, R., & Silver, X. S. (2003). High field strength (4.7T) magnetic resonance imaging of hydrocephalus in an African Grey parrot (Psittacus erithacus). Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(5), 542–545.

Font-i-Furnols M, Carabus A, Pomar C, Gispert M. (2015). Estimation of carcass and cuts composition from computed tomography images of growing live pigs of different genotypes. Animal, 9, 166-178.

Frame, E.M., Gufler, H., Henninger, W. and J. Gasteiner (2000). Diagnosis of atrophic rhinitis in a Simmental heifer by computed tomography. The Veterinary Record, 146 (19), 558-560

FUCHS, C., MEYER-LINDENBERG, A., TIPOLD, A., WOHLSEIN, P., ZANDER, S. and I. NOLTE, (2001). Primary intracranial neoplasms in dogs and one cat: clinical signs, 196 computed tomography and pathomorphologic findings of eight cases. Tierarztliche Praxis Ausgabe Kleintiere Heimtiere, 29(2), 74-86.

Fuchs, C., Meyer-Ly, A., WyP. and I. Nolte, (2003). Computer tomographic characteristics of primary brain tumours in dogs and cats. Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift, 116(9-10), 436-442.

Fugazzotto, D., Devoti, C. C., Cassano, I. A., Teani, C., Berti, E., Brusati, M., & Zeira, O. (2022). Clinical and diagnostic imaging findings in a bengal tiger (*Panthera tigris tigris*) with cervical spondylomyelopathy: A case report. *Brazilian Journal of Veterinary Medicine*, 44.

Fumero-Hernandez, M., Encinoso, M., Melian, A., Artiles, H., Salman, D., & Mohamad, J. R. J. (2023). Anatomical Cross Sections and Magnetic Resonance Imaging of the Juvenile Atlantic Puffin Head (Aves, Alcidae, Fratercula arctica). Animals,13 (22), 3434.

Fumero-Hernandez, M., Encinoso, M., Ramirez, A. S., Morales, I., Suarez Perez, A., & Jaber, J. R. (2023). A Cadaveric Study Using Computed Tomography for Measuring the Ocular Bulb and Scleral Skeleton of the Atlantic Puffin (Aves, Alcidae, Fratercula arctica). Animals, 13(15), 2418.

Furtado, A. R. R., Caine, A., & Herrtage, M. E. (2014). Diagnostic value of MRI in dogs with inflammatory nasal disease. Journal of Small Animal Practice, 55(7), 359-363.

Garosi, L. S., Dennis, R., & Schwarz, T. (2003). Review of diagnostic imaging of ear diseases in the dog and cat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(2), 137-146

Garosi, L., McConnell, J. F., Platt, S. R., Barone, G., Baron, J. C., De Lahunta, A., & Schatzberg, S. J. (2006). Clinical and topographic magnetic resonance characteristics of suspected brain infarction in 40 dogs. Journal of Veterinary Internal Medicine, 20(2), 311-321.

George, F., & Smallwood, J. (1992). Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: head and neck. *Vet Radiol Ultrasound, 33*, 217–240.

George A. Feldhamer, Joseph F. Merritt, Carey Krajewski, Janet L. Rachlow, Kelley
M. Stewart. Mammalogy. Adaptation, Diversity, Ecology. 5^a Edition. Baltimore.
Johns Hopkins University Press

Gerros, T.C., Mattoon, J.S. and S.P. Snyder (1998). Use of the computed tomography in the diagnosis of a cerebral abscess in a goat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 39 (4), 322-324.

Giles LR, Eamens GJ, Arthur PF, Barchia IM, James KJ, Taylor RD. (2008). Differential growth and development of pigs as assessed by Xray computed tomography. Journal of Animal Science, 87, 1648-1658.

Gili, J. (1993). *Introducción Biofísica a la Resonancia Magnética*. Centre Diagnostic Pedralbes, 5. Barcelona, Espana.

Giroux, A., Jones, J.C., Bohn, J.H., Duncan, R.B., Waldron, R.B., & Inzana, K.R. (2002). A new device for stereotactic CT-guided biopsy of the canine brain: design, construction, and needle placement accuracy. Veterinary Radiology & Ultrasound, 43(3), 229-236.

Gjerlaug-Enger E, Kongsro J, Odega J, Aass L, Vangen O. (2012). Genetic parameters between slaughter pig efficiency and growth rate of different body tissues estimated by computed tomography in live boars of Landrace and Duroc. Animal, 6, 9-18.

Goldman, L. W. (2007). Principles of CT and CT technology. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, *35*(3), 115-128.

Goldman, L. W. (2008). Principles of CT: multislice CT. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 36(2), 57-68.

Gomez, M., Freeman, L., Jones, J., Lanz, O., & Arnold, P. (2004). Computed tomographic anatomy of the canine cervical vertebral venous system. *Veterinary Radiology & Ultrasound, 45*(1), 29–37.

Gomez, M., Tadich, N., Mieres, M., Bustamante, H., Galecio, J., & Herve, M. (2007). Hallazgos de tomografia computarizada en coenurosis cerebral cronica con hidrocefalo secundario en una oveja joven. Archivos de Medicina Veterinaria, 39(3), 281-285.

Gomes, E., Degueurce, C., Ruel, Y., et al. (2009). Anatomic study of cranial nerve emergence and associated skull foramina in cats using CT and MRI. Vet Radiol Ultrasound, 50, 398–403.

Gomes, S. A., Targett, M., & Lowrie, M. (2020). Congenital external hydrocephalus in a dog. *Journal of Small Animal Practice*, 61(11), 710- 713.

Goncalves, R., Malalana, F., McConnell, J. F., & Maddox, T. (2015). Anatomical study of cranial nerve emergence and skull foramina in the horse using magnetic resonance imaging and computed tomography. Veterinary Radiology & Ultrasound, 56(4), 391-397.

Gonzalez Rico, J., Delabat, R., & Munoz, C. (1996). *Tecnología radiológica*. Paraninfo, Madrid.

Gonzalez Rodriguez, E., Encinoso Quintana, M., Morales Bordon, D., Garces, J. G., Artiles Nuez, H., & Jaber, J. R. (2023). Anatomical description of Rhinoceros Iguana (Cyclura cornuta cornuta) head by computed tomography, magnetic resonance imaging and gross-sections. Animals, 13(6), 955.

Gonzalo-Orden, J. M., Altonaga, J. R., Diez, A., Gonzalo, J. M., & Orden, M. A. (2000b). Correlation between MRI, computed tomographic findings, and clinical signs in a case of ovine coenurosis. The Veterinary Record, 146(12), 352.

Gordon, P. J., & Dennis, R. (1995). Magnetic resonance imaging for the antemortem diagnosis of cerebellar hypoplasia in a Holstein calf. Veterinary Record, 137(26), 671-672

Gotthelf, L. N. (2004). Diagnosis and treatment of otitis media in dogs and cats. The Veterinary Clinics of North America, Small Animal Practice, 34(2), 469-487

Gough, S. L., Anderson, J. D., & Dixon, J. J. (2020). Computed tomographic cervical myelography in horses: Technique and findings in 51 clinical cases. Journal of Veterinary Internal Medicine, 34(5), 2142-2151.

Graham JE, Werner JA, Lowestine LJ, Wallack, ST, Tell LA (2003): Periorbital liposarcoma in an African grey parrot (Psittacus erithacus). J Avian Med Surg, 17, 147-153.

Graham, JP., Roberts, G. D., & Newell, S. M. (2000). Dynamic magnetic resonance imaging of the normal canine pituitary gland. Vet. Radiol. & Ultrasound, 41(1), 35-40.

Grahn BH, Stewart WA, Towner RA, Noseworthy MD. (1993). Magneti resonance imaging of the canine and feline eye, orbit, and optic nerves and its application. Can Vet J. 34: 418–24

Gray-Edwards et al High resolution MRI anatomy of the cat brain at 3Tesla, Journal of Neuroscience Methods, Volume 227, 2014, Pages 10-17

Gross-Tsubery, R. U. T. H., Chai, O., Shilo, Y., Miara, L., Horowitz, I. H., Shmueli, A., ... & Shamir, M. H. (2010). Computed tomographic analysis of calvarial hyperostosis in captive lions. Veterinary Radiology & Ultrasound, 51(1), 34-38

Grosset, C., Guzman, D. S. M., Keating, M. K., Gaffney, P. M., Lowenstine, L., Zwingenberger, A., ... & Hawkins, M. G. (2014). Central vestibular disease in a blue and gold macaw (Ara ararauna) with cerebral infarction and hemorrhage. Journal of Avian Medicine and Surgery, 28(2), 132-142

Grover, V. P., Tognarelli, J. M., Crossey, M. M., Cox, I. J., Taylor- Robinson, S. D., & McPhail, M. J. (2015). Magnetic resonance imaging: principles and techniques: lessons for clinicians. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, *5*(3), 246-255.

Grzimek´s Animal life encyclopedia, 2nd edition. Volumes 12-16, Mammals I-V, edited by Michael Hutchins, Devra G. Kleiman, Valerius Geist, and Melissa C. McDade. Farmington Hills, Ml: gale Group, 2003 Gunturkun O., Verhoye M., De Groof G., Van der Linden A. (2012). A 3- Dimensional Digital Atlas of the Ascending Sensory and the Descending Motor Systems in the Pigeon Brain. Brain Struct Funct., 218(1), 269-81. doi: 10.1007/s00429-012-0400-y. Epub 2012 Feb 25

Gunther, C., Beckmann, K. M., & Steffen, F. (2020). Formation of a meningoencephalocele after removal of a frontal lobe meningioma in a 194 cat. Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports, 6(2), 2055116920957195.

Gygi, M., Kathmann, I., Konar, M., Rottenberg, S., & Meylan, M. (2004). Paraparesis in a dwarf goat: clarification by means of magnetic resonance imaging. Schweiz Arch. Tierheilkd., 146(11), 523-528.

Haacke, E. M., Brown, R. W., Thompson, M. R., & Venkatesen, R. (1999). *Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design*. New York, NY: Wiley-Blackwell.

Habib, C. A., Utriainen, D., Peduzzi-Nelson, J., Dawe, E., Mattei, J., Latif, Z., ... & Haacke, E. M. (2013). MR imaging of the yucatan pig head and neck vasculature. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 38(3), 641- 649.

Hadden, P. W., Gerneke, D. A., Mcghee, C. N. J., & Zhang, J. (2020). Micro-computed tomography orbital anatomy of the little blue or fairy penguin, *Eudyptula minor*. *Clinical & Experimental Ophthalmology, 48*,130–131.

Hall, E. H. (1927). *Photo-Electric Emission, Thermionic Emission and Peltier Effect:* (From the Point of View of Dual Electric Conduction). Proceedings of the National Academy of Sciences, 13(2), 43-46.

Hamond, M. A. (1977). Atlas de la tete du chien: Coupes seriees, radioanatomie et tomographies. *Th. Doct. Méd. Vét., Toulouse*.

Hansen, G., Crooks, L.E., Davis, P., De Groot, J., Herfkens, R., Margulis, A.R., Gooding, C., Kaufman, L., & Hoenninger, J. (1980) In vivo imaging of the rat anatomy with nuclear magnetic resonance. Radiology. 136(3):695-700. Johnson et al. (1987), Harran, N. X., Bradley, K. J., Hetzel, N., Bowlt, K. L., Day, M. J., & Barr, F. (2012). MRI findings of a middle ear cholesteatoma in a dog. Journal of the American Animal Hospital Association, 48(5), 339-343.

Hartl, B., Egerbacher, M., & Kneissl, S. M. (2021). Correlated Imaging of the Equine Hyoid Apparatus Using CT, Micro-CT, and Histology. Frontiers in Veterinary Science, 8, 652563.

Hathcock, J. T., & Newton, J. C. (2000). Computed tomographic characteristics of multilobular tumor of bone involving the cranium in 7 dogs and zygomatic arch in 2 dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 41(3), 214-217.

Hayasaka, N., Nagai, N., Kawao, N., Niwa, A., Yoshioka, Y., Mori, Y., ... & Murakami, T. (2012). In vivo diagnostic imaging using micro-CT: sequential and comparative evaluation of rodent models for hepatic/brain ischemia and stroke. PloS One, 7(2), e32342.

Hayashi, N., Watanabe, Y., Masumoto, T., Mori, H., Aoki, S., Ohtomo, K.,... & Takahashi, T. (2004). Utilization of low-field MR scanners. *Magnetic resonance in medical sciences*, *3*(1), 27-38.

Hermena, S., & Young, M. (2021). CT-scan Image Production Procedures.

Hernandez-Guerra, A.M., Lopez-Murcia, M.M., Planells, A., Corpa, J.M. and F. Liste, (2007). Computed tomographic diagnosis of unilateral cavernous sinus syndrome caused by a chondrosarcoma in a dog: a case report. The Veterinary Journal, 174(1), 206-208.

Hernández, L. C., López-Muñiz, A., & Fernández-Hidalgo, J. M. (1997). Anatomía humana en el diagnóstico por la imagen. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.

Hernández, R., Rodriguez, A., Salgado, P., & Barrios, F. A. (2003). Concentric dualloop RF coil for magnetic resonance imaging. *Revista Mexicana de Física, 4*9(2), 107-114. Henninger, W., & Hittmair, K. (1994). CT and ultrasonographic diagnosis of canine hydrocephalus. Veterinary Quarterly, 16(sup1), 59-59.

Hobbs, K. J., Porter, E., Wait, C., Dark, M., & MacKay, R. J. (2022). Magnetic resonance imaging of the normal equine pituitary gland. Veterinary Radiology & Ultrasound, 63(4), 450-455.

Hofer, M. (2001). *Manual práctico de TC. Introducción a la TC* (3a ed.). Medica Panamericana, Madrid.

Hofer, M. Aplicacion de medios de contraste. En: *Hofer M, editor*. Manual practico de TC: introduccion a la TC. Madrid: Panamericana; 2008. p. 19-21.

Holliday CM, Ridgely RC, Balanoff AM, Witmer LM. (2006). Cephalic vascular anatomy in flamingos (Phoenicopterus ruber) based on novel 200 vascular injection and computed tomographic imaging analyses. Anatomical Record A, 288, 1031-1041.

Hollis, A. R., Dixon, J. J., Berlato, D., Murray, R., & Weller, R. (2019). Computed tomographic dimensions of the normal adult equine eye. Veterinary Ophthalmology, 22(5), 651-659.

Hori, A., Suzuki, K., Koiwa, M., Miyoshi, K., & Nakade, T. (2019). Lowfield magnetic resonance imaging and computed tomography of a calf with aqueductal stenosis caused by web: comparison with normal calves. Journal of Veterinary Medical Science, 81, 42–47. doi: 10.1292/jvms.18-0020.

Hoskinson, J. J. (1993). Imaging techniques in the diagnosis of middle ear disease. Seminars in Veterinary Medicine and Surgery Small Animal, 8(1), 10-16.

Hounsfield, G. N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. *The British journal of radiology, 46*(552), 1016-1022.

Hounsfield, G. N. (1979). Computed medical imaging. Nobel lecture, December 8, 1979. J Comput Assist Tomogr, 4(5), 665-674.

Hounsfield, G. N. (1980). Computed medical imaging. Science, 210(4465), 22-28.

Hsieh, J. (2009). *Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances*. (2nd Ed). Wiley Interscience. Washington.

Hwang, J., Kang, S., Seok, S., Ahmed, S., Jeong, D. H., & Yeon, S. (2021). Imaging characteristics of the eyes of cinereous vultur (Aegypius monachus): morphology and comparative biometric measurement. Journal of Veterinary Medical Science, 83(8), 1330-1337.

Im, C. G., Kim, A. R., Han, C., Hwang, G., Kim, R., An, S., ... & Lee, H. C. (2020). Characteristics of Magnetic Resonance Imaging Findings in 32 Dogs Diagnosed with Meningoencephalitis of Unknown Etiology. Journal of veterinary clinics, 37(5), 255-260.

Isolabella, D., & Polito, P. (2008). *Farmacología para Licenciados en Producción de Bioimágenes*. Buenos Aires: Journal; 280.

Ivan D, Ohlerth S, Richter H, Verdino D, Rampazzoz A, Pot S. (2022). 3T highresolution magnetic resonance imaging, conventional 202 ultrasonography and ultrasound biomicroscopy of the normal canine eye. BMC Vet Res. (2022) 18:67–13.

Iwamoto, K. S., Norman, A., Freshwater, D. B., Ingram, M., & Skillen, R. G. (1993). Diagnosis and treatment of spontaneous canine brain tumors with a CT scanner. Radiotherapy and Oncology, 26(1), 76-78.

Jaber, J. R., Fumero-Hernandez, M., Corbera, J. A., Morales, I., Amador, M., Ramirez Zarzosa, G., & Encinoso, M. (2023). Cross-Sectional Anatomy and Computed Tomography of the Coelomic Cavity in Juvenile Atlantic Puffins (Aves, Alcidae, Fratercula arctica). Animals, 13(18), 2933.

Jack R. Harkema, Stephan A. Carey, James G. Wagner, Suzanne M. Dintzis, Denny Liggitt, 6 - Nose, Sinus, Pharynx, and Larynx, Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine, Comparative Anatomy and Histology (Second Edition), Academic Press, 2018, Pages 89-114 Jessica M. Snyder, Catherine E. Hagan, Brad Bolon, C. Dirk Keene, 20 - Nervous System, Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine, Comparative Anatomy and Histology (Second Edition), Academic Press, 2018, Pages 403-444

Jirak, D., Janacek, J., & Kear, B. P. (2015). A combined MR and CT study for precise quantitative analysis of the avian brain. Scientific Reports, 5(1), 16002.

Johnson, R. P., Neer, T. M., Partington, B. P., Cho, D. Y., & Partington, C. R. (2001). Familial cerebellar ataxia with hydrocephalus in bull mastiffs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 42(3), 246-249

Johnson, P. J., Elders, R., Pey, P., & Dennis, R. (2016). Clinical and magnetic resonance imaging features of inflammatory versus neoplastic medial retropharyngeal lymph node mass lesions in dogs and cats. Veterinary Radiology & Ultrasound, 57(1), 24-32.

Jones, M. E., Button, D. J., Barrett, P. M., & Porro, L. B. (2019). Digital dissection of the head of the rock dove (Columba livia) using contrast-enhanced computed tomography. Zoological Letters, 5, 17.

Julia Villén Ben. Uso del entrenamiento como método para mejorar el bienestar en el puercoespín crestado (H.cristata) del Zoológico de Córdoba. Tesis Doctoral. Trabajo fin de grado. Facultad de Veterinaria de Córdoba.

Junker C., Hoppe T., Horstmann W., Gerhards H., & Matiasek K. (2002). Studies on head and collum of the horse by means of magnetic resonance imaging with case reports. Pferdeheilkunde, 18(4), 351-352, 354-358.

Kafka UC, Carstens A, Steenkamp G, et al. (2004). Diagnostic value of magnetic resonance imaging and computed tomography for oral masses in dogs. J S Afr Vet Assoc, 75, 163–168.

Kalender, W. A., Seissler, W., Klotz, E., & Vock, P. (1990). Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*, *17*6(1), 181-183.

Kalender, W. A. (2006). X-ray computed tomography. *Physics in Medicine & Biology, 51*(13), R29.

Kaminsky, J., Bienert-Zeit, A., Hellige, M., Rohn, K., & Ohnesorge, B. (2016). Comparison of image quality and in vivo appearance of the normal equine nasal cavities and paranasal sinuses in computed tomography and high field (3.0 T) magnetic resonance imaging. *BMC Veterinary Research*, *12*(1), 1-11.

Kang, B. T., Ko, K. J., Jang, D. P., Han, J. Y., Lim, C. Y., Park, C., … & Park, H. M. (2009). Magnetic resonance imaging of the canine brain at 7 T. Veterinary Radiology & Ultrasound, 50(6), 615-621

Karkkainen, M., Mero, M., Nummi, P., & Punto, L. (1991). Low-field magnetic resonance imaging of the canine central nervous system. Vet. Radiol, 32, 71-74.

Karnik K, Reichle JK, Fischetti AJ, et al. (2009). Computed tomographic findings of fungal rhinitis and sinusitis in cats. Vet Radiol Ultrasound, 50, 65–68.

Kassab, A. (2011). Magnetic Resonance Image and Cross-Sectional Anatomy of the Normal Brain of Goat (Capra hircus). Emirates Journal of Food and Agriculture, 375-380.

Kaufman, H. H., Cohen, G., Glass, T. F., et al. (1981). CT atlas of the dog brain. *J Comput Assist Tomogr, 5*(4), 529-537.

Karis, J. (2000). Artefactos en la imagen de resonancia magnetica: Un enfoque practico. En *Neurorradiología Volumen 1*. Editado por: Orrison W. Editorial Elsevier. Espana. pp. 507-516.

Kato, K., Nishimura, R., Sasaki, N., Matsunaga, S., Mochizuki, M., Nakayama, H., & Ogawa, H. (2005). Magnetic resonance imaging of a canine eye with melanoma. J. Vet. Med. Sci., 67(2), 179-182.

Kay, N.D., Holliday, T.A., Hornof, W.J., & Gomez, J. (1986). Diagnosis and management of an atypical case of canine hydrocephalus, using computed
tomography, ventriculoperitoneal shunting and nuclear scintigraphy. Journal of the American Veterinary Medical Association, 188(4), 423-426.

Kippenes, H., Gavin, P. R., Kraft, S. L., Sande, R. D., & Tucker, R. L. (2001). Mensuration of the normal pituitary gland from magnetic resonanc Wallack et al. (2003)

Kim, A. R., Han, C., Hwang, G., Kim, R., Go, W., Lee, J. Y., ... & Lee, H. C. (2021). External Auditory Canal Atresia with Otitis Media in a Dog. Journal of Veterinary Clinics, 38(3), 159-162

Kim, J., Kwon, D., Kim, S. S., Lee, K., & Yoon, H. (2023). Measurement of Brainstem Diameter in Small Breed Dogs using Magnetic Resonance Imaging. Frontiers in Veterinary Science, 10, 1183412

King, A. M., Weinrauch, S. A., Doust, R., Hammond, G., Yam, P. S., & Sullivan, M. (2007). Comparison of ultrasonography, radiography and a single computed tomography slice for fluid identification within the feline tympanic bulla. The Veterinary Journal, 173(3), 638-644.

Kitagawa, M., Okada, M., Kanayama, K., & Sakai, T. (2005). Traumatic intracerebral hematoma in a dog: MR images and clinical findings. Journal of Veterinary Medical Science, 67(8), 843-846

Kitagawa, M., Okada, M., Toshihiro, W., Sato, T., Kanayama, K., Sakai, T. (2009). Ocular granulomatous meningoencephalomyelitis in a dog: magnetic resonance images and clinical findings. Veterinary Medicine Science, 71, 233-237. doi: 10.1292/jvms.71.233

Kneissl, S., Probst, A., & Konar, M. (2004). Low-field magnetic resonance imaging of the canine middle and inner ear. Veterinary Radiology & Ultrasound, 45(6), 520-522.

Kneissl, S., & Probst, A. (2006). Magnetic resonance imaging features of presumed normal head and neck lymph nodes in dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 47(6), 538-541

Kneissl, S., & Probst, A. (2006). Magnetic resonance imaging features of presumed normal head and neck lymph nodes in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 47(6), 538-541.

Kneissl, S., & Probst, A. (2007). Comparison of computed tomographic images of normal cranial and upper cervical lymph nodes with corresponding E12 plastinated-embedded sections in the dog. *The Veterinary Journal, 174*(2), 435-438.

Knight, R., & Meeson, R. L. (2019). Feline head trauma: a CT analysis of skull fractures and their management in 75 cats. Journal of feline medicine and surgery, 21(12), 1120-1126.

Kolstad K. (2001). Fat deposition and distribution measured by computer tomography in three genetic groups of pigs. Livestock Production Science, 67, 281-292.

Kooistra, H.S., Voorhout, G., Mol, J.A., & Rijnberk, A. (1997). Correlation between impairment of glucocorticoid feedback and the size of the pituitary gland in dogs with pituitary-dependent hyperadrenocorticism. Journal of Endocrinology, 152(3), 387-394.

Kraft, S. L., Gavin, P. R., Wendling, L. R., & Reddy, V. K. (1989). Canine brain anatomy on magnetic resonance images. Veterinary Radiology, 30(4), 147-158.

Kristoffersen, M., Puchalski, S., Skog, S., & Lindegaard, C. (2014). Cervical computed tomography (CT) and CT myelography in live horses: 16 cases. *Equine Veterinary Journal*, 46, 11-11.

Kuperman, V. (2000). *Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Applications*. San Diego, CA: Academic Press.

Kyllar, M., Štembirek, J., Putnova, I., Stehlik, L., Odehnalova, S., & Buchtova, M. (2014). Radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging of craniofacial structures in pig. Anatomia, Histologia, Embryologia, 43(6), 435-452.

Lacitignola, L., Samarelli, R., Zizzo, N., Circella, E., Acquafredda, C. Stabile, M., ... & Camarda, A. (2021). CT Findings and Histological Evaluation of Red Foxes (Vulpes vulpes) with Chronic Head Trauma Injury: A Retrospective Study. Animals, 11(4)

Lamb, C. R., Croson, P. J., Cappello, R., & Cherubini, G. B. (2005). Magnetic resonance imaging findings in 25 dogs with inflammatory cerebrospinal fluid. Veterinary Radiology & Ultrasound, 46(1), 17-22.

Lamb, C. R., Sibbing, K., & Priestnall, S. L. (2016). Pathologic basis for rim enhancement observed in computed tomographic images of feline nasopharyngeal polyps. Veterinary Radiology & Ultrasound, 57(2), 130-136.

Langheinrich, A. C., Yeniguen, M., Ostendorf, A., Marhoffer, S., Dierkes, C., von Gerlach, S., ... & Gerriets, T. (2010a). In vitro evaluation of the sinus sagittalis superior thrombosis model in the rat using 3D micro-and nanocomputed tomography. Neuroradiology, 52, 815-821.

Langheinrich, A. C., Yeniguen, M., Ostendorf, A., Marhoffer, S., Kampschulte, M., Bachmann, G., ... & Gerriets, T. (2010b). Evaluation of the middle cerebral artery occlusion techniques in the rat by in-vitro 3-dimensional micro-and nano computed tomography. BMC Neurology, 10, 1-10.

Lattimer, J. (2020). Computed tomography in animals, veterinary medicine and surgery, veterinary medical teaching hospital, University of Missouri, MSD manual veterinary manual. [Available from: <u>https://www.msdvetmanual.com/clinical-pathology-andprocedures/</u> diagnostic-imaging/computed-tomography-inanimals# v45316557]. Accessed June 26, 2023.

Lavaud, A., Lautenschlager, I. E., Voelter, K., Ivan, D., Dennler, M., & Pot, S. A. (2019). The localization of a conjunctivoscleral foreign body via high-resolution microscopy coil magnetic resonance imaging in a dog. Veterinary Ophthalmology, 22(5), 703-709

LeCouteur, R., Fike, J., Cann, C., & Pedroia, V. (1981). Computed tomography of brain tumors in the caudal fossa of the dog. Veterinary radiology, 22(6), 244-251.

Lecouteur, R. A., Fike, J. R., Scagliotti, R. H., & Cann, C. E. (1982). Computed tomography of orbital tumors in the dog. Journal of the American Veterinary Medical Association, 180(8), 910-913.

Lee, H., Wu, C. C., Liao, P. W., Michael Chang, K., Wei, L. N., Wu, Y. Y., ... & Lin, C. T. (2022). Features of ophthalmic, magnetic resonance imaging, and histopathology of a feline case of idiopathic sclerosing orbital pseudotumor. Veterinary Medicine and Science, 8(4), 1352-1360.

Lee, W., Lee, S. D., Park, M. Y., Foley, L., Purcell-Estabrook, E., Kim, H., & Yoo, S. S. (2015). Functional and diffusion tensor magnetic resonance imaging of the sheep brain. BMC Veterinary Research, 11, 1-8.

Lee, H. L., Rao, K., & Zimmerman, R. (1999). *Cranial MRI and CT, 4th Edition*. McGraw-Hill. Health Professions Division. New York.

Lefebvre, J., Kuehn, N. F., & Wortinger, A. (2005). Computed tomography as an aid in the diagnosis of chronic nasal disease in dogs. Journal of Small Animal Practice, 46(6), 280-285.

Legrand, J.J., & Carlier, B. (1986). Computerized tomography as a diagnostic aid in canine hydrocephalus. *Revue de Medicine Veterinaire, 137*(11), 765-776.

Lewis, M. J., Shomper, J. L., Williamson, B. G., Vansteenkiste, D. P., Bibi, K. F., Lim, S. H., ... & Coates, J. R. (2021). Brain diffusion tensor imaging in dogs with degenerative myelopathy. Journal of veterinary internal medicine, 35(5), 2342-2349.

Li, L. X., Lv, Y. J., Guo, Q. Y., Liao, Y., Guo, Y. W., Su, Z. N., … & Yang, D. J. (2022). Radiography, CT, and MRI Diagnosis of Enzootic Nasal Tumor in Goats Infected With Enzootic Nasal Tumor Virus. Frontiers in Veterinary Science, 9, 810977.

Lim, S. J., Park, S. J., Jeong, S. M., Lee, J. Y., Cho, S. W., Choi, H. J., & Lee, Y. W. (2008). Ceruminous Gland Adenocarcinoma in a Maltese Dog. In *Proceedings of the Korean Society of Veterinary Clinics Conference* (pp. 108-108). The Korean Society of Veterinary Clinics.

Limousin, B., & Recondo, J. A. (2001). Resonancia magnetica (RM). Nociones fisicas y semiologia basica. En *Resonancia magnética en el tobillo-pie* (pp. 7). Editado por: Recondo J.A., Aparisi F., Figueroa M., Limousin B. Ediciones Diaz de Santos. Madrid, Espana.

Lindgren, C. M., Wright, L., Kristoffersen, M., & Puchalski, S. M. (2021). Computed tomography and myelography of the equine cervical spine: 180 cases (2013–2018). Equine Veterinary Education, 33(9), 475-483.

Lloyd-Edwards, R. A., Willems, D. S., Beukers, M., van den Brom-Spierenburg, A., Vernooij, J. C., & Veraa, S. (2020). Presumed cholesterinic granulomas detected on CT in horses are associated with increased lateral ventricle height and age. Veterinary Radiology & Ultrasound, 61(3), 269-278.

Lodzinska, J., Munro, E., Shaw, D. J., & Sunol, A. (2021). MRI of the optic nerve sheath and globe in cats with and without presumed intracranial hypertension. Journal of Feline Medicine and Surgery, 23(8), 751-758.

Lopez, J. E. (2002). *Manual de resonancia magnética osteoarticular*. Asepeyo. Barcelona.

Lotti, D., Capucchio, M.T., Gaidolfi, E., & Merlo M. (1999). Necrotizing encephalitis in a Yorkshire terrier: clinical, imaging and pathologic findings. Vet. Radiol. & Ultrasound, 40(6), 622-626.

Love, N. E., Kramer, R. W., Spodnick, G. J., & Thrall, D. E. (1995). Radiographic and computed tomographic evaluation of otitis media in the dog. Veterinary Radiology & Ultrasound, 36(5), 375-379

Lowrie, C.T., Kumar, K., Moore, J.B., Kelly, K.J., & Kumar, A. (1989). A preliminary study of magnetic resonance imaging (MRI) in experimental canine meningitis. Comp. Anim. Pract., 19(1), 3-6.

Mahdy, M. A. (2022). Correlation between computed tomography, magnetic resonance imaging and cross-sectional anatomy of the head of the guinea pig (Cavia porcellus). Anatomia, Histologia, Embryologia, 51(1), 51-61.

Maki, J.H., Benveniste, H., Macfall, J.R., Piantadosi, C.A., & Johnson, G.A. (1991). MR imaging of microcirculation in rat brain: correlation with carbon dioxide-induced changes in blood flow. J. Magn. Reson. Imaging. 1(6):673-681

Manchip, K. E. L., Sansom, P. G., Donaldson, D., & Warren-Smith, C. (2021). Magnetic resonance imaging of the normal canine eye using a T1-weighted volumetric acquisition. Veterinary Record, 189(8).

Mancinelli E, Capello V. Anatomy and Disorders of the Oral Cavity of Rat-like and Squirrel-like Rodents. Vet Clin North Am Exot Anim Pract. 2016 Sep;19(3):871-900. doi: 10.1016/j.cvex.2016.04.008. PMID: 27497210; PMCID: PMC7110795.

Manso-Diaz, G., Dyson, S. J., Dennis, R., Garcia-Lopez, J. M., Biggi, M., Garcia-Real, M. I., ... & Taeymans, O. (2015). Magnetic resonance imaging characteristics of equine head disorders: 84 cases (2000–2013). Veterinary Radiology & Ultrasound, 56(2), 176-187.

Manso-Diaz, G., Taeymans, O., Garcia-Lopez, J. M., & Weller, R. (2021). Application and indications of magnetic resonance imaging and computed tomography of the equine head. Equine Veterinary Education, 33(1), 31-46.

Marcilloux, J. C., Felix, B., Rampin, O., Stoffels, C., Ibazizen, T., Cabanis, E. A., ... & Albe-Fessard, D. (1993). Preliminary results of a magnetic resonance imaging (MRI) study of the pig brain placed in stereotaxic conditions. Neurosci. Lett., 156(1-2), 113-116.

Martha A. Delaney, Jolanta Kowalewska, Piper M. Treuting, 16 - Urinary System, Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine, Comparative Anatomy and Histology (Second Edition), Academic Press, 2018, Pages 275-301

Marino, L., Sudheimer, K. D., Pabst, D. A., McLellan, W. A., Filsoof, D., & Johnson, J. I. (2002). Neuroanatomy of the common dolphin (Delphinus delphis) as revealed by magnetic resonance imaging (MRI). Anatomical Record, 268(4), 411-429.

Marino, L., Sudheimer, K. D., Sarko, D., Sirpenski, G., & Johnson, J. I. (2003a). Neuroanatomy of the harbor porpoise (Phocoena phocoena) from magnetic resonance images. Journal of Morphology, 257(3), 308-347..

Marino, L., Sudheimer, K. D., Pabst, D. A., McLellan, W. A., & Johnson, J. I. (2003b). Magnetic resonance images of the brain of a dwarf sperm whale (Kogia simus). Journal of Anatomy, 203(1), 57-76.

Martin-Vaquero, P., Moore, S.A., Wolk, K.E., & Oglesbee, M.J. (2011). Cerebral vascular hamartoma in a geriatric cat. Journal of Feline Medicine and Surgery, 13(4), 286-290.

Martin-Vaquero, P. A. U. L. A., Da Costa, R. C., Echandi, R. L., Tosti, C. L., Knopp, M. V., & Sammet, S. (2011). Magnetic resonance imaging of the canine brain at 3 and 7 T. Veterinary Radiology & Ultrasound, 52(1), 25-32.

Masseti M., Albarella U. & De Grossi Mazzorin J. 2010. — The crested porcupine, *Hystrix cristata* L., 1758, in Italy. *Anthropozoologica* 45 (2): 27-42.

Matiasek, L. A., Platt, S. R., Shaw, S., & Dennis, R. (2007). Clinical and magnetic resonance imaging characteristics of quadrigeminal cysts in dogs. Journal of veterinary internal medicine, 21(5), 1021-1026.

Mariani, C.L., Clemmons, R.M., Graham, J.P., Phillips L.A., & Chrisman C.L. (2001). Magnetic resonance imaging of spongy degeneration of the central nervous system in a Labrador retriever. Vet. Radiol. Ultrasound, 42(4), 285-290.

Marva, I. (2001). Estudio tomografico de los diverticulos de las trompas auditivas en el caballo. Tesis de Licenciatura, Universidad de Murcia.

Masoudifard, M., Zehtabvar, O., Modarres, S. H., Pariz, F., & Tohidifar, M. (2022). CT anatomy of the head in the Ile de France sheep. Veterinary Medicine and Science, 8(4), 1694–1708.

Mata, J. F., Altes, T. A., Cai, J., Ruppert, K., Mitzner, W., Hagspiel, K. D., ... & Mugler 3rd, J. P. (2007). Evaluation of emphysema severity and progression in a rabbit

model: comparison of hyperpolarized 3He and 129Xe diffusion MRI with lung morphometry. Journal of Applied Physiology, 102(3), 1273-1280

Matiasek, K., Cronau, M., Schmahl, W., & Gerhards, H. (2007). Imaging features and decision making in retrobulbar neuroendocrine tumours in horses–case report and review of literature. Journal of Veterinary Medicine Series A, 54(6), 302-306.

McCalla, T. L., & Moore, C. P. (1989). Exophthalmos in dogs and cats. Part 1. Anatomic and diagnostic considerations. Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian, 11(7), 784-793

McConnell, F.J., Garosi, L., & Platt S.R. (2005). Magnetic resonance imaging findings of presumed cerebellar cerebrovascular accident in twelve dogs. Vet. Radiol. & Ultrasound, 46(1), 1-10.

McJury M., Blug A., Joerger C., et al (1994). Short communication: acoustic noise levels during magnetic resonance imaging scanning at 1.5 T. *British Journal of Radiology*, *67*(798), 413-415.

McKay, R. M., Vapniarsky, N., Hatcher, D., Carr, N., Chen, S., Verstraete, F. J., ... & Arzi, B. (2021). The diagnostic yield of cone-beam computed tomography for degenerative changes of the temporomandibular joint in dogs. Frontiers in Veterinary Science, 8, 720641.

McKlveen, T. L., Jones, J. C., Sponenberg, D. P., Scarratt, K., Ward, D. L., & Aardema, C. H. (2003). Assessment of the accuracy of computed tomography for measurement of normal equine pituitary glands. American Journal of Veterinary Research, 64(11), 1387-1394.

Mendez, R., & Grana, F. (2010). Farmacos en radiologia. En *Radiología Esencial,* ed. Del Cura JL, Pedraza S & Gayete A, pp. 65-77. Editorial Medica Panamericana.

Mercier, M., Barnes-Heller, H.L., Bischoff, M.G., Looper, J., & Bacmeister, C.X. (2007). Imaging diagnosis-hyperostosis associated with meningioma in a dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, 48(5), 421- 423.

Mezer, A., Rokem, A., Berman, S., Hastie, T., & Wandell, B. A. (2016). Evaluating quantitative proton-density-mapping methods. *NeuroImage*, *37*(10), 3623-3635.

Micheau, A. (2022). Anatomy of the canine whole body on CT. Disponible online: <u>https://www.imaios.com/en/vet-anatomy/dog/dogwhole-</u> body (ultimo acceso 25 de septiembre, 2023).

Micheau, A., & Hoa, D. (2023). Computed tomographic anatomy of the canine temporal bone with inner and middle ear. Disponible online: https://www.imaios.com/en/vet-anatomy/dog/dog-temporal-bone (ultimo acceso 25 de septiembre, 2023).

Miles, M. S., Dhaliwal, R. S., Moore, M. P., & Reed, A. L. (2008). Association of magnetic resonance imaging findings and histologic diagnosis in dogs with nasal disease: 78 cases (2001—2004). Journal of the American Veterinary Medical Association, 232(12), 1844-1849.

Millan, L. (2000). *Aplicación de la imagen por resonancia magnética al estudio de las patologías que afectan a la columna vertebral del perro*. Tesis Doctoral. Universidad de Leon.

Mitchell, C. W., Nykamp, S. G., Foster, R., Cruz, R., & Montieth, G. (2012). The use of magnetic resonance imaging in evaluating horses with spinal ataxia. Veterinary Radiology & Ultrasound, 53(6), 613-620.

Mitchell, D. G. (1996). Liver I: Currently available gadolinium chelates. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America, 4*(1), 37-51.

Mogicato G, Conchou F, Raharison F, Sautet J (2011) Normal canine brain: comparison between magnetic resonance imaging and crosssectional anatomy. Rev Med Vet-Toulouse 162: 400–405., 2011

Mogicato, G., Conchou, F., Layssol-Lamour, C., Raharison, F., & Sautet, J. (2012). Normal feline brain: clinical anatomy using magnetic resonance imaging. Anatomia, histologia, embryologia, 41(2), 87-95. Mohamad, J. R. J., Gonzalez-Rodriguez, E., Arencibia, A., Deniz, S., Carrascosa, C., & Encinoso, M. (2023). Anatomical description of Loggerhead Turtle (Caretta caretta) and Green Iguana (Iguana iguana) skull by three-dimensional computed tomography reconstruction and maximum intensity projection images. Animals, 13(4), 621

Moissonnier, P., Blot, S., Devauchelle, P., Delisle, F., Beuvon, F., Boulha, L., ... & Lefrancois, T. (2002). Stereotactic CT-guided brain biopsy in the dog. Journal of Small Animal Practice, 43(3), 115-123.

Montie, E. W., Pussini, N., Schneider, G. E., Battey, T. W., Dennison, S., Barakos, J., & Gulland, F. (2009). Neuroanatomy and volumes of brain structures of a live California sea lion (Zalophus californianus) from magnetic resonance images. The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology. 292(10):1523-1547.

Moore, B. R., Holbrook, T. C., Stefanacci, J. D., Reed, S. M., Tate, L. P., & Menard, M. C. (1992). Contrast-enhanced computed tomography and myelography in six horses with cervical stenotic myelopathy. Equine Veterinary Journal, 24(3), 197-202.

Morgan, R. V., Daniel, G. B., & Donell, R. L. (1993). Magnetic resonance imaging of the normal eye and orbit of the horse. Progress in Veterinary and Comparative Ophthalmology, 3(4), 127-133.

Morgan, R. V., Daniel, G. B., & Donnell, R. L. (1994). Magnetic resonance imaging of the normal eye and orbit of the dog and cat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 35(2), 102-108

Morgan, R. V., Donnell, R. L., & Daniel, G. B. (1994). Magnetic resonance imaging of the normal eye and orbit of a screech owl (Otus asio). Veterinary Radiology & Ultrasound, 35(5), 362-367.

Morgan, R. V., Ring, R. D., Ward, D. A., & Adams, W. H. (1996). Magnetic resonance imaging of ocular and orbital disease in 5 dogs and a cat. Veterinary Radiology & Ultrasound, 37(3), 185-192.

Morrow, K. L., Park, R. D., Spurgeon, T. L., Stashak, T. S., & Arceneaux, B. (2000). Computed tomographic imaging of the equine head. Veterinary Radiology & Ultrasound, 41(6), 491-497

Mullhaupt, D., Wenger, S., Kircher, P., Pfammatter, N., Hatt, J. M., & Ohlerth, S. (2017). Computed tomography of the thorax in rabbits: a prospective study in ten clinically healthy New Zealand White rabbits. Acta Veterinaria Scandinavica, 59(1), 1-9.

Muniz Moris, L., Cherubini, G. B., & Caine, A. (2021). Low-Field Magnetic Resonance Imaging Findings in 18 Dogs With Presumed Optic Neuritis. Frontiers in Veterinary Science, 7, 585828.

Nagel, C., Silver, T., & Grahn, B. (2013). Optic chiasm B-cell lymphoma in a 20 month-old Mastiff dog. Veterinary Ophthalmology, 16(suppl 1), 164-167.

Nemanic, S., Hollars, K., Nelson, N. C., & Bobe, G. (2015). Combination of computed tomographic imaging characteristics of medial retropharyngeal lymph nodes and nasal passages aids discrimination between rhinitis and neoplasia in cats. Veterinary Radiology & Ultrasound, 56(6), 617-627.

Nitz, W., Balzar, T., Grosu, D., & Allkemper, T. (2010). Principles of magnetic resonance imaging. En *Clinical Imaging: A Practical Approach* (3a ed., pp. 1-46). Editado por: Reimer, P., Parizel, P., Meaney, J., Stictnoth, F. Ed. Springer. Berlin, Alemania.

Novales, M., Lucena, R., Hernandez, E. M., Ginel, P. J., Fernandez, J. M., & Blanco, B. (2023). Three-Dimensional Volume Rendering in Computed Tomography for Evaluation of the Temporomandibular Joint in Dogs. Animals, 13(20), 3231.

Nozue, Y., Yamazaki, M., Nakata, K., Nakano, Y., Yuki, G., Kimata, A., & Kamishina, H. (2020). Case report: surgical treatment for intranasal meningoencephalocele in a cat. Frontiers in Veterinary Science, 7, 532.

Nykamp, S. G., Dykes, N. L., Cook, V. L., Beinlich, C. P., & Woodie, J. B. (2003). Computed tomographic appearance of choanal atresia in an alpaca cria. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(5), 534-536.

Nykamp, S.G., Scrivani, P.V. De La H, A., Yu-S, A., & Rus, R. (2001). Chronic subdural hematomas and hydrocephalus in a dog. Veterinary Radiology & Ultrasound, 42(6), 511-514.

Olszewska, A., Farke, D., & Schmidt, M. J. (2020). Spontaneous hemispheric ventricular collapse and subarachnoid haemorrhages in a dog with congenital hydrocephalus internus. Irish veterinary journal, 73, 1-6.

Orellana, N. (2010). *Resonancia magnética de la articulación escapulohumeral del canino*. Diploma de Estudios Avanzados. Facultad de Veterinaria. Dpto. Medicina, Cirugia y Anatomia Veterinaria. Universidad de Leon, España.

Ostrowska, J., Lindstrom, L., Toth, T., Hansson, K., Uhlhorn, M., & Ley, C. J. (2020). Computed tomography characteristics of equine paranasal sinus cysts. Equine veterinary journal, 52(4), 538-546.

Palomo, L. J., Gisbert, J. y Blanco, J. C. 2007. *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España*. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU, Madrid, 588 pp.

Pankowski, F., Bartyzel, B. J., Paśko, S., Moroz, A., Mickiewicz, M., Szaluś-Jordanow, O., & Bonecka, J. (2021). CT appearance and measurements of the normal thyroid gland in goats. BMC Veterinary Research, 17(1), 1–8.

Parker, V.J., Morrison, J.A., & Yaeger, M.J. (2010). Olfactory neuroblastoma in a cat. Journal of Feline Medicine and Surgery, 12(11), 867-871 Park, R.D., Beck, E.R., & LeCouteur, R.A. (1992). Comparison of computed tomography and radiography for detecting changes induced by malignant nasal neoplasia in dogs. Journal of the American Veterinary Medical Association, 201(11), 1720-1724.

Passino, E. S., Careddu, G. M., Manunta, L., Siotto, P., Sanna, L., & Muzzetto, P. (2003). L'imagerie par resonance magnetique de la tete du cheval: images anatomiques normales. Pratique Veterinaire Equine, 35(138), 39-44.

Paul, A. E. H., Lenard, Z., & Mansfield, C. S. (2010). Computed tomography diagnosis of eight dogs with brain infarction. Australian veterinary journal, 88(10), 374-380.

Penninck, D., Daniel, G. B., Brawer, R., & Tidwell, A. S. (2001). Crosssectional imaging techniques in veterinary ophthalmology. Clinical Techniques in Small Animal Practice, 16(1), 22-39

Perez, S., Encinoso, M., Corbera, J. A., Morales, M., Arencibia, A., Gonzalez-Rodriguez, E., Deniz, S., Melian, C., Suarez-Bonnet, A., & Jaber, J. R. (2021). Cranial structure of Varanus komodoensis as revealed by computed-tomographic imaging. Animals, 11, 1078.

Perez, S., Encinoso, M., Morales, M., Arencibia, A., Suarez-Bonnet, A., Gonzalez-Rodriguez, E., & Jaber, J. R. (2021). Comparative evaluation of the Komodo dragon (Varanus komodoensis) and the Green iguana (Iguana iguana) skull by threedimensional computed tomographic reconstruction. Slov. Vet. Res., 58, 111–116.

Pernia, A. I., Diez, A., Fueyo, F., Sanchez, J., Gonzalo-Orden, J. M., & Gonzalo, J. M. (1999). Imagenes de tomografia computarizada y resonancia magnetica de la cenurosis ovina. VIII Congreso Internacional SECIVE, 1999, Caceres, p. 337

Petit, C. V., Chen, A. V., Murthy, V. D., Roberts, G. D., & Valerio-Lopez, C. (2023). MRI and CT characteristics of a grade I meningioma with concurrent cribriform plate lysis in a dog. Veterinary Radiology & Ultrasound, 64(3), E23-E26 Pettigrew, R., Rylander, H., & Schwarz, T. (2009). Magnetic resonancemimaging contrast enhancement of the trigeminal nerve in dogs without evidence of neuropathy. Veterinary Radiology & Ultrasound, 50(3), 276-278. Swain et al. (2020).

Pirko, I., Thomas, S., Johnson, A., Rodriguez, M., & Macura, S. (2005). Magnetic resonance imaging, microscopy, and spectroscopy of the central nervous system in experimental animals. *NeuroRx*, *2*(2), 250-264.

Platt, S. R., Radaelli, S. T., & McDonnell, J. J. (2002). Computed tomography after mild head trauma in dogs. The Veterinary Record, 151(8), 243.

Poirier, C., Vellema, M., Verhoye, M., Van Meir, V., Wild, J. M., Balthazart, J., & Van Der Linden, A. (2008). A three-dimensional MRI atlas of the zebra finch brain in stereotaxic coordinates. Neuroimage, 41(1), 1-6.

Polizopoulou ZS, Koutinas AF, Souftas VD, et al. (2004). Diagnostic correlation of CT-MRI and histopathology in 10 dogs with brain neoplasms. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med, 51, 226–231.

Pooley, R. A. (2005). Fundamental Physics of MR Imaging. Radiographics, 25(4), 1087-1099.

Posa, R., Magyar, T., Stoev, S. D., Glavits, R., Donko, T., Repa, I., & Kovacs, M. (2013). Use of computed tomography and histopathologic review for lung lesions produced by the interaction between Mycoplasma hyopneumoniae and Fumonisin mycotoxins in pigs. Veterinary Pathology, 50(6), 971-979.

Precht, C., Vermathen, P., Henke, D., Staudacher, A., Lauper, J., Seuberlich, T., ... & Schweizer-Gorgas, D. (2020). Correlative magnetic resonance imaging and histopathology in small ruminant listeria rhombencephalitis. Frontiers in Neurology, 11, 518697.

Prieto-Rayo, J.C., & Valera, C. (2014). Farmacologia clinica y seguridad de los medios de contraste yodados. *Revista de Farmacología de Chile, 7,* 57-69.

Probst, A., Henninger, W., & Willmann, M. (2005). Communications of normal nasal and paranasal cavities in computed tomography of horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound, 46*(1), 44–48

Probst, A., Henninger, W., Willmann, M., Bergmeister, H., & Losert, U. (1998). Computed tomography of the pancreas in experimental pigs used in medical research. Wiener Tierarztliche Monatsschrift, 85(10), 352-358.

Pye, G. W., Bennett, R. A., Newell, S. M., Kindred, J., & Johns, R. (2000). Magnetic resonance imaging in psittacine birds with chronic sinusitis. Journal of Avian Medicine and Surgery, 14(4), 243-256.

Quayle, M. R., Barnes, D. G., Kaluza, O. L., & McHenry, C. R. (2014). An interactive three-dimensional approach to anatomical description—the 240 jaw musculature of the Australian laughing kookaburra (Dacelo novaeguineae). PeerJ, 2, e355.

Raju, T. N. (1999). The Nobel chronicles. 1979: Allan MacLeod Cormack (b 1924); and Sir Godfrey Newbold Hounsfield (b 1919). Lancet (London, England), 354(9190), 1653.

Ramirez Giraldo, J. C., Arboleda Clavijo, C., & McCollough, C. H. (2008). Tomografia computarizada por rayos X: fundamentos y actualidad. *Revista Ingeniería Biomédica*, *2*(4), 54-66.

Ramsey, D. T., Gerding, P. A., Losonsky, J. M., Kuriashkin, I. V., & Clarkson, R. D. (1994). Comparative value of diagnostic imaging techniques in a cat with exophthalmos. Veterinary and Comparative Ophthalmology, 4(4), 198-202

Ridgway, S., Houser, D., Finneran, J., Carder, D., Keogh, M., Van Bonn, W., Smith, C., Scadeng, M., Dubowitz, D., Mattrey, R., & Hoh, C. (2006). Functional imaging of dolphin brain metabolism and blood flow. Journal of Experimental Biology, 209(Pt 15), 2902-2910.

Riesco del Pino, A. M. (2009). Entorno virtual de visualización 3D de la vía óptica y sistema oculomotor, a partir de secciones seriadas de resonancia magnética. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.

Rinck, P. A. (2019). *Magnetic Resonance in Medicine: A Critical Introduction*. BoD– Books on Demand.

Rivera, D. M., Puentes, S., & Caballero, L. (2011). *Resonancia magnética cerebral:* secuencias básicas e interpretación. Universitas Médica, 52(3), 292-306.

Roca, M. (1992). *Resonancia magnética del sistema musculoesquelético*. Doyma. Barcelona.

Rohleder, J. J., Jones, J. C., Duncan, R. B., Larson, M. M., Waldron, D. L., & Tromblee, T. (2006). Comparative performance of radiography and computed tomography in the diagnosis of middle ear disease in 31 dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 47(1), 45-52

Rojo Revenga, E. (2020). *Tomografía computarizada de doble energía: Fundamentos, descripción y análisis de las dosis de radiación a pacientes*. Trabajo de Fin de Grado. Repositorio documental Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias.

Romagnano A, Shiroma TJ, Heard DS et al. Magnetic resonance imaging of the brain and coelomic cavity of the domestic pigeon (Columba Livia domestica). Vet Rad & Ultrasound 1996; 37: 431–440.

Rubin, J. A., Kim, S. E., & Bacon, N. J. (2013). Traumatic tympanic bulla fracture. The Journal of Small Animal Practice, 54(11), 605-609.

Runge, V. M., & Heverhagen, J. T. (2022). Image resolution: pixel and voxel size. In *The Physics of clinical MR Taught Through Images* (pp. 34-35). Cham: Springer International Publishing.

Russo, M., Covelli, E. M., Meomartino, L., Lamb, C. R., & Arturo Brunetti, V. (2002). Computed tomographic anatomy of the canine inner and middle ear. *Veterinary Radiology & Ultrasound, 43*(1), 22-26. Russo, M., Covelli, E. M., Meomartino, L., Lamb, C. R., & Brunetti, A. (2002). Computed tomographic anatomy of the canine inner and middle ear. *Vet Radiol Ultrasound*, *43*(1), 22–26.

Saito, M., Sharp, N. J., Kortz, G. D., De Lahunta, A., Leventer, R. J., Tokuriki, M., & Thrall, D. E. (2002). Magnetic Resonance Imaging Features of Lissencephaly in 2 Lhasa Apsos. Veterinary Radiology & Ultrasound, 43(4), 326-331.

Samuelson, MM (2022). Morfología de los roedores. En: Vonk, J., Shackelford, TK (eds.) Enciclopedia de cognición y comportamiento animal. Springer, Cham.

Sanders, S. G., Tucker, R. L., Bagley, R. S., & Gavin, P. R. (2001). Magnetic resonance imaging features of equine nigropallidal encephalomalacia. Veterinary Radiology & Ultrasound, 42(4), 291-296

Salguero, R., Johnson, V., Williams, D., Hartley, C., Holmes, M., Dennis, R., & Herrtage, M. (2015). CT dimensions, volumes and densities of normal canine eyes. *Veterinary Record*, *176*(15), 386-386.

Sartori, P., Rozowykniat, M., Siviero, L., Barba, G., Pena, A., Mayol, N., ... & Ortiz, A. (2015). Artefactos y artificios frecuentes en tomografia computada y resonancia magnetica. *Revista Argentina de Radiología, 7*9(4), 192-204.

Sasaki, M., Hayashi, Y., Koie, H., Yamaya, Y., Kimura, J., Manglai, D., Kawashima, S., Endo, H., & Yamamoto, M. (1999). CT examination of the guttural pouch (auditory tube diverticulum) in Przewalski´s Horse (*Equus przewalskii*). *The Journal of Veterinary Medical Science*, 61(9), 1019–1022.

Saunders, J. H., Clercx, C., Snaps, F. R., Sullivan, M., Duchateau, L., Van Bree, H. J., & Dondelinger, R. F. (2004). Radiographic, magnetic resonance imaging, computed tomographic, and rhinoscopic features of nasal aspergillosis in dogs. Journal of the American Veterinary Medical Association, 225(11), 1703-1712.

Saunders, J. H., Van Bree, H. (2003). Comparison of radiography and computed tomography for the diagnosis of canine nasal aspergillosis. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(4), 414-419.

Saunders, J. H., Van Bree, H., Gielen, I., & De Rooster, H. (2003). Diagnostic value of computed tomography in dogs with chronic nasal disease. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(4), 409-413.

Saunders, J. H., Zonderland, J. L., Clercx, C., Gielen, I., Snaps, F. R., Sullivan, M., ... & Dondelinger, R. F. (2002). Computed tomographic findings in 35 dogs with nasal aspergillosis. Veterinary Radiology & Ultrasound, 43(1), 5-9.

Schlaaf, S. (1962). Spezielle verfahren in der rontgendiagnostik und ihre verwendungsmoglichkeiten beim hund. 1 Mitteilung: Tomographie. *Monatsheft für Veterinärmedizin, 18*, 473-478.

Schambach, S. J., Bag, S., Groden, C., Schilling, L., & Brockmann, M. A. (2010). Vascular imaging in small rodents using micro-CT. Methods, 50(1), 26-35.

Schmidt, M. J., Knemeyer, C., & Heinsen, H. (2019). Neuroanatomy of the equine brain as revealed by high-field (3 Tesla) magnetic-resonanceimaging. PLOS ONE, 14(4), e0213814.

Schmidt (2015). Comparative anatomy of the pig brain-An integrative magnetic resonance imaging (MRI) study of the porcine brain with special emphasis on the external morphology of the cerebral cortex. Doctoral-Thesis, Justus Liebig University Giessen, Germany.

Schmidt, M. J., Langen, N., Klumpp, S., Nasirimanesh, F., Shirvanchi, P., Ondreka, N., & Kramer, M. (2012). A study of the comparative anatomy of the brain of domestic ruminants using magnetic resonance imaging. The Veterinary Journal, 191(1), 85-93.

Schmidt, M. J., Pilatus, U., Wigger, A., Kramer, M., & Oelschlager, H. A. (2009). Neuroanatomy of the calf brain as revealed by high-resolution magnetic resonance imaging. Journal of Morphology, 270, 745–758.

Schulz, J., Hammond, E. E., Haymon, M., Ramis, A., Martorell, J., & Aguilar, R. F. (2003). Magnetic resonance imaging as a method of diagnosing

leukoencephalopathy in a cheetah (Acinonyx jubatus). Verh. ber. Erkrg. Zootiere 41, 1-6

Schwarz, T., & Saunders, J. (Eds.). (2011). *Veterinary Computed Tomography*. John Wiley & Sons.

Seibert, J. A. (1997). The AAPM/RSNA physics tutorial for residents. Xray generators. *Radiographics, 17*(6), 1533-1557.

Seibert, J. A. (2004). X-ray imaging physics for nuclear medicine technologists. Part 1: Basic principles of x-ray production. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, *32*(3), 139-147.

Seki, Y., Mackey, M., & Meyers, M.A. (2012). Structure and microcomputed tomography-based finite element modeling of Toucan beak. J Mech Behav Biomed Mater, 9, 1-8. 251

Seo Y, Hashimoto T, Nuki Y, Hasegawa BH (2008). In vivo microCT imaging of rodent cerebral vasculature. Phys Med Biol, 53, N99–107.

Seruca, C., Rodenas, S., Leiva, M., Pena, T., & Anor, S. (2010). Acute postretinal blindness: ophthalmologic, neurologic, and magnetic resonance imaging findings in dogs and cats (seven cases). Veterinary Ophthalmology, 13(5), 307-314.

Shen, Q., Cheng, H., Pardue, M.T., Chang, T.F., Nair, G., Vo, V.T., Shonat, R.D. and Duong, T.Q. (2006). Magnetic resonance imaging of tissue and vascular layers in the cat retina. J. Magn. Reson. Imaging. 23(4): 465-472.

Shokrollahi, H. (2013). Contrast agents for MRI. *Materials Science and Engineering: C*, 33(8), 4485-4497.

Shryock, T. R., Losonsky, J. M., Smith, W. C., Gatlin, C. L., Francisco, C. J., Kuriashkin, I. V., ... & Jordan, W. H. (1998). Computed axial tomography of the porcine nasal cavity and a morphometric comparison of the nasal turbinates with other visualization techniques. Canadian Journal of Veterinary Research, 62(4), 287-292. Shutter, B., Tofts, P.S. & Pope, J.M.(1995). The effect of sacrifice on image signal T1, T2 and T2* in liver, kidney, and brain of the wistar rat. J. Magn. Reson. Imaging. 13:563-574.

Sierra i Vinuesa, A., & Radosevic, A. (2023). Historia de la ressonancia magnetica a Catalunya. *Gimbernat: Revista d'Història de la Medicina i de les Ciències de la Salut,* 80, 105-122.

Sleutjens, J., Cooley, A., Sampson, S., Wijnberg, I., Back, W., van der Kolk, J., & Swiderski, C. (2014). The Equine Cervical Spine: Comparing MRI and Contrast-Enhanced CT Images with Anatomic Slices in the Sagittal, Dorsal and Transverse Plane. Equine Veterinary Journal, 46, 48-48.

Smallwood, J. E., Wood, B. C., Taylor, E., & Tate Jr, L. P. (2002). Anatomic reference for computed tomography of the head of the foal. Veterinary Radiology & Ultrasound, 43(2), 99–117.

Sobejano, A., Tomas, J. M., & Munoz, C. (1992). *Manual de Resonancia Magnética*. Editorial JIMS. Barcelona.

Sogaro-Robinson, C., Lacombe, V. A., Reed, S. M., & Balkrishnan, R. (2009). Factors predictive of abnormal results for computed tomography of the head in horses affected by neurologic disorders: 57 cases (2001–2007). Journal of the American Veterinary Medical Association, 235(2), 176-183.

Solano, M., & Brawer, R. S. (2004). CT of the equine head: technical considerations, anatomical guide, and selected diseases. Clinical Techniques in Equine Practice, 3(4), 374-388.

Soukup JW, Snyder CJ, Gengler WR. (2009). Computed tomography and partial coronoidectomy for open-mouth jaw locking in two cats. J Vet Dent, 26, 226–233.

Soukup, J. W., Snyder, C. J., Simmons, B. T., Pinkerton, M. E., & Chun, R. (2013). Clinical, histologic, and computed tomographic features of oral papillary squamous cell carcinoma in dogs: 9 cases (2008–2011). Journal of Veterinary Dentistry, 30(1), 18-24.

226

Souza, M. J., Greenacre, C. B., Avenell, J. S., Wall, J. S., & Daniel, G. B. (2006). Diagnosing a tooth root abscess in a guinea pig (Cavia porcellus) using micro computed tomography imaging. Journal of Exotic Pet Medicine, 15(4), 274-277

Souza, N. M., Maggs, D. J., Park, S. A., Puchalski, S. M., Reilly, C. M., Paul-Murphy, J., & Murphy, C. J. (2015). Gross, histologic, and microcomputed tomographic anatomy of the lacrimal system of snakes. Veterinary Ophthalmology, 18, 15-22.

Spoormakers T. J., Ensink J. M., Goehring L. S., Koeman J. P., Ter Braake F., van der Vlugt-Meijer R. H., & van den Belt A. J. (2003). Brain abscesses as a metastatic manifestation of strangles: symptomatology and the use of magnetic resonance imaging as a diagnostic aid. Equine Vet. J., 35(2), 118-120.

Stadler, K. L., Ruth, J. D., Pancotto, T. E., Werre, S. R., & Rossmeisl, J. H. (2017). Computed tomography and magnetic resonance imaging are equivalent in mensuration and similarly inaccurate in grade and type predictability of canine intracranial gliomas. Frontiers in Veterinary Science, 4, 157.

Stalin, C. E., Granger, N., & Jeffery, N. D. (2008). Cerebellar vascular hamartoma in a British Shorthair cat. Journal of feline medicine an surgery, 10(2), 206-211

Stańczyk, E. K., Velasco Gallego, M. L., Nowak, M., Hatt, J. M., Kircher, P. R., & Carrera, I. (2018). 3.0 Tesla magnetic resonance imaging 256 anatomy of the central nervous system, eye, and inner ear in birds of prey. Veterinary Radiology & Ultrasound, 59(6), 705-714

Stark, D. D., & Bradley, W. G. (1999). *Magnetic Resonance Imaging*. New York, NY: Mosby.

Stauber E, Holmes S, DeGhetto DL, Finch N. Magnetic resonance imaging is superior to radiography in evaluating spinal cord trauma in three bald eagles (Haliaeetus leucocephalus). J Avian Med Surg. 2007;21:196–200

Staudacher, A., Oevermann, A., Stoffel, M. H., & Gorgas, D. (2014). Validation of a magnetic resonance imaging guided stereotactic Access to the ovine brainstem. BMC Veterinary Research, 10, 216.

Stewart, W. A., Parent, J. M. L., Towner, R. A., & Dobson, H. (1992). The use of magnetic resonance imaging in the diagnosis of neurological disease. Can. Vet. J, 33, 585-590

Strohmayer, C., Klang, A., & Kneissl, S. (2020). Computed tomographic and histopathological characteristics of 13 equine and 10 feline oral and sinonasal squamous cell carcinomas. Frontiers in Veterinary Science, 7, 591437.

Sturges, B. K., Dickinson, P. J., Kortz, G. D., Berry, W. L., Vernau, K. M., Wisner, E. R., & LeCouteur, R. A. (2006). Clinical signs, magnetic resonance imaging features, and outcome after surgical and medical treatment of otogenic intracranial infection in 11 cats and 4 dogs. Journal of Veterinary Internal Medicine, 20(3), 648-656.

Suran, J. N., & Wyre, N. R. (2013). Imaging findings in 14 domestic ferrets (Mustela putorius furo) with lymphoma. Veterinary Radiology & Ultrasound, 54(5), 522-531.

Taeymans, O., Dennis, R., & Saunders, J. H. (2008). Magnetic resonance imaging of the normal canine thyroid gland. Veterinary Radiology & Ultrasound, 49(3), 238-242.

Taeymans, O., Penninck, D. G., & Peters, R. M. (2013). Comparison between clinical, ultrasound, CT, MRI, and pathology findings in dogs presented for suspected thyroid carcinoma. Veterinary Radiology & Ultrasound, 54(1), 61-70.

Taher, R., Abdo, M., & Erasha, A. (2022). Intraocular and Orbital Dimension of the Dog Eye (*Canis familiaris*). *Journal of Current Veterinary Research*, *4*(2), 197-206.

Tamura, S., Tamura, Y., Tsuka, T., & Uchida, K. (2006). Sequential magnetic resonance imaging of an intracranial hematoma in a dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, 47(2), 142-144.

Tang, J. B., Sheng, Y. Q., Hu, H. J., & Shen, Y. Q. (2013). Macromolecular MRI contrast agents: structures, properties and applications. Progress in Polymer Science, 38(3), 462-502.

Targett, M. P., McInnes, E., & Dennis, R. (1999). Magnetic resonance imaging of a medullary dermoid cyst with secondary hydrocephalus in a dog. Veterinary Radiology & Ultrasound, 40(1), 23-26.

Tarver, R. D., Conces Jr, D. J., & Godwin, J. D. (1988). Motion artifacts on CT simulate bronchiectasis. *American Journal of Roentgenology*, 151(6), 1117-1119.

Tessier, C., Bruhschwein, A., Lang, J., Konar, M., Wilke, M., Brehm, W., & Kircher, P. (2013). Magnetic resonance imaging features of sinonasaldisorders in horses. Veterinary Radiology & Ultrasound, 54(1), 54-60

Textor, J. A., Puchalski, S. M., Affolter, V. K., MacDonald, M. H., Galuppo, L. D., & Wisner, E. R. (2012). Results of computed tomography in horses with ethmoid hematoma: 16 cases (1993–2005). Journal of the American Veterinary Medical Association, 240(11), 1338-1344.

Thames, R. A., Robertson, I. D., Flegel, T., Henke, D., O'Brien, D. P., Coates, J. R., & Olby, N. J. (2010). Development of a morphometric magnetic resonance image parameter suitable for distinguishing between normal dogs and dogs with cerebellar atrophy. Veterinary Radiology & Ultrasound, 51(3), 246-253

Thomas, W.B., Adams, W.H., McGavin, M.D. & Gompf R.E. (1997) Magnetic resonance imaging appearance of intracranial hemorrhage secondary to cerebral vascular malformation in a dog. Vet. Radiol. & Ultrasound, 38(5), 371-375.

Thomas, W.B., Sorjonen, D.C., Scheuler, R.O., & Kornegay J.N. (1996). Magnetic resonance imaging of brain infarction in seven dogs. Vet. Radiol. & Ultrasound, 37, 345-350.

Thomsen, H.S., & Webb J.A.W. (2006). *Contrast Media*. *Safety Issues and ESUR Guidelines*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer;167.

Thorington, R. W., Jr., and K. E. Ferrell. SQUIRRELS: THE ANIMAL ANSWER GUIDE. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. Journal of Mammalogy, 88(3):824, 2007 Thrall, D. E., Robertson, I. D., Mcleod, D. A., Heidner, G. L., Hoopes, P.J., & Page, R.L. (1989). A comparison of radiographic and computed tomographic findings in 31 dogs with malignant nasal cavity tumors. Veterinary Radiology, 30(2), 59-66.

Thrall, D. E. (2017). *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology-EBook*. Elsevier Health Sciences.

Thunus, L., & Lejeune, R. (1999). Overview of transition metal and lanthanide complexes as diagnostic tools. *Coordination Chemistry Reviews*, *184*(1), 125-155.

Tidwell, A. S., Ross, L. A., & Kleine, L. J. (1997). Computed tomography and magnetic resonance imaging of cavernous sinus enlargement in a dog with unilateral exophthalmos. Veterinary Radiology & Ultrasound, 38(5), 363-370.

Tidwell, A. S., Solano, M., & Schelling, S. H. (1994). Pediatric neuroimaging. Semin. Vet. Med. Surg. (Small Animal), 9(2), 68-85

Tipold, A., & Tipold, E. (1991). Computed tomography of the central nervous system in small animals. *Tierarzlitche Praxis, 19*(2), 183-191.

Tobon Restrepo, M., Espada, Y., Aguilar, A., Moll, X., & Novellas, R. (2021). Anatomic, computed tomographic, and ultrasonographic assessment of the lymph nodes in presumed healthy adult cats: the head, neck, thorax, and forelimb. *Journal of Anatomy*, *239*, 264–281.

Todo, G. I. R. O., & Herman, P. G. (1986). High-resolution computed tomography of the pig lung. Investigative Radiology, 21(9), 689-696.

Tomek, A., Cizinauskas, S., Doherr, M., Gandini, G. and Jaggy, A., (2006). Intracranial neoplasia in 61 cats: localisation, tumour types and seizure patterns. Journal of Feline Medicine and Surgery, 8(4), 243-253.

Tromblee, T. C., Jones, J. C., Etue, A. E., & Dru Forrester, S. (2006). Association between clinical characteristics, computed tomography characteristics, and histologic diagnosis for cats with sinonasal disease. Veterinary Radiology & Ultrasound, 47(3), 241-248. Travetti, O., Giudice, C., Greci, V., Lombardo, R., Mortellaro, C. M., & Di Giancamillo, M. (2010). Computed tomography features of middle ear cholesteatoma in dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 51(4), 374-379

Tsuka, T., Okamoto, Y., Sunden, Y., Morita, T., Amaha, T., Ito, N., … & Imagawa, T. (2022). Case Report: Ultrasonography and Magnetic Resonance Imaging of Anterior Segment Dysgenesis in a Calf. Frontiers in Veterinary Science, 9, 794255

Tsuka, T., & Taura, Y. (1999). Abscess of bovine brain stem diagnosed by contrast MRI examinations. Journal of Veterinary Medical Science, 61(4), 425-427

Tucker, R. L., & Farrell, E. (2001). Computed tomography and magnetic resonance imaging of the equine head. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, 17(1), 131-144

Turgut, N., Bahar, S., & Kılıncer, A. (2023). CT and cross-sectional anatomy of the paranasal sinuses in the Holstein cow. Veterinary Radiology & Ultrasound, 64(2), 211–223.

Tyson, R., Graham, J. P., Berminngham, E., Randall, S., & Berry, C. R. (2005). Dynamic computed tomography of the normal feline hypophysis cerebri. *Veterinary Radiology & Ultrasound, 46*(1), 33-38.

Vajhi, A., Mokhber Dezfouli, M. R., Zehtabvar, O., Sadeghian Chaleshtori, S., Modarres Tonekabony, S. H., Soflaei, R., & Abbasi, J. (2023). Normal Computed Tomography and Radiographic Study of the Nasal Cavity and Paranasal Sinuses in Shal Sheep (Ovis arries). Iranian Journal of Veterinary Surgery, 18(2), 133–144.

Valencia-Calderon, C., Calderon-Valdiviezo, A., Muntane-Sanchez, A., Bechich, S., Olivero-Rigau, R., & Segura-Cros, C. (2004). Descripcion y 265 fundamentos del SPECT y el PET en el diagnostico de la enfermedad cerebrovascular. *Revista Ecuatoriana de Neurología, 13*(1-2), 10.

Van Bonn, W., Dennison, S., Cook, P., & Fahlman, A. (2013). Gas bubble disease in the brain of a living California sea lion (Zalophus californianus). Frontiers in Physiology, 4, 5 Van Caelenberg, A. I., De Rycke, L. M., Hermans, K., Verhaert, L., van Bree, H. J., & Gielen, I. M. (2010). Computed tomography and crosssectional anatomy of the head in healthy rabbits. American Journal of Veterinary Research, 71(3), 293-303.

Van der Linden, A., Verhoye, M., Van Audekerke, J., Peeters, R., Eens, M., Newman, S. W., ... & DeVoogd, T. J. (1998). Non invasive in vivo anatomical studies of the oscine brain by high resolution MRI microscopy. Journal of neuroscience methods, 81(1-2), 45-52

Vanschandevijl, K., Gielen, I., Nollet, H., Vlaminck, L., Deprez, P., & van Bree, H. (2008). Computed tomography–guided brain biopsy for in vivo diagnosis of a cholesterinic granuloma in a horse. Journal of the American Veterinary Medical Association, 233(6), 950-954.

Vazquez, J. M., Rivero, M., Gil, F., Ramirez, J. A., Ramirez, G., Vilar, J. M., ... & Arencibia, A. (2001). Magnetic resonance imaging of two normal equine brains and their associated structures. Veterinary Record, 148, 229-232.

Veenema, N. J., Santifort, K. M., Kuijpers, N. W., Seijger, A., & Hut, P. R. (2021). Case Report: Complex Congenital Brain Anomaly in a BBxHF Calf–Clinical Signs, Magnetic Resonance Imaging, and Pathological Findings. Frontiers in Veterinary Science, 8, 700527

Veikutis, V., Budrys, T., Basevicius, A., Lukosevicius, S., Gleizniene, R., Unikas, R., & Skaudickas, D. (2015). Artifacts in computer tomography imaging: how it can really affect diagnostic image quality and confuse clinical diagnosis? *Journal of Vibroengineering*, *17*(2), 995-1003.

Veladiano, I. A., Banzato, T., Bellini, L., Montani, A., Catania, S., & Zotti, A. (2016). Computed tomographic anatomy of the heads of blue-andgold macaws (Ara ararauna), African grey parrots (Psittacus erithacus), and monk parakeets (Myiopsitta monachus). American Journal of Veterinary Research, 77(12), 1346-1356.

232

Vellema, M., Verschueren, J., Van Meir, V., and Van der Linden, A. (2011). A Customizable 3-Dimensional Digital Atlas of the Canary Brain in Multiple Modalities. *Neuroimage* 57 (2011), pp. 352-361.

Veraa, S., Voorhout, G., & Klein, W. R. (2009). Computed tomography of the upper cheek teeth in horses with infundibular changes and apical infection. Equine Veterinary Journal, 41(9), 872-876.

Verhoye M, Van der Linden A, Van Audekerke J, Sijbers J, Eens M, Balthazart J (1998): Imaging birds in a bird cage: in-vivo FSE 3D MRI of bird brain. MAGMA, 6, 22-27.

Vernau, K.M., Higgins, R.J., Bollen, A.W., Jimenez, D.F., Anderson, J.V., Koblik, P.D. and R.A. Lecouteur, (2001). Primary canine and feline nervous system tumours; intraoperative diagnosis using the smear technique. Veterinary Pathology, 38(1), 47-57.

Vernau, K.M., Lecourt, R.A., Sturges, B.K., Samii, V., Higgins, R.J., Koblik, P.D., & Vernau, W. (2002). Intracranial intra-arachnoid cyst with intracystic hemorrhage in two dogs. Vet. Radiol. & Ultrasound, 43(5), 442-449.

Vink-Nooteboom, M., Junker, K., Van den Ingh, T. S., & Dik, K. J. (1998). Computed tomography of cholesterinic granulomas in the choroi plexus of horses. Veterinary Radiology & Ultrasound, 39(6), 512-517.

Vlaardingerbroek, M. T., & Den Boer, J. A. (2003). *Magnetic Resonance Imaging*. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Voorhout, G. (1988a). Diagnostic imaging of the pituitary and adrenal glands in hyperadrenocorticoid dogs. *Thesis. Rijksuniversiteit te Utrecht, Netherlands.

Voorhout, G. (1988b). Computed tomography in the diagnosis of canine hyperadrenocorticism not suppressible by dexamethasone. Journal of the American Veterinary Medical Association, 192(5), 641-646.

Von Krosigk, F., Steinmetz, A., Ellenberger, C., & Oechtering, G. (2012). Magnetic resonance imaging and ultrasonography in dogs and cats with ocular and orbital

diseases. Part 1: Ocular diseases. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe K, Kleintiere/heimtiere*, 40(1), 7-15.

Vullo, T., Korenman, E., Manzo, R. P., Gomez, D. G., Deck, M. D., & Cahill, P. T. (1997). Diagnosis of cerebral ventriculomegaly in normal adult beagles using quantitative MRI. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 38(4), 277-281.

Walker A. M., Sellon D. C., Cornelisse C. J., Hines M. T., Ragle C. A., Cohen N., & Schott H. C. (2002). Temporohyoid osteoarthropathy in 33 horses (1993-2000). J. Vet. Intern. Med., 16(6), 697-703.

Watson, P. J., Hall, L. D., Malcolm, A., & Tyler, J. A. (1996). Degenerative joint disease in the guinea pig. Use of magnetic resonance imaging to monitor progression of bone pathology. Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology, 39(8), 1327-1337.

Wemheuer, W., Tipold, A., Rehage, J., Rustenbeck, H. H., Brenig, B., & Schulz-Schaeffer, W. (2004). Case-report. Malignant nerve sheath tumor in a cow with symptoms of suspected BSE. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 111(11), 443-447.

Westbrook, C., & Kaut, C. (1998). *MRI in Practice* (2nd Ed). Oxford, England: Blackwell Science.

Whitlock, J., Holdsworth, A., Morales, C., Garosi, L., & Carrera, I. (2021). 1.5 Tesla magnetic resonance imaging features of canine intracranial intra-axial hematomas. Frontiers in Veterinary Science, 8, 778320.

Whelan, H. T., Clanton, J. A., Wilson, R. E., & Tulipan, N. B. (1988). Comparison of CT and MRI brain tumor imaging using a canine glioma model. Pediatric Neurology, 4(5), 279-283.

Widmer, W.R., & Guptill, L. (1995). Imaging techniques for facilitating diagnosis of hyperadrenocorticism in dogs and cats. Journal of the American Veterinary Medical Association, 206(12), 1857-1864.

Williams, T. R., Perry, B. C., & Koenig, J. L. (1990). 1H magnetic resonance imaging study of bovine ocular tissue. Ophthalmic Res., 22(2), 89-94.

Windley, Z., Weller, R., Tremaine, W. H., & Perkins, J. D. (2009). Two-and threedimensional computed tomographic anatomy of the enamel, infundibulae, and pulp of 126 equine cheek teeth. Part 2: findings in teeth with macroscopic occlusal or computed tomographic lesions. Equine Veterinary Journal, 41(5), 441-447.

Wisner, E. R., & Zwingenberger, A. (2015). *Atlas of small animal CT and MRI*. Ames, IA: Wiley Blackwell.

Witte, T. H., & Perkins, J. D. (2011). Early diagnosis may hold the key to the successful treatment of nasal and paranasal sinus neoplasia in the horse. Equine Veterinary Education, 23(9), 441-447.

Wolf, D., Lupke, M., Wefstaedt, P., Klopmann, T., Nolte, I., & Seifert, H. (2011). Optimising magnetic resonance image quality of the ear in healthy dogs. Acta Veterinaria Hungarica, 59(1), 53-68.

Wood, M. L., & Hardy, P. A. (1993). Proton relaxation enhancement. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *3*(1), 149-156.

Wunderlin, N., Amort, K., Wigger, A., Klumpp, S., Biel, M., Eichner, G., & Kramer, M. (2012). Computed tomography in cats with craniofacial trauma with regard to maxillary and orbital fractures. Tierarztliche Praxis. Ausgabe K, Kleintiere/heimtiere, 40(5), 341-349.

Wyatt, S., Llabres-Diaz, F., Lee, C. Y., & Beltran, E. (2021). Early CT in dogs following traumatic brain injury has limited value in predicting short-term prognosis. Veterinary Radiology & Ultrasound, 62(2), 181-189.

Yamada K, Miyahara K, Sato M, *et al.* (1995). Optimizing technical conditions for magnetic resonance imaging of the rat brain and abdomen in a low magnetic field. *Vet Rad & Ultrasound*. 36:523–527.

Yarto-Jaramillo, E., Graham, J., McEntee, M. C., Keyerleber, M. A., Jennings, S. H., Rodriguez-Arroyo, D., & Reyes-Matute, A. (2022). Diagnosis of cervical chordoma in domestic ferrets (Mustela putorius furo): 3 cases. Journal of Exotic Pet Medicine, 41, 48-53

Yilmaz, O., & Durmaz, F. (2021). Examining the morphometric features of bulbus oculi in Van cats by using computed tomography and magnetic resonance imaging. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 68(4), 397-406.

Yilmaz, S, Zait E.O., Dervis O. (1998). Macro-anatomical investigations on the skeletons of porcupine (Hystrix Cristata) I. Ossa membri thoracici. tr. J. de Veterinaria y Ciencia Animal, 22(4):389-392

Yilmaz, S; Dinç G; Aydin, A (1999) "Macro-Anatomical Investigations on the Skeletons of Porcupine (Hystrix Cristata) II. Ossa Membri Pelvini," Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences: Vol. 23: No. 3, Article 15. Available at: https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/vol23/iss3/15

Yilmaz S. Macro-anatomical investigations on the skeletons of porcupine (Hystrix cristata). Part III: skeleton axiale. Anat Histol Embryol. 1998 Oct;27(5):293-6.

Yi, N. Y., Park, S. A., Park, S. W., Jeong, M. B., Kang, M. S., Jung, J. H.,... & Seo, K. M. (2006). Malignant ocular melanoma in a dog. Journal of Veterinary Science, 7(1), 89-90

Yllera, M. M., Lombardero, M., Camiña, M. (2020). Anatomía y fisiología de los animales de laboratorio. Roedores y lagomorfos. Monografías do Ibader - Serie Pecuaria. Ibader. Universidade de Santiago de Compostela. Lugo

Yoshikawa, H., Mayer, M. N., Linn, K. A., Dickinson, R. M., & Carr, A. P. (2008). A dog with squamous cell carcinoma in the middle ear. The Canadian Veterinary Journal, 49(9), 877.

Young, I. R., Clarke, G. J., Bailes, D. R., Pennock, J. M., Doyle, F. H., & Bydder, G. M. (1981). Enhancement of relaxation rate with paramagnetic contrast agents in NMR imaging. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 5(4), 543-547. Yousaf, T., Dervenoulas, G., & Politis, M. (2018). *Advances in MRI methodology. International Review of Neurobiology, 141*, 31-76.

Yu, Y., Hasegawa, D., Chambers, J. K., Kojima, K., Asada, R., Johnson, G. S., & Uchida, K. (2020). Magnetic resonance imaging and histopathologic findings from a standard poodle with neonatal encephalopathy with seizures. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 578936.

Yurt, A., & Kazanci, N. (2008). Investigation of magnetic properties of various complexes prepared as contrast agents for MRI. *Journal of Molecular Structure*, *892*(1-3), 392-397.

Zaragoza, J. R. (1992). *Física e instrumentación médicas* (2a ed.). Masson - Salvat Medicina, Barcelona (pp. 263-276).

Zehtabvar, O., Masoudifard, M., Rostami, A., Akbarein, H., Sereshke, A. H. A., Khanamooeiashi, M., & Borgheie, F. (2023). CT anatomy of the 277 lungs, bronchi and trachea in the Mature Guinea pig (Cavia porcellus). Veterinary Medicine and Science.

Zhalniarovich, Y., Przeworski, A., Glodek, J., & Adamiak, Z. (2017). Lowfield magnetic resonance imaging of otitis media in two cats: a case report. Veterinární Medicína, 62(2), 111-115.

Ziemer, L. S., Schwarz, T., & Sullivan, M. (2003). Otolithiasis in three dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 44(1), 28-31.

Zink, F. E. (1997). X-ray tubes. *Radiographics*, *17*(5), 1259-1268.

Zook, B. C., Hitzelberg, R. A., Fike, J. R., & Bradley, E. W. (1980). Anatomy of the Beagle in cross-section: Head and neck. *American Journal of Veterinary Research*, *42*(5), 844-849.

Zotti, A., Banzato, T., & Cozzi, B. (2009). Cross-sectional anatomy of the rabbit neck and trunk: comparison of computer tomography and cadáver anatomy. Research in Veterinary Science, 87(2), 171-176.

AGRADECIMIENTOS