

**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN
CANARIA**



**PROGRAMA DE DOCTORADO DE INVESTIGACIÓN EN
BIOMEDICINA**

Estudio comparado por tomografía computarizada de
la cabeza en el dragón de Komodo (*Varanus
komodoensis*), iguana verde (*Iguana iguana*), y tortuga
boba (*Caretta caretta*)

Sara Pérez Alberto

Las Palmas de Gran Canaria, 2022

*A mi familia y amigos,
por ser y estar*

*“Trabaja en silencio, el ruido viene solo”
(Antonio Alberto Padilla, mi abuelo)*

ÍNDICE

1. Introducción	12
2. Objetivos.....	17
3. Revisión bibliográfica	16
3.1. Principios básicos de la tomografía computarizada.....	17
3.1.1. Procesado de datos	18
3.1.2. Partes que componen un equipo de TC	19
3.1.2.1. El gantry	20
3.1.2.2. La mesa	21
3.1.2.3. La consola	21
3.1.2.4. El generador	21
3.1.2.5. El tubo de rayos X	22
3.1.2.6. Colimadores y filtros	23
3.1.2.7. Sistemas de detección	24
3.1.3. Evolución desde la tercera generación	26
3.1.3.1. Equipos de tercera generación	26
3.1.3.2. Evolución hasta las imágenes actuales	26
3.1.4. Reconstrucción y procesado de imagen	29
3.1.5. Adquisición de las imágenes. Radiografía de planificación.....	30
3.1.6. Tipos de tomografía computarizada.....	31
3.1.6.1. Tomografía computarizada helicoidal	31
3.1.6.2. Tomografía axial multicorte	32
3.1.7. Calidad de la imagen	33
3.2. Tomografía computarizada en medicina veterinaria.....	33
3.2.1. Ventajas e inconvenientes	33
3.2.2. Aplicaciones clínicas	34
3.3. Diagnóstico por imagen en reptiles	40
3.3.1. Radiografía	42
3.3.2. Ecografía	48
3.3.3. Tomografía computarizada o TC.....	51
4. Material y métodos	56
4.1. Animales empleados	57
4.2. Técnica de tomografía computarizada	58
4.2.1. Imágenes transversales	60
4.2.2. Reconstrucciones 3D por superficie	64
4.2.3. Proyecciones de máxima intensidad	69

5. Resultados	74
5.1. Dragón de Komodo.....	75
5.1.1. Imágenes transversales	75
5.1.2. Reconstrucciones tridimensionales de superficie	82
5.1.3. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP)	85
5.2. Iguana verde	87
5.2.1. Reconstrucciones tridimensionales de superficie.....	87
5.2.2. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP)	90
5.3. Tortuga boba	93
5.3.1. Reconstrucciones tridimensionales de superficie	93
5.3.2. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP).....	97
5.4. Resultados científicos publicados	101
5.4.1. Cranial Structure of <i>Varanus komodoensis</i> as Revealed by CT Imaging	101
5.4.2. Comparative evaluation of the Komodo dragon (<i>Varanus komodoensis</i>) and the Green iguana (<i>Iguana iguana</i>) skull by three-dimensional computed tomographic reconstruction.....	113
5.4.3. Empleo de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada para el conocimiento anatómico de animales exóticos.....	119
5.4.4. Estudio del cráneo del <i>Varanus komodoensis</i> por tomografía computarizada	125
6. Discusión	128
7. Resumen	139
8. Summary	141
9. Conclusiones.....	142
10. Referencias.....	147

1. Introducción

Desde la aparición de la tomografía computarizada en 1971, se ha convertido, sin duda, en una de las técnicas diagnósticas más usadas en la actualidad. Después de continuos avances tras ser introducida en el mundo clínico, ha sido referente como herramienta en distintos campos de la medicina. Su creador, Sir Godfrey Hounsfield la desarrolló para obtener imágenes transversales de la cabeza (Agut, 2014)

En principio la tomografía computarizada se presentó como un avance únicamente para la neuromedicina. Era una modalidad de radiología, capaz de generar imágenes del axiales del cerebro. A día de hoy, es tan versátil que permite obtener imágenes tridimensionales de cualquier área anatómica gracias a la reconstrucción, siendo muy demandada en prácticamente todas las especialidades médicas.

Básicamente y a modo de resumen, una TC se basa en medir la transmisión de los rayos X que pasan a través de un paciente objeto de estudio, en un número elevado de proyecciones. Para obtener esas proyecciones se combina la acción del tubo de rayos X, que rota alrededor del paciente y de los sistemas de detección formados por un gran número de elementos, cerca de mil, que forman parte del detector, con filas contiguas de detectores alineados a lo largo del eje de rotación. Ese haz de rayos sufre una atenuación cuando atraviesa al paciente, y precisamente la parte que no se atenúa y alcanza los detectores, que están en el lado opuesto del tubo, formará la base de la imagen final.

Gracias a la evolución de esta técnica, y a la formación de personal cualificado dentro de la medicina veterinaria, la tomografía computarizada se ha convertido en una herramienta diagnóstica de referencia dentro del sector clínico veterinario, aportando muchísimas mejoras al ejercicio de dicha profesión. Ofrece una mayor precisión diagnóstica, y aunque aún no está tan extendida como en medicina humana, por las limitaciones económicas que supone, y por la infraestructura que requiere, a día de hoy se puede decir que es una realidad para investigadores, clínicos y cirujanos veterinarios.

Su aplicación en animales de compañía se ha evidenciado en los últimos años. La adquisición de equipos tanto por parte de universidades a lo largo y ancho del mundo, como en centros veterinarios de referencia, ha marcado en avance en este sentido. Así, las experiencias clínicas y trabajos de investigación han profundizado en el conocimiento anatómico de animales sanos y con condiciones patológicas de las distintas especies, estando mucho más enfocado perros y gatos, ya que determinan un gran volumen de los pacientes atendidos y estudiados en medicina veterinaria.

A medida que ha pasado el tiempo y ha sido accesible para la clínica veterinaria, se ha utilizado tanto en pequeños como en grandes animales.

Con los equipos de última generación, que suponen un menor tiempo por examen y una mayor precisión en animales de pequeño tamaño por la proximidad de sus cortes, su uso se ha extendido a exóticos y nuevos animales de compañía, entre los que destacan los lagartos.

A pesar de las ventajas que presenta esta técnica y de su aplicación en medicina y cirugía de reptiles, escasos son los estudios que se han realizado en grandes lagartos, destacando aquellos realizados en *Varanus komodoensis* y *Varanus monitor*. Estos fueron realizados con cadáveres y con la técnica de los microtacs (Wilken y otros, 2019).

En lo que se refiere a los objetivos de nuestro proyecto, a nivel general pretendemos aproximar a los clínicos e investigadores, las imágenes de las diferentes regiones de estudios en grandes y pequeños lagartos, y proporcionar a los veterinarios clínicos un material útil y aplicable para el ejercicio de la profesión.

2. Objetivos

Dadas las posibilidades que ofrece esta técnica en la que se ha centrado este estudio, nuestros objetivos se resumen en los siguientes puntos:

- Evaluar aquellas regiones anatómicas que sirven como elementos de referencia para posibles exploraciones clínicas, destacando el análisis de la región cefálica. Se analizará la región cefálica del *Varanus komodoensis* como ejemplo de lagarto de gran tamaño, utilizando cortes transversales, reconstrucciones tridimensionales, y proyecciones de máxima intensidad.
- Evaluar las diferencias presentes en las cabezas de grandes y pequeños lagartos mediante reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada. Aquí destacamos de nuevo el *Varanus komodoensis* como gran lagarto, y la *Iguana iguana* como pequeño lagarto.
- Evaluación comparada de las estructuras craneales presentes en la tortuga boba o *Caretta caretta* y la iguana verde o *Iguana iguana* mediante reconstrucción tridimensional y proyecciones de máxima intensidad.

3.Revisión bibliográfica

3.1. Principios básicos del funcionamiento de TC

Como se ha adelantado, una tomografía computarizada o TC se basa en medir la transmisión de los rayos X que pasan a través de un paciente objeto de estudio en un número elevado de proyecciones. Para obtener esas proyecciones se combina la acción del tubo de rayos X, que rota alrededor del paciente y de los sistemas de detección formados por un gran número de elementos, cerca de mil que forman parte del detector, con filas contiguas de detectores alineados a lo largo del eje de rotación (Calzado y Geleijns, 2010).

Para obtener imágenes hay que asignar los valores de píxel. Un píxel está formado por dos dimensiones y es la representación final en la imagen de los pequeños rectángulos tridimensionales (**vóxels**) que están presentes dentro de la sección del paciente objeto de estudio (Agut, 2014). Éstos están relacionados con el **coeficiente de atenuación lineal μ** , encargado de cuantificar este proceso. Se obtiene diferente información de los distintos tejidos existentes, porque cada uno atenúa de una manera distinta, es decir, diferentes coeficientes de atenuación lineal (Calzado y Geleijns, 2010).

Existen dos conceptos importantes llegados a este punto:

- Ley de Beer – Lambert: establece la relación existente entre la intensidad del haz inicial de rayos X, I_0 , el coeficiente de atenuación lineal μ , el espesor del material x , y la intensidad del haz atenuado de rayos X $I(x)$.

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \text{ (escribir bien la fórmula)}$$

Efecto Compton: **efecto** fotoeléctrico. Es el **efecto** deseado para obtener una buena imagen **radiológica**; aunque implica la absorción de esa energía del fotón de radiación, y por ello, un posible **efecto** biológico sobre el paciente

3.1.1. Procesado de los datos

En la actualidad, los equipos modernos de TC realizan muchísimas ecuaciones en su ordenador para poder determinar el coeficiente de atenuación lineal de cada vóxel. En los primeros aparatos estos procesos podían demorarse más de cinco minutos, sin embargo, ahora somos capaces de obtener dichos valores de manera prácticamente simultánea.

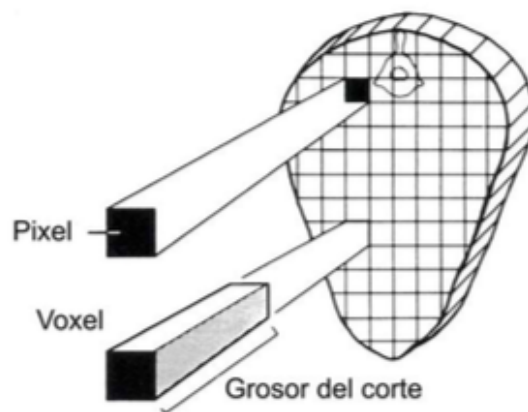


Figura 1. Representación esquemática de un píxel y un vóxel (Owens y Biery, 1999).

Después de esto, se necesita obtener el cálculo del número TC, que se mide en unidades Hounsfield (UH) (Calzado y Geleijns, 2010).

Cabe destacar que el valor del agua es cero, así los valores positivos son aquellos más densos. En la aplicación clínica, los números de TC suelen oscilar entre -1000 y + 3000 (Agut, 2014).

La utilización de esta escala es la que permite visualizar en la pantalla del ordenador las distintas escalas de grises que corresponden a los distintos tejidos, todo dependerá de la técnica de ventanas de elección (Hathcock y Stickle 1993), concepto que se desarrollará más adelante.

El ojo humano no es capaz de percibir tantos niveles de grises como lo hacen los sistemas encargados de procesar las imágenes de TC. Por eso las ventanas son de ayuda para maximizar las distintas atenuaciones, en función de los tejidos y estructuras objeto de análisis.

3.1.2. Partes que componen un equipo de tomografía computarizada o TC

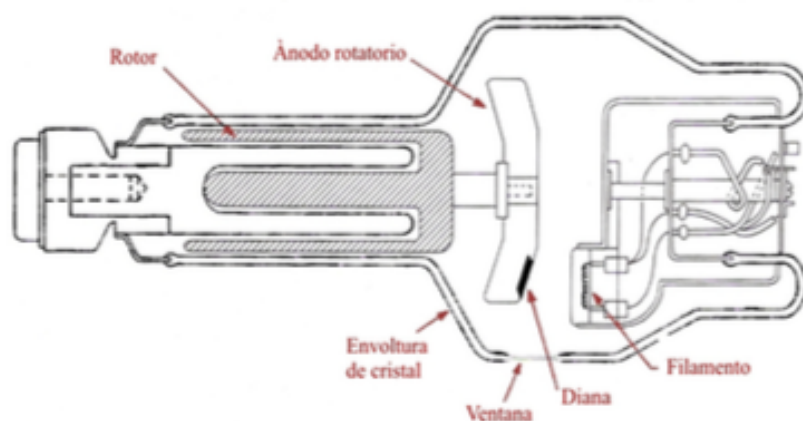


Figura 2. Partes principales del tubo de rayos X moderno con ánodo rotatorio (modificada de Bushong, 1995)

La unidad de tomografía computarizada o TC está compuesta por distintas partes. Un “gantry”, que es la coraza que aloja el tubo de rayos X, el transformador, los colimadores, y los detectores, la mesa del paciente, el hardware, la consola de control y los monitores de visualización, además de estaciones de trabajo adicionales.

3.1.2.1. El gantry

El **gantry** tiene forma de anillo y contiene al tubo de rayos, y es por el anillo central por el que pasará el paciente, gracias a una mesa deslizante en la que estará situado (Calzado y Geleijns, 2010). El tubo de rayos x irá rotando y realizando las diferentes capturas en los distintos planos implicados, en función de la región anatómica objeto de estudio.

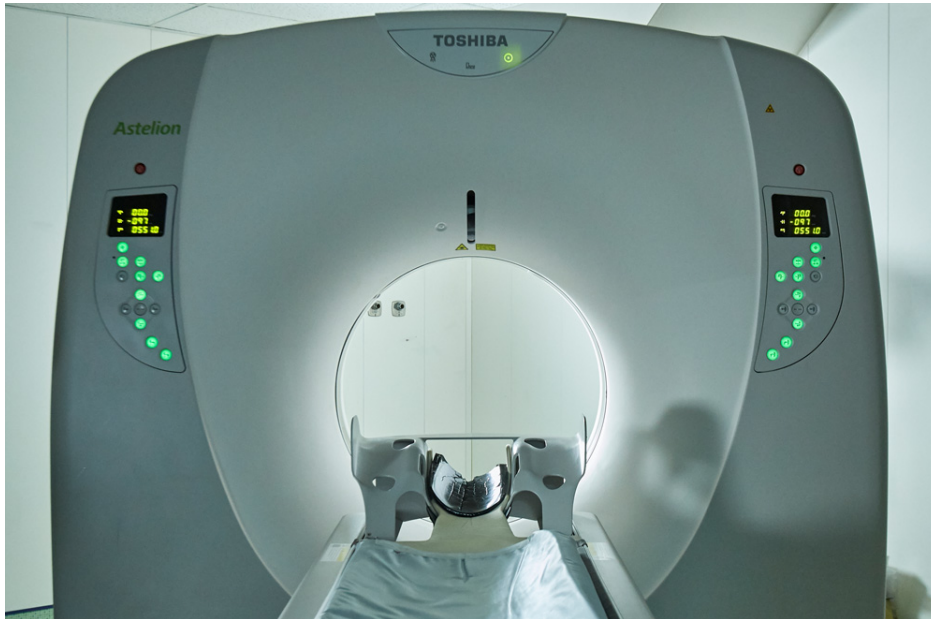


Figura 3. Equipo de tomografía computarizada Toshiba Astelion previo a un estudio. Se observa el arco, el gantry y la camilla.

Básicamente, los planos representados en las imágenes obtenidas son:

- El plano X-Y, con el eje X en horizontal y el Y en vertical.
- El eje Z: es el isocentro del gantry o pórtico, es decir el eje que representa la mesa del paciente

3.1.2.2. La mesa

La **mesa** en la que se sitúa el paciente es deslizante, tiene una altura regulable y una capacidad de movimiento de avance predefinida.



Figura 4. Componentes Toshiba Aquilion 16, incluyendo la estación de trabajo, la camilla y el arco.

3.1.2.3. Consola

En el caso de la consola del operador, siempre estará ubicada fuera de la habitación en la que está instalado el tubo de rayos X, o bien, detrás de un radioprotector. Si se quisiera se podrían añadir consolas para el procesamiento de los datos y las imágenes.

3.1.2.4. El generador

El **generador**, básicamente, se encarga de transformar la energía proporcionada por la corriente eléctrica a la que asocia el equipo en un kilo voltaje adecuado para su funcionamiento. Suele estar formado por **transformador** de alta tensión y **rectificadores**. Los rectificadores están inmersos en aceite, que esta vez no cumple la función de aislante térmico sino de aislante eléctrico. La ingeniería de estos componentes es compleja, ya que deben soportar la fuerza centrífuga al estar instalados en la parte giratoria del gantry. En los equipos de más velocidad, las piezas expuestas a los giros soportan varias decenas de fuerzas G (Arenson, 1995).

3.1.2.5. El tubo de rayos X

El **tubo de rayos X** es un tubo que en principio está al vacío que produce rayos X, y está diseñado para evitar la radiación excesiva y las descargas eléctricas. Tiene una parte externa o carcasa, recubierta de plomo (Agut, 2014). Ésta, tiene una ventana en su zona inferior por

donde sale el haz de rayos X. En su interior, está formado por un cátodo representado por un filamento, y un ánodo, representado por un objetivo (Calzado y Geleijns, 2010).

Cuando el cátodo se calienta emite electrones, gracias al tungsteno que incorpora (normalmente es tungsteno, aunque también puede existir una combinación de éste con torio). Al calentarse, se desprenden electrones que son acelerados, adquiriendo energía cinética consecuencia de la diferencia entre el ánodo y el cátodo. En el caso del ánodo, el objetivo anular o pista focal que se sitúa cerca del borde, está compuesto por una aleación también de tungsteno en forma de disco (Agut, 2014). Este disco, apoyado en un vástago largo, situado a su vez sobre unos cojinetes dentro del mismo tubo. Todo ello permite que pueda girar por inducción electromagnética. Hay que tener en cuenta que de esta reacción genera calor, solo el 1% de la energía es la que queda disponible para la generación de rayos X (Blatt, 1991).

El tubo de rayos X está situado dentro de una cavidad cubierta de aceite aislante, situado entre dicho tubo y la carcasa, cuya función es proporcionar protección eléctrica frente al voltaje del tubo, protección frente a los rayos x y frente al calor que se genera, ya que como se ha indicado anteriormente el 99% de la energía que se genera se convierte en calor, y que es transmitido a la superficie de la unidad. Este exterior se enfría por ventilación. El aceite se enfría pasándolo por un intercambiador de calor.

Cuando una corriente de unos pocos amperios (entre 4 y 8) calienta el filamento de tungsteno, se liberan electrones. Una fuente de energía de alto voltaje que varía entre 30 y 150 kilovoltios se conecta a través del cátodo y el ánodo, acelerando los electrones y generando una corriente de tubo o flujo de electrones. Estos mismos electrones chocan con el ánodo y aproximadamente un 1% de su energía cinética, se convierte en rayos X, que se dirigen de manera perpendicular a la trayectoria del haz de electrones. El resto de la energía se convierte en calor, lo que explica el calentamiento del propio tubo durante su funcionamiento. Por este motivo, muchos sistemas de rayos X, incluido

el TAC, llevan incorporadas funciones de seguridad que no permiten el funcionamiento del equipo en condiciones de sobrecalentamiento.

A medida que el TAC ha ido evolucionando, las exigencias para superar a la radiografía convencional han hecho que sus características se hayan ido distanciando mucho más de sus inicios, siendo los actuales muy superiores. Poseen mayor potencia de escaneo, cada vez los tiempos de rotación son más cortos, al igual que los tiempos de enfriamiento y los puntos focales son más pequeños sin comprometer la capacidad de resolución de las imágenes.

En los TC más antiguos, las características del cátodo y el ánodo dificultaban la realización de imágenes a las velocidades que somos capaces de conseguir en la actualidad, los equipos se sobrecalentaban con mayor facilidad y eso resultaba en continuas interrupciones en la obtención de las imágenes.

3.1.2.6. Los colimadores y filtros

Los sistemas de TC cuentan con varios **colimadores**, filtros y diseños de blindaje. Estos proporcionan filtración de los espectros de rayos X, definición de los cortes, detectores de protección frente a la radiación dispersa y protección general contra la radiación.

- **Colimación:** sirve para asegurar una buena calidad de la imagen y reducir las dosis de radiación innecesarias para el paciente. Están presentes entre la fuente de rayos X y el paciente, y entre el paciente y los detectores. El colimador de tubo se utiliza para dar forma al haz de rayos X antes de que penetre en el paciente. Se trata de un juego de cuchillas colimadoras fabricadas con materiales altamente absorbentes, como el tungsteno o el molibdeno. Estos definen el grosor del corte. Los colimadores posteriores al paciente mejoran el perfil de sensibilidad del corte.



Figura 5: paciente canino posicionado para realizar de un estudio de tomografía computarizada.

- **Filtración:** los fotones de rayos x emitidos por el tubo son de amplio espectro. Los rayos X suaves y de baja energía deben eliminarse, para ello se utilizan los filtros de rayos X. Se colocan filtros planos de cobre o aluminio, entre la fuente de rayos X y el paciente. Esto modifica el espectro de rayos X de manera uniforme en todo el campo de visión. Debido a que la sección transversal de un paciente es en su mayoría en forma ovalada, algunos fabricantes utilizan filtros que no son planos. Éstos tienen un grosor incrementado desde el centro hacia la periferia, con lo cual, atenúan la radiación más en dicha periferia que en el centro. Este tipo de filtros se fabrican con un material de bajo números atómico y alta densidad, como el teflón.

3.1.2.7. Sistemas de detección

Los **sistemas de detección** suponen el registro cuantitativo de la radiación ionizante, y actúa en dos pasos.

Primero recibe el fotón de rayos X, que incide a través de elementos detectores sensibles a este tipo de rayos y con una configuración geométrica específica.

Segundo, el fotón se transforma en una señal eléctrica, que luego es amplificada y se convierte de una forma analógica a una digital.

Existen dos tipos de detectores:

- **Cámaras de ionización:** en su mayoría llenas de xenón a alta presión. Estos detectores de gas se han vuelto obsoletos debido a su limitada eficiencia de detección y a la dificultad de fabricación.
- **Detectores de centelleo:** en forma de cristales como yoduro de cesio o tungstato de cadmio, y materiales cerámicos como oxisulfuro de gadolinio. Se han convertido en la mejor opción por su velocidad, su resolución espacial y calidad de la imagen.

3.1.3. Evolución desde la tercera generación

3.1.3.1. Equipos de tercera generación

Los equipos de tercera generación incorporaron la posibilidad de la rotación simultánea del tubo de rayos X y el conjunto de detectores, esto hizo que los de primera y segunda generación quedaran descartados (Bushong, 1995). Otra de las novedades fue la mejora de las condiciones de enfriamiento, de modo que, a partir de ese momento fue posible escanear pacientes completos. Sin embargo, no estuvieron exentos de problemas. Estos equipos de tercera generación fueron los responsables de los llamados “artefactos de anillo”.

Esto llevó a continuar con el desarrollo del TC, llegando a los sistemas de cuarta generación. Fueron diseñados de manera que los detectores se colocan por separado en un anillo estacionario alrededor del paciente, y únicamente gira el tubo de rayos X. De esta manera, al contrario que en la tercera generación donde los datos son obtenidos por una matriz de detectores que opera simultáneamente, en la cuarta un solo detectores recopila los datos en el periodo de tiempo en el que el tubo de rayos X gira. Así, los “artefactos de anillo” desaparecieron.

3.1.3.2. Evolución hasta las imágenes actuales

Después del desarrollo previo a la utilización clínica, y de su puesta en marcha en 1971, la tomografía computarizada no tardó en convertirse en una prueba indispensable en medicina diagnóstica (Texeira 2004).

Resulta impactante, que en 1986 ya estuviera diseñada la tecnología moderna usada en la práctica actual en los equipos de TC. (Berninger y Redington, 1980)

Fue en EEUU en 1980 cuando se patentó el sistema multicorte. La técnica helicoidal con camillas de transporte del paciente fue patentada en 1986

Tecnología TC	Configuración del detector	Cobertura del campo de visión axial	Adquisición angular de las proyecciones	Cobertura longitudinal
Primeros escáneres clínicos, 1974	Un único elemento detector	Haz estrecho, cobertura del FOV* con traslaciones del tubo y del elemento detector	Rotación de un tubo de rayos X y del detector (pequeños incrementos angulares)	Traslación de la camilla en pasos cortos
Escáneres de TC axial (<i>step-and-shoot</i>)	Fila única de detectores con cientos de elementos	Haz en abanico con cobertura completa del FOV	Una rotación completa (360°) de un tubo de rayos X y del detector	Traslación continua de la camilla
Escáneres de TC helicoidal			Rotación múltiple continua de un tubo de rayos X y del detector	
Escáneres de TC helicoidal con múltiples filas de detectores	Multidetector con 4, 16 y 64 canales activos	Dos haces en abanico, uno de ellos al menos con cobertura completa del FOV	Rotación múltiple continua de dos tubos de rayos X y de dos conjuntos detectores	Traslación continua de la camilla
Escáneres de TC helicoidal con múltiples filas de detectores y doble fuente	Dos conjuntos multidetector, con 32 ó 64 canales activos			
Escáneres de TC volumétrico	Multidetector con hasta 320 canales activos	Haz cónico con cobertura completa del volumen de interés (FOV completo y 160 mm longitudinal)	Una única rotación continua de un tubo de rayos X y del detector	La cobertura de 160 mm del campo longitudinal es proporcionada por el haz cónico. Para cobertura longitudinal >160 mm: adquisiciones <i>step-and-shoot</i> + enlace de los volúmenes reconstruidos

Tabla 1. Evolución de los diferentes tipos de tecnología de TC (Calzado y Geleigns, 2010)

Desde la aparición de los sistemas multidetector el uso del conjunto generador – tubo, se ha vuelto mucho más eficiente.

Gracias a las innovaciones tecnológicas en los tubos de rayos X, como el desplazamiento de punto focal o la cámara giratoria de vacío, se ha podido aumentar la potencia máxima y mejorar la resolución espacial.

Estos componentes que conforman parte del escáner constan con una complicada ingeniería, porque al estar en la parte del gantry que gira deben soportar la fuerza centrífuga (fuerzas G) ocasionadas durante el funcionamiento del TC y de la rotación rápida (Kyrikau y otros, 2006).

Como ya se ha expuesto, al igual que sucede en radiografía convencional, el haz de rayos X generado en el tubo debe ser colimado y adaptado a las dimensiones del paciente y de la zona foca del estudio. Los filtros de forma se usan para crear un gradiente de intensidad del haz de rayos X en el plano axial, estos se montan cerca del tubo de rayos X y su función es reducir de manera dinámica el rango de la señal que tiene que ser registrada en el sistema detector.

Aquí también ha habido evolución. Los primeros detectores eran de gas a presión, cámaras ionizadas con gas xenón. En la actualidad se incorporan detectores de estado sólido, que tienen la ventaja de absorber casi todos los fotones que llegan a ellos. Así se ha pasado de una eficiencia de aproximadamente un 70%, a rozar el 100% con los sistemas actuales.

Delante de los detectores se ubican unas láminas de pequeño tamaño de materiales muy absorbentes, como puede ser el wolframio, que componen la rejilla antidifusora. Los detectores de TC, además de tener una buena eficiencia de detección, deben tener una respuesta rápida y buena transparencia para la luz generada. Los sistemas de detectores actuales constan con miles de elementos detectores de estado sólido, que están separados para impedir que luz generada en cada elemento detector pueda ser detectada por algún elemento colindante. Tanto las láminas que forman estas separaciones o septos, como los que componen la rejilla anti dispersión deben ser lo más pequeños posibles, porque reducen el área efectiva de detección y en consecuencia la eficiencia de detección de los rayos X.

El conjunto detector del TC tiene forma rectangular en el eje longitudinal (eje z), es curvo en el plano axial (eje xy). La precisión y el detalle que se puede obtener en las imágenes depende del número y el tamaño de los detectores presentes tanto en el arco como a lo largo del

eje z. Se necesitan cerca de 800 elementos del detector para alcanzar una resolución de 1 mm en una imagen reconstruida en un campo de visión de unos 4 cm.

Como regla general, para obtener una buena resolución, el número de ángulos de proyección que se necesita es similar al número de elementos detectores utilizados. De esta manera, la introducción de filas múltiples de detectores en los equipos actuales ha sido decisiva para mejorar la cobertura de las imágenes. En 1998 se usaron cuatro filas de detectores, en 2001 dieciséis, 64 en 2004 y en 2007 Toshiba incorporó 320 filas en uno de sus equipos, el Aquilion ONE (Calzado y Geleijns, 2010). Así, podemos reconstruir secciones más delgadas y en menos tiempo.

Esto supuso una ventaja clínica enorme y **permitió la reconstrucción tridimensional de las imágenes**. En función de las capacidades de los equipos seremos capaces de obtener más imágenes, cortes más finos y alcanzar la anatomía de los órganos con menos vueltas de rotación.

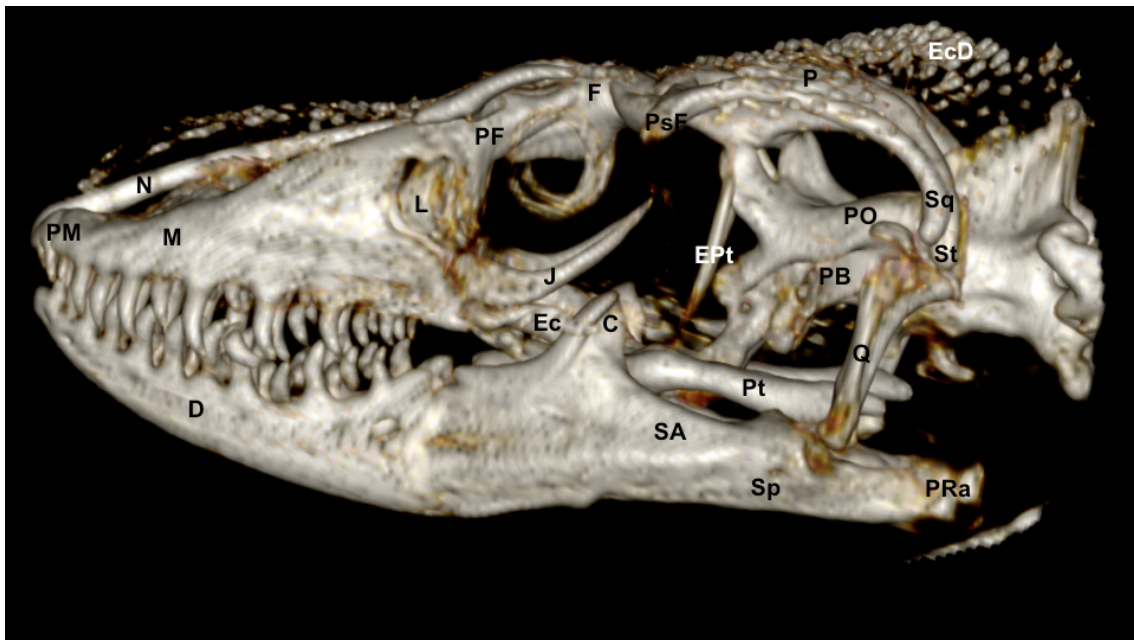


Figura 6. Reconstrucción tridimensional de superficie por TC. Vista lateral izquierda *Varanus komodoensis*. (Pérez, 2021)

3.1.4. Reconstrucción y procesado de la imagen

Al final, de lo que se trata toda la parte física, es de poder transformar esa información obtenida en imágenes evaluables. Matemáticamente se sabe que usar retroproyecciones simples generan imágenes muy borrosas, por eso, el método conocido como retroproyección filtrada (FBP), con sus múltiples variantes, es el estándar para la reconstrucción de imágenes en tomografía computarizada. Ese filtro que hemos nombrado que se debe usar para conseguir una imagen más nítida es conocido como filtro de Lakshminarayanan. Produce imágenes que, sin estar exentas de ruido, tiene una resolución espacial óptima. Este filtro es conocido en la práctica como filtro de hueso o filtro Sharp. Así, en función de las características de los filtros obtendremos:

- Filtro de Sharp o de hueso, ya nombrado.
- Filtro Shepp-Logan: imágenes menos ruidosas, con una peor resolución espacial y mejor resolución de bajo contraste. Conocido como filtro estándar.
- Filtro smooth: también conocido como de tejido blando. Reducen el ruido de las imágenes obtenidas y mejoran la resolución de bajo contraste. La resolución espacial es notablemente peor.

Los equipos actuales ofrecen diferentes filtros de reconstrucción para las aplicaciones clínicas y la optimización de la visualización de las imágenes.

3.1.5. Adquisición de las imágenes. Radiografía de planificación

Cuando se va a realizar una TC, se inicia el procedimiento con una radiografía plana de planificación. Para ello, el tubo de rayos X presente en el aparato se mantiene estático, no rota, con el paciente bien colimado. Normalmente se ejecuta una radiografía frontal o lateral, realizándose con valores de tensión de unos 120 kV, es decir, valores intermedios, y la intensidad de corriente del tubo entre 20 y 100 mA, es decir, valores bajos.

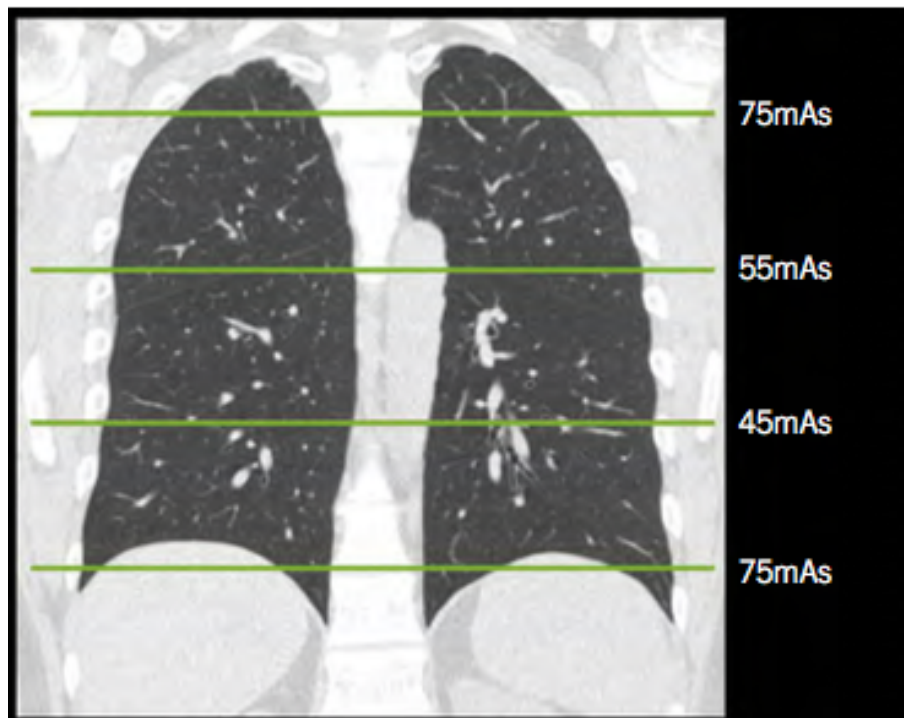


Figura 7. Radiografía de planificación. Sirve para preseleccionar los valores de mAs de los sistemas de modulación automática en función de la atenuación. (Calzado y Geleigns, 2010)

Estas radiografías son importantes para fijar las posiciones de inicio y de finalización del TC. Además, sirven para preseleccionar los valores de mAs de los sistemas de modulación automática en función de la atenuación. Existen sistemas automáticos de control de la exposición capaces de extraer información en función de estas radiografías y así definir los valores de la corriente óptima del tubo. Este proceso se llama modulación de corriente en el eje Z.

El control automático de la exposición en TC también puede compensar a las diferencias de atenuación en diferentes ángulos de proyección, lo que se conoce como modulación x-y o modulación angular.

3.1.6. Tipos de tomografía computarizada

3.1.6.1. Tomografía axial computarizada

Para obtener los perfiles de transmisión se realiza un giro completo del tubo de rayos X con la camilla en reposo, es decir, cada secuencia requiere de un giro completo de 360° de dicho tubo. Para mejorar la resolución temporal existe la posibilidad de recortar a 180 °

y sumar el ángulo del haz. En una exploración completa se efectúa una o más series de adquisición axiales con el fin de obtener las imágenes de interés clínico necesarias. Para lograrlo, la camilla va avanzando, de manera que cada avance de la camilla suele corresponder con el grosor del corte, así la reconstrucción estará formada por imágenes axiales sucesivas.

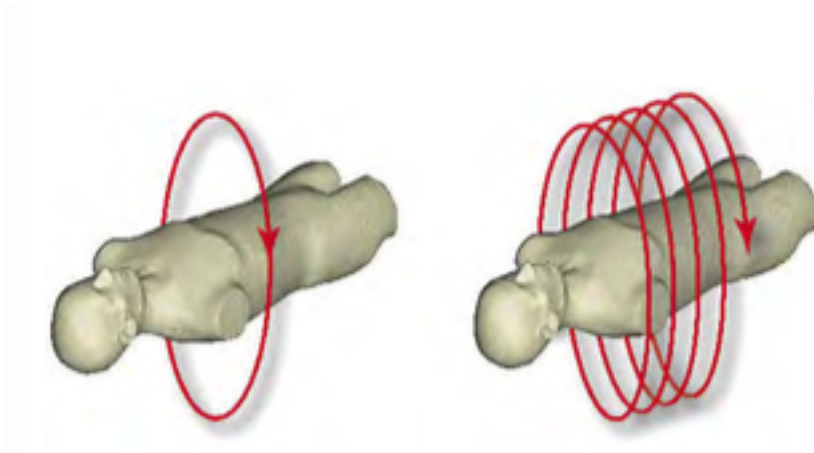


Figura 8. Ejes de rotación (Calzado y Geleigns, 2010)

3.1.6.2. Tomografía computarizada helicoidal

Hasta 1989 sólo era posible realizar imágenes axiales. En 1989, el hecho de que el tubo rotara continuamente y la camilla se desplazara, permitió la adquisición helicoidal o en espiral (Crawford, 1990) suponiendo un aumento considerable del rendimiento de la tomografía. Se consiguen tiempos más cortos y se obtienen imágenes con mayor coherencia que permiten las reconstrucciones tridimensionales. Con esta modalidad helicoidal aparecieron algunos artefactos como los llamados molinos de viento. El desplazamiento de la camilla se expresa generalmente en relación con la anchura nominal del haz. Este tipo de rotación hizo posible que se obtuvieran datos de un gran volumen del paciente en apnea, lo que constituía un requisito previo para el desarrollo de la angiografía TC de alta calidad. el cociente entre el desplazamiento de la camilla en una rotación de 360° del tubo y la anchura nominal del haz se conoce como factor de paso o pitch (Calzado y Geleigns, 2010).

3.1.6.3. Tomografía axial multicorte

Pasaron diez años de la introducción de escáneres helicoidales para llegar a los escáneres multidetector de rotación rápida. Esto supuso un avance tremendo y aportó nuevas aplicaciones clínicas. El tiempo de rotación se disminuyó a penas 3-4 décimas de segundo, frente a los 1-2 segundos de los anteriores. Por lo tanto, teniendo como referencia el cuerpo humano, se hizo posible escanear a un adulto casi por completo en inspiración y con cortes finos, por debajo del milímetro (Calzado y Geleigns, 2010).

3.1.7. Calidad de la imagen

Es evidente que la calidad y la resolución de imagen que se obtienen son superiores en tomografía computarizada, si la comparamos con la radiografía convencional. La TC aporta la característica de ser capaz de aportar una excelente resolución en bajo contraste, es decir, estructuras anatómicas que aportan pocas diferencias en la señal entre ellas.

Cuando existe ruido, la TC posibilita aumentar la corriente del tubo, expresado en mA, o el aumento el grosor del corte. En otras palabras, permite la posibilidad de modificar los valores de una misma imagen ya obtenida para favorecer la visualización de las estructuras, de manera que si aumenta el ruido la calidad de las imágenes de bajo contraste empeora (Kalender, 2005, Buzung, 2008, Hsieh, 2009))

3.2. Tomografía computarizada en medicina veterinaria

La incorporación de la tomografía computarizada en la medicina veterinaria ha marcado un antes y un después, convirtiéndose en una de las técnicas de diagnóstico por imagen avanzado de elección (Villamizar y otros, 2010), con resultados superiores a la radiografía convencional (Rivera y otros, 2006).

3.2.1. Ventajas e inconvenientes

Es evidente que la TC aporta muchísimas ventajas en relación a otras técnicas en medicina humana, aumentando la precisión, rapidez y calidad de las imágenes, algo totalmente extrapolable a la medicina veterinaria. Si comparamos con la radiografía convencional, el hecho de evitar la superposición anatómica ya implica un gran avance (Stickel y Hathcock, 1993). Los equipos de TC actuales permiten evaluar los tejidos con gran precisión y gracias a la posibilidad de la utilización de diferentes ventanas, es posible adaptar las imágenes para revelar diferentes patologías con más exactitud, además de aportar reconstrucciones tridimensionales (Kafka y otros, 2004).

Siendo además un método no invasivo, que no requiere grandes tiempos de espera y suponiendo una técnica de realización rápida, es probablemente una de las mejores herramientas actuales para la detección de diferentes patologías en las distintas regiones de los pacientes objeto de estudio. Del mismo modo, la posibilidad de usar medios de contraste aumenta la calidad y la cantidad de información adquirida, aumentando por tanto la precisión anatómica (Cavalcanti y otros, 2004).

Otra de las ventajas es que, debido a su precisión, es posible detectar neoplasias en estadios iniciales, antes de que los cambios anatómicos sean evidentes con otras técnicas (Amy y Gregory, 2007). Si a esto se suma la posibilidad de llevar a cabo reconstrucciones tridimensionales, resulta una de las técnicas de elección para el desarrollo actual de la medicina clínica y de la investigación en veterinaria.

Las principales desventajas en medicina veterinaria son el acceso limitado a estas técnicas, ya que se requieren unas instalaciones determinadas para la instalación del equipo de manera segura, una inversión económica tanto en el sistema de TC como en la adecuación del espacio, y personal formado tanto para el manejo de equipo como para la interpretación de las imágenes resultantes.

Con respecto a los medios de contraste y sus posibles desventajas, existen reacciones adversas asociadas al uso de los mismos. (Kafka y otros, 2004). Entre ellas, algunas menos leves como vómitos o náuseas,

y otras de carácter más grave tales como shock, broncoespasmo, edema de laringe, convulsiones, arritmias cardíacas o edema de pulmón, pudiendo ser responsables de la muerte de los pacientes (Donald, 2003).

Por otro lado, en muchas ocasiones se evidencian otros dos factores limitantes: las **posibilidades económicas** y la **anestesia de los pacientes**. Es una prueba que aun habiendo evolucionado y siendo cada vez más accesible para los propietarios, sigue teniendo un costo superior al de otras técnicas de diagnóstico por imagen como los ultrasonidos o las radiografías convencionales. Con respecto a la anestesia, muchos pacientes son malos candidatos para el procedimiento, teniendo que enfrentar los beneficios diagnósticos contra los riesgos, aun siendo un procedimiento corto en el tiempo.

3.2.2. Aplicaciones clínicas

Como se ha ido describiendo, la TC es una de las técnicas de diagnóstico por imagen más avanzadas y completas, siendo usada frecuentemente tanto para investigación como para el abordaje del diagnóstico clínico en medicina veterinaria, para la evaluación de cavidad nasal, senos paranasales, neo formaciones músculo esqueléticas, fracturas craneanas, degeneración del disco intervertebral, neoplasias de pulmón y cerebro (Villamizar et al, 2010).

A continuación, se exponen algunas de las indicaciones en función de los órganos o regiones de estudio:

- **Cráneo:** accidentes cerebrovasculares, neoplasias, enfermedades inflamatorias /infecciosas, hemorragias, edemas, hidrocefalias, tumores.
- **Columna vertebral:** hernias discales, neoplasias, osteomielitis, discoespondilitis, espondilosis, estenosis lumbosacra.
- **Cavidad nasal:** tumores, abscesos, rinitis.
- **Oído:** patologías del conducto auditivo externo como tumores, estenosis, calcificaciones, otitis media, valoración de las bullas timpánicas.

- **Extremidades:** displasia, fisuras, remodelaciones óseas, reabsorciones óseas, fracturas, tumores.
- **Tórax:** masas mediastínicas, masas costales, masas pulmonares, torsiones pulmonares, lesiones pleurales, masas cardiacas, arcos aórticos persistentes, metástasis, quistes, abscesos.
- **Abdomen:** masas primarias o metastásicas, hematomas, abscesos, alteraciones vasculares, defectos congénitos.

Cráneo y cerebro

Para muchos clínicos resulta frustrante la evaluación de las estructuras del cráneo en radiografía, debido a la complejidad interpretativa por la superposición de las estructuras, característica en esta técnica. La TC es la modalidad de imagen de elección para la evaluación precisa del cráneo. Abarca la evaluación de los posibles traumatismos craneales y la valoración de su gravedad, las posibles neoplasias de la cavidad nasal, las patologías del oído y la articulación temporomandibular. Aunque la TC se usa para la evaluación del cerebro, cabe destacar que para la detección de algunas neoplasias y para los accidentes vasculares, la resonancia presenta ventajas en cuanto a la precisión de las imágenes obtenidas de las estructuras del parénquima cerebrales y cerebelares, obteniendo imágenes de mayor precisión y aportando una evolución más detallada. siendo la TC válida para enfermedades o cambios de carácter masivo.

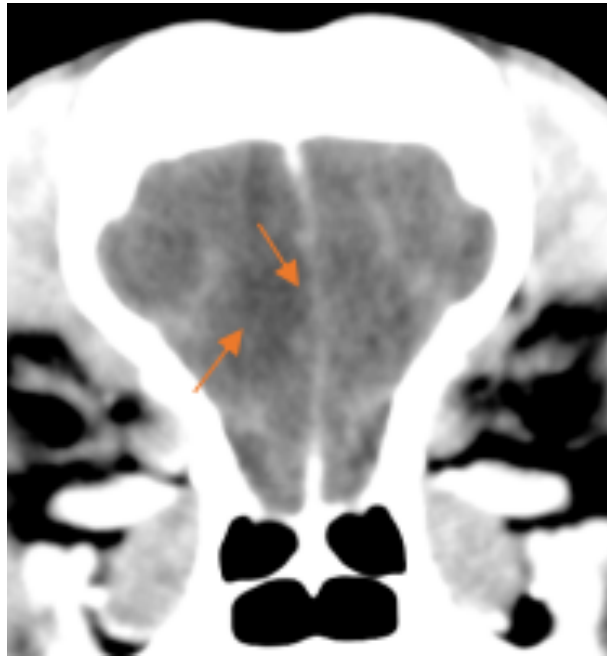


Figura 9. Imagen cedida por el Hospital Veterinario de la ULPGC. Proceso neoplásico intraaxial, posible glioma.

Columna vertebral

Si nos referimos a las lesiones o patologías que implican a las vértebras, lesiones intradurales y extradurales, la TC es una buena opción. En este caso, para evaluar las patologías medulares vuelve a ser superior el uso de resonancia magnética.

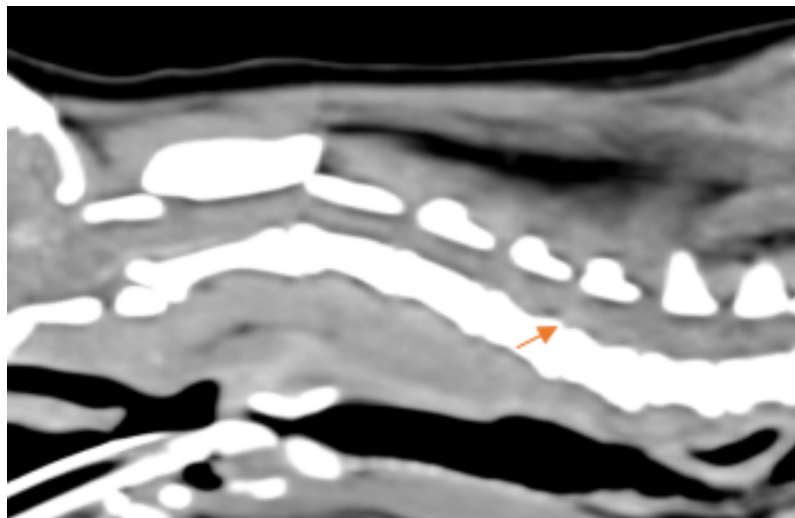


Figura 10. Imagen cedida por el el Hospital Veterinario de la ULPGC. Moderada compresión medular extradural ventral a nivel del espacio intervertebral C5- C6. Protrusión discal (Enfermedad discal Hansen tipo II).

Sistema musculoesquelético

La tomografía computarizada proporciona un detalle exquisito del aparato óseo, siendo una opción ganadora en la evaluación de los trastornos esqueléticos. A pesar del valor diagnóstico de las radiografías para la traumatología, hay muchas patologías en las que demuestra una sensibilidad baja (Farfallini, 2003).

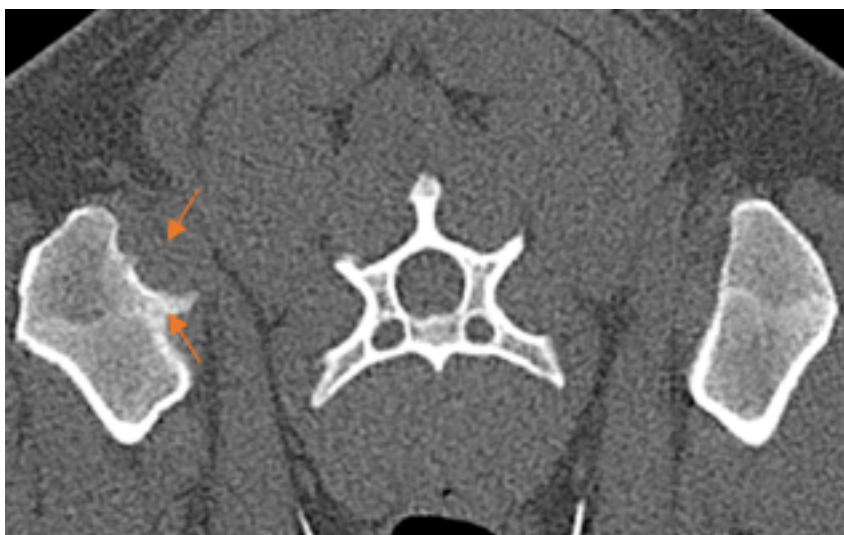


Figura 11. Imagen cedida por el Hospital Veterinario de la ULPGC. Remodelación del surco intertubercular derecho con engrosamiento del tendón del bíceps braquial ipsilateral

Tórax

A la hora de evaluar el tórax de un paciente, la TC es la técnica de elección. Al permitir una detección muy superior que la radiografía, nos permite el diagnóstico de pequeños nódulos, las masas pulmonares se pueden localizar con mucha precisión y por tanto, ayudar a la planificación quirúrgica si el paciente lo requiere. La precisión es tal, que nos permite conocer el origen, diferenciando entre aquellas que sean esofágicas, pleurales o pulmonares. Además, las torsiones de lóbulos pulmonares, muy complicadas de evaluar en radiografía convencional, son susceptibles al diagnóstico por TC por la identificación de la orientación anormal de los bronquios.

Los vasos sanguíneos se pueden visualizar con mayor precisión con el uso de contraste (Rial Cels, 2007). Del mismo modo, la evaluación del mediastino adquiere mucha calidad y precisión en TC, siendo posible

la detección de masas mediastínicas craneales, evaluación de los ganglios linfáticos y de las patologías del esófago craneal.

Para que las imágenes sean más precisas, se debe controlar el movimiento respiratorio, siendo indicadas las imágenes en inspiración para prevenir atelectasias que puedan confundir con imágenes patológicas. Teniendo en cuenta que el paciente se mantendrá anestesiado y en decúbito esternal. En el caso de una TC helicoidal y en pacientes de tamaño pequeño (3-4 kilos), se puede obtener el estudio del tórax completo en una sola respiración.

Si se diera el caso y el estado del paciente fuera crítico y no estuviera sedado, las imágenes podrían verse ligeramente comprometidas por el movimiento respiratorio.

Abdomen

Todos los órganos abdominales pueden evaluarse con TC. Es cierto que la ecografía ha proporcionado un gran avance en la obtención de imágenes abdominales, pero esto no quita para que la TC sea un procedimiento más preciso y de gran valor. Si buscamos detectar el origen de las lesiones masivas, es la técnica de elección. Nos permite tener un campo de visión más amplio que en el caso de los ultrasonidos. Además, por su precisión en las imágenes y la evolución en el grosor de los cortes, nos permite detectar enfermedades metastásicas no perceptibles en ecografía, especialmente si hacemos la prueba con contraste yodado. Del mismo modo, las derivaciones portocavas, la invasión vascular de trombos, y las patologías suprarrenales se ven beneficiadas con esta técnica. El páncreas es otro órgano que ha demostrado más sensibilidad a la imagen con TC. Con respecto al urinario, nos aporta la posibilidad de detectar los uréteres ectópicos, y una evaluación más precisa del estado del parénquima renal. En el caso del hígado, resulta de gran utilidad para confirmar o descartar procesos patológicos (Frank, 2003), al igual que permite diagnosticar patologías vasculares, como es el caso de los shunt, facilitando su enfoque médico quirúrgico a través de las reconstrucciones tridimensionales (Rial, 2007).

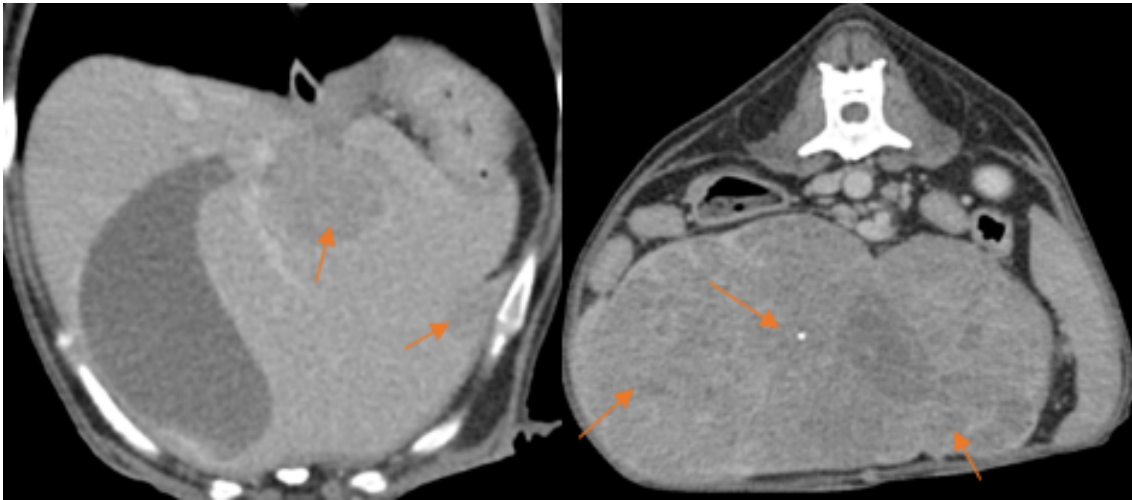


Figura 12. Imagen cedida por el Hospital Veterinario de la ULPGC. Múltiples masas hepáticas.

3.3. Diagnóstico por imagen en reptiles

En los últimos años se ha incrementado el número de referencias en anatomía, fisiología y patología (O'Mallye, 2005, Mader, 2005, Jacobson 2007) de reptiles. La necesidad de contar con veterinarios especializados en la salud de estos animales ha favorecido el desarrollo de esta rama de la medicina veterinaria. Una de las herramientas más empleadas para el diagnóstico y pronóstico de las enfermedades que afectan a los reptiles son las técnicas de diagnóstico por imagen. Podemos decir que tanto la radiografía como la ecografía forman parte del día a día de los veterinarios que trabajan en este campo. Sin embargo, no es así con técnicas más avanzadas como la tomografía computarizada o la resonancia magnética, donde existe escasa información, ya que los estudios se centran principalmente en radiografía y ecografía.

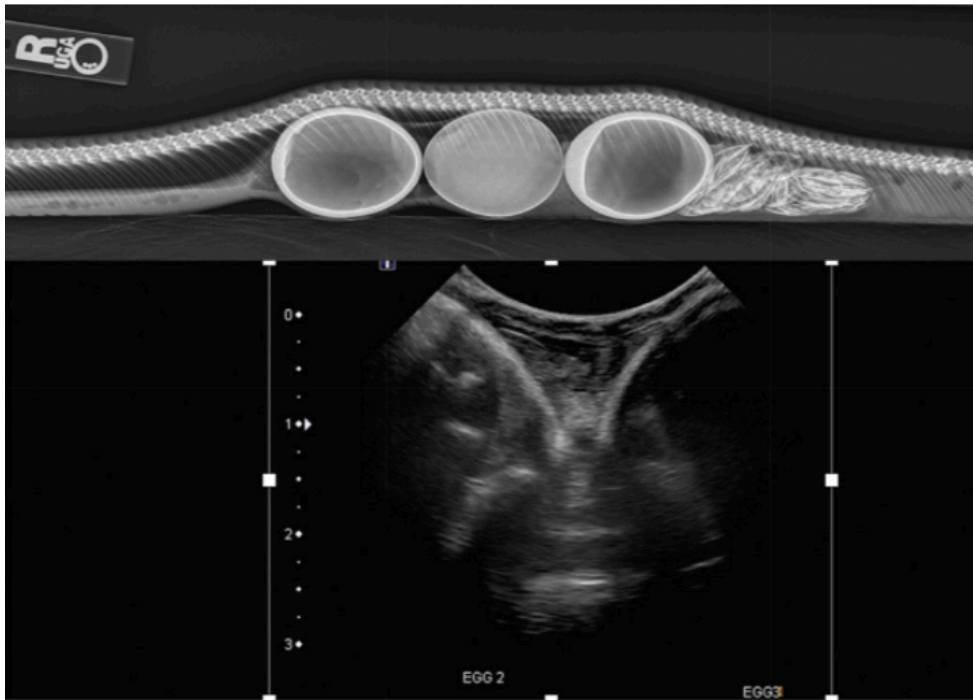


Figura 13. Huevos de serpiente del maíz. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition.

Es evidente que la TC aporta muchísimas ventajas en relación a otras técnicas en medicina humana, aportando precisión, rapidez y calidad de las imágenes y es algo totalmente extrapolable a la medicina veterinaria. Si comparamos con la radiografía convencional, el hecho de evitar la superposición anatómica ya supone un gran avance (Stickle y Hathcock, 1993). Los equipos de TC actuales permiten evaluar los tejidos con gran precisión y gracias a la posibilidad de la utilización de diferentes ventanas, podemos adaptar las imágenes para revelar diferentes patologías con más exactitud. Si a esto se suma la posibilidad de llevar a cabo reconstrucciones tridimensionales, estaríamos ante una de las técnicas de elección para el desarrollo actual de la medicina clínica y de la investigación en veterinaria.

De esta manera, Las aplicaciones más frecuentes de esta técnica son para el diagnóstico del sistema esquelético (Mitchell 2002, Zotti y otros 2014, Mader 2005b, Silverman 2005, Klaphake 2010), el sistema cardiorrespiratorio (Snyder y otros 1999, Schumacher 2003, Silverman 2005, Schillinger y otros 2006, Pees 2010a), el sistema gastrointestinal (Mitchell y Diaz Figueroa, Funk 2005, Silverman 2005) y el urogenital

(Canny 1998, Hernandez-Divers y Innis 2005). Del mismo modo, muchos criadores y centros de reproducción han usado esta técnica como herramienta para controlar el periodo reproductivo de estos animales (Silverman 2005, Gnudi y otros 2009).

3.3.1. Radiografía

La técnica radiológica ha sido muy utilizada en serpientes como en lagartos en la clínica habitual (Silverman 2005, Pees 2010). Gracias a la simplicidad de la radiografía podemos evaluar el sistema esquelético y la cabeza de numerosas especies como la iguana verde, el dragón barbudo o el tegu (Banzato y otros 2012), la boa constrictor (Pees 2010, Banzato y otros 2011) o el gecko leopardo (Pees 2010).



Figura 14. Radiografía de una serpiente del maíz (*Pantherophis guttatus*). Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition

Uno de los usos de la radiografía es, sin duda, el diagnóstico de fracturas (Mitchell 2002, Williams 2002, Silverman 2005, Pees 2010). Otra patología diagnosticada habitualmente gracias a la radiología es la

osteomielitis, cuya imagen se describe como una reacción perióstica aberrante con lisis ósea. En el caso de los lagartos suele ser más evidente la lisis que afecta a las extremidades y a la cabeza (Silverman 2005, Pees 2010).

Con respecto a las enfermedades metabólicas óseas, éstas son de alta incidencia en lagartos, donde además de la pérdida de tejido óseo, encontramos mandíbulas y extremidades deformes, así como inflamación de los tejidos blandos anexos (Zotti y otros 2004, Mader 2005, Silverman 2005, Klaphake 2010, Pees 2010).

Otra de las patologías que podemos diagnosticar con esta técnica es la enfermedad de Paget u osteítis deformante, descritas en serpientes boid como proliferaciones óseas irregulares y ligeramente delineadas que rodean a los cuerpos vertebrales, y que no se deben confundir con la ya mencionada osteomielitis o con neoplasias vertebrales (Preziosi y otros 2007). En el caso de las neoplasias de tejido óseo, se definen como masas con aspecto de lisis y neoformación (Schonbauer y otro 1982, Hernandez – Divers y Garner 2003, Garner y otros 2004, Gal y otros 2007, Cowan y otros 2011).

Una manifestación común a muchas patologías en lagartos y serpientes es la desviación de la columna vertebral. Este proceso puede estar presente en traumatismos, osteomielitis bacteriana, infecciones virales, deficiencias en la dieta, tumores, enfermedad ósea metabólica, reacciones inmunológicas y malformaciones congénitas (Fitzgerald y Vera 2005).

Una de las limitaciones de la radiografía convencional es la falta de contraste en la cavidad celómica, la cual imposibilita la diferenciación de los distintos órganos (Silverman 2005). De este modo, solo se puede diferenciar la tráquea, esófago (en el caso de los lagartos), corazón, hígado, pulmones y el tracto gastrointestinal, siempre y cuando haya gas en intestinos o la ingesta se haya realizado recientemente (Silverman 2005, Pees 2010).

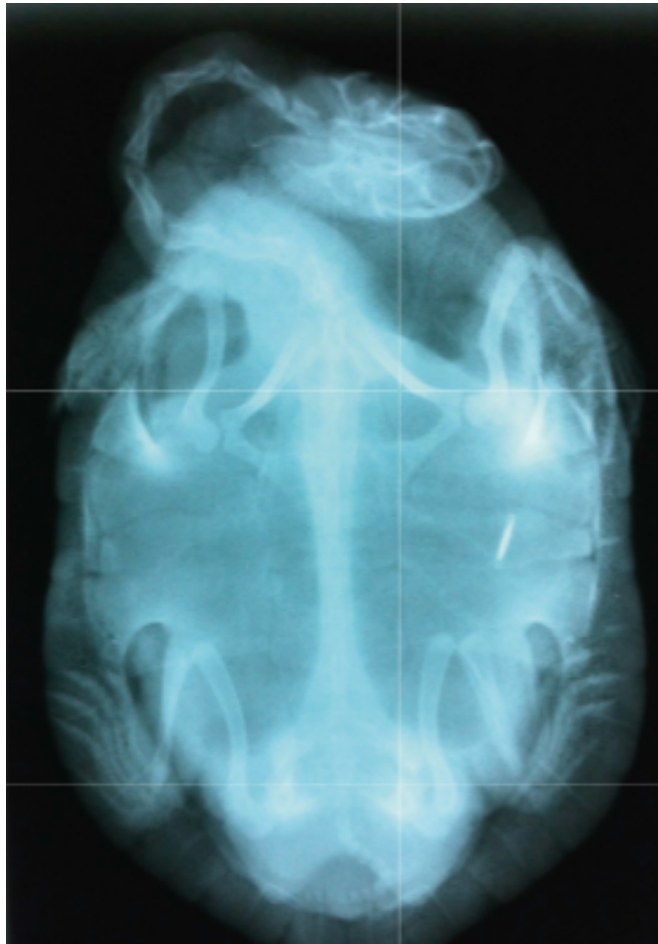


Figura 15. Radiografía dorsoventral de *Chelodina longicollis*. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition.

En lo que refiere al corazón y los pulmones, son habitualmente visibles tanto en lagartos como en serpientes. Cabe destacar que debido a las diferencias morfofisiológicas entre los mamíferos y los reptiles, no son aplicables los patrones de clasificación pulmonar habituales en medicina veterinaria (Silverman 2005). Por lo tanto, la radiología convencional es una técnica limitada que permite apreciar los signos de enfermedad cuando la patología está avanzada (Schumacher 2003). Cabe destacar que, si existe sospecha clínica de neumonía, no será evaluable por radiografía como sí ocurre en otros animales dentro de la medicina veterinaria, serán la historia clínica, los resultados analíticos (hemograma), y un lavado broncoalveolar los que definirán si se está ante dicha enfermedad (Murray 2005).



Figura 16. Radiografía lateral de *Pogona vitticeps*. Se aprecia la tráquea (1), el corazón (2), y pulmones (3). Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition

Una de las patologías que sí son evidentes en radiografía convencional es la impactación gastrointestinal. Ésta se define como una acumulación anormal de alimento o los sustratos de los terrarios, la cual se manifiesta con distensión del aparato digestivo en la imagen con acúmulo de gas. Silverman (2005), propuso usar medios de contraste para detectar las oclusiones intestinales producidas por cuerpos extraños, sin embargo, hay pocos estudios al respecto que relacionen los tiempos de digestión de las distintas especies. Hemos de tener en cuenta que los tiempos de vaciado gastrointestinal dependen de muchos factores, como la temperatura, el tipo de alimento, la estación del año, y el medio de contraste utilizado (Schumacher y Toal 2001, Silverman 2005).

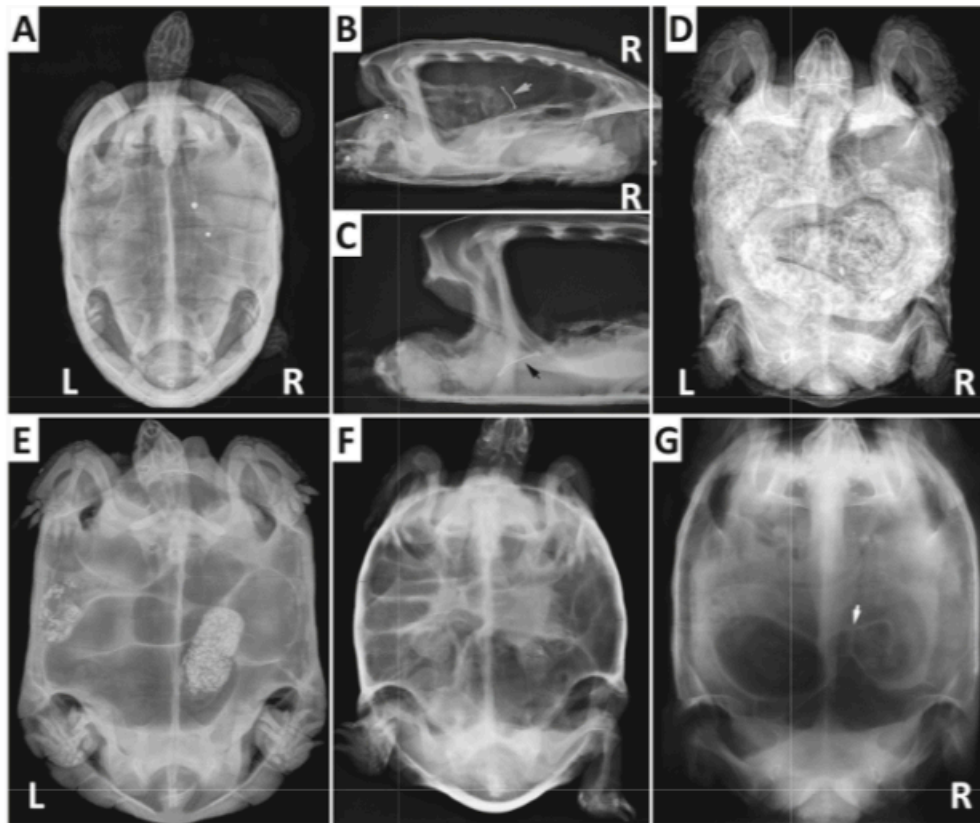


Figura 17. Radiografía dorsoventral de una tortuga que ingirió objetos metálicos (A). No parece probable que estén en el estómago (B y C). Radiografías laterales derechas de una tortuga mordedora que ha ingerido un anzuelo (flechas) (C), se confirma la ubicación en el esófago. Radiografía dorsoventral de una tortuga del desierto, con estreñimiento severo(D). Radiografía dorsoventral de una tortuga del desierto con un área focal de estreñimiento (E). Distensión gaseosa preocupante, puede indicar obstrucción (F). Radiografía dorsoventral de tortuga del desierto con un pequeño cuerpo extraño. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition

En el caso de los riñones de las serpientes, éstos no son evaluables normalmente en radiología (Canny 1998, Silverman 2005, Pees y Rautwald – Junghans 2010). En el caso de los lagartos, los riñones se localizan parcial o totalmente en el canal pélvico, lo cual dificulta su visualización en radiografía. Si existe una patología que genere agrandamiento de los mismos, éstos pueden sobresalir y localizarse en la porción más caudal de la cavidad celómica, donde se apreciará una masa de tejido blando (O'Malley 2005). Clínicamente suelen ir asociado a estreñimiento o distocias por la presión que ejercen sobre la cloaca (Selleri y Hernandez – Divers 2006). Los urolitos vesicales, son

relativamente comunes en el caso de los lagartos y visibles mediante radiología convencional (Silverman 2005).

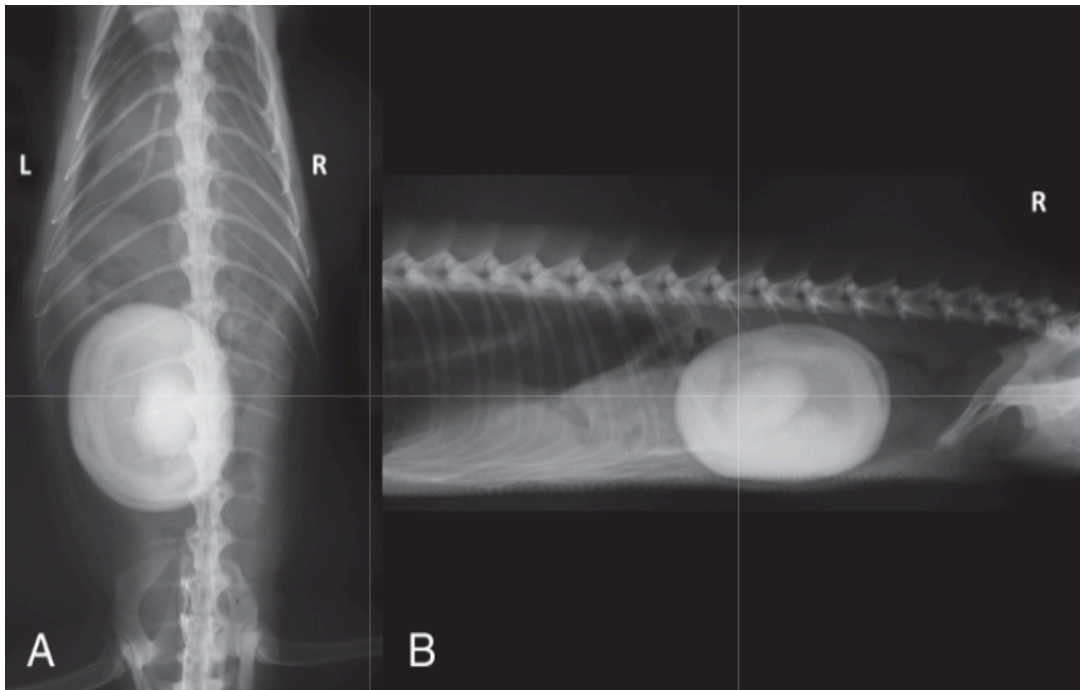


Figura 18. Radiografía dorsoventral (A) y lateral (B), de iguana verde macho adulta, con un gran cálculo urinario. Se aprecian anillos concéntricos de depósito. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition.

La cloaca es muy complicada de evaluar radiológicamente, por esta razón las masas localizadas en el interior de su luz son casi siempre indetectables. A pesar de ello, se ha propuesto el examen de doble contraste retrógrado como técnica para detectar neoplasias de la cloaca (Silverman 2005).

La gestación sí es evaluable en la mayoría de los reptiles (Stahls 2002, Funk 2002, Silverman 2005). La radiopacidad de las cáscaras de los huevos se puede detectar en la cavidad celómica de serpientes y lagartos (Silverman 2005).

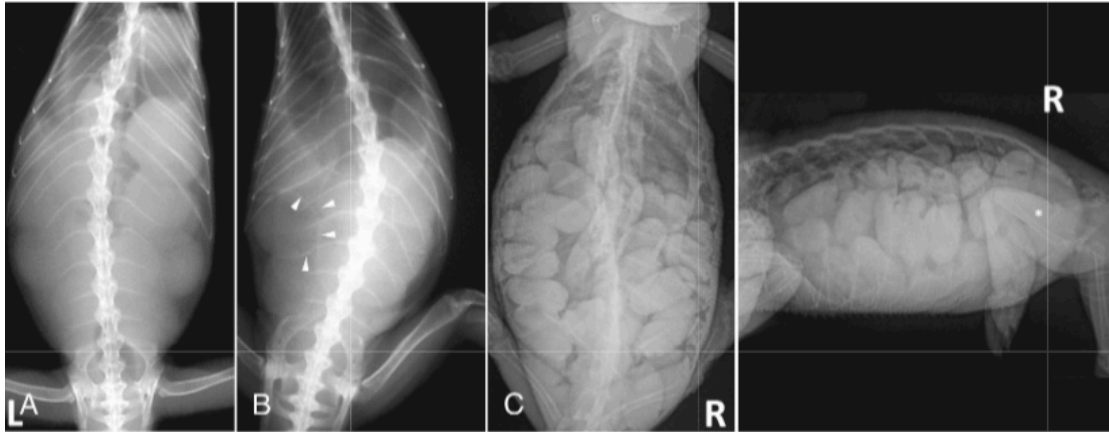


Figura 19. Radiografía dorsoventral de una iguana verde con múltiples densidades esféricas de tejido blando compatible con folículos preovulatorios (A). Radiografía dorsoventral y lateral de iguana verde con presencia de óvulos posovulatorios (B). Radiografía lateral derecha dorsoventral de un camaleón grávido (C y D). Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition.

3.3.2. Ecografía

Esta técnica no genera una gran dificultad en reptiles, pero sí que es muy dependiente de la calidad de los equipos, siendo necesaria equipos de muy buena resolución (Silverman 2005, Pees 2010).

Hay que tener en cuenta que las escamas de la piel de estos animales, pueden provocar artefactos en la imagen, si el gel de acoplamiento no es capaz de entrar bien en los espacios que éstas provocan. Para limitar este efecto, Pees (2010) propone someter a estos animales a baños tibios antes de la prueba para que las escamas reduzcan su firmeza y el gel se acople con facilidad, además de usar una cantidad generosa de gel. Otros autores como Silverman (2005), propone sumergir a los animales de escamas más gruesas directamente en agua tibia para aumentar la calidad de las imágenes.



Figura 20. Realización de ecografía en una pogona. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition.

La ecografía supone la técnica de elección en las patologías oftálmicas en lagartos y serpientes (Hoffman 2010). Las características ecográficas normales del ojo de la culebra de California, la serpiente de maíz y la pitón bola han sido definidas en distintos estudios (Hollingsworth y otros 2007, Hoffman 2010). Del mismo modo, la imagen ecográfica de abscesos del espacio retrobulbar, las neoplasias y las cataratas también han sido descritas en algunos trabajos (Hoffman 2010).

Para la función cardíaca también es la técnica de elección (Silverman 2005), a pesar de que no existan patologías cardíacas habituales. Hasta donde sabemos no hay una descripción detallada de los hallazgos ecocardiográficos y la evolución de la enfermedad cardíaca en lagartos.

La ecografía es considerada una técnica con alta sensibilidad para el estudio de la cavidad celómica de reptiles. Hasta el momento se han realizado diferentes estudios sobre la cavidad celómica de la iguana

verde (Holland y otros 2008), el *Varanus exanematicus* (Sainsbury y Gili 1991), la *boa constrictor* (Banzato y otros 2013), y la pitón bola (Banzato y otro 2012).

Es importante destacar que existen órganos concretos de la cavidad celómica que en algunas especies pueden ser muy difíciles de detectar, así tenemos el caso del bazo en las serpientes, y el intestino delgado en las iguanas verdes debido a su pequeño tamaño (Sainsbury y Gili 1991, Holland y otros 2008, Banzato y otros 2012).

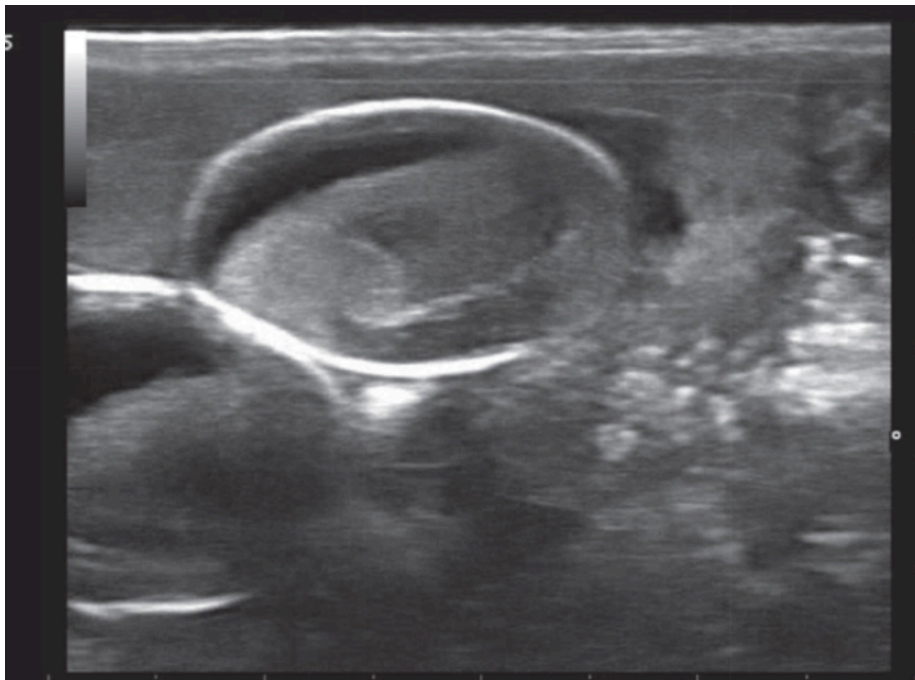


Figura 21. Plano sagital de un huevo de dragón barbudo, se observa la cáscara y la albúmina. Cortesía de Mader's Reptile and Amphibian, Medicine and Surgery. Third edition

La lipidosis y necrosis hepáticas, además de los abscesos, son evaluables con ecografía (Pees y Kotstka 2010), así como muchos tipos de neoplasias (Mitchell y Diaz- Figueroa 2005, Pees y Kotstka 2010). También se ha descrito la punción hepática ecoguiada con el fin de tomar muestras en serpientes (Isaza y otros 1993, Pees 2010).

Con respecto al intestino, son bien conocidas las variaciones fisiológicas normales que podemos encontrar en un examen ecográfico relacionadas con el tiempo de alimentación en las serpientes (Starck y Wimmer 2005, Banzato y otros 2012). Pees (2010) propone preparar a

los pacientes antes de las pruebas, administrando agua vía oral para tener una mejor visualización de las asas intestinales gracias a la distensión que provoca su ingesta.

Entre los diferentes procesos intestinales destaca el diagnóstico del íleo mecánico, presente en aquellos pacientes a los que no se les ha suministrado comida en un tiempo, donde se observa asas intestinales inmóviles y dilatadas, (Silverman 2005). Las neoplasias y los abscesos pueden provocar obstrucciones intestinales en estos animales debido a masas intraluminales como extraluminales. Si el paciente es un lagarto herbívoro, el diagnóstico se complica por la presencia constante de gas en la luz del intestino (Holland y otros 2018).

Para visualizar los riñones de las serpientes, presentes en la cavidad pélvica, se necesita una buena ventana acústica y una correcta dirección de la sonda hacia la pared dorsal de la raíz de la cola (Pees 2010). En el caso de los lagartos, la localización renal es variable (Fox 1977). Si se sospecha de enfermedad renal es importante evaluar su ecogenicidad, el tamaño de los riñones y el diámetro de los uréteres. Con respecto al acúmulo de cristales de urato, será posible apreciarlo por un cambio en la ecogenicidad renal, que aumentará de forma difusa o localizada (Pees 2010).

Los urolitos vesicales son comunes en lagartos, y son visibles en distintas técnicas (ecografía, radiografía y tomografía computarizada). Otra de las funciones de la ecografía es el sexaje de reptiles (Morris y Alberts 1996, Gnudi y otros 2009), el control sobre el estado reproductivo y la gestación (Martinez Torres y otros 2006, Gilman y Wolf 2007, Stahlschmidt y otros 2011).

3.3.3. Tomografía computarizada (TC)

El diagnóstico por imagen avanzado es una de las herramientas que de manera rutinaria empieza a emplearse en centros de todo el mundo en la medicina veterinaria de reptiles (Schumacher, 2010). Su aplicación en la evaluación funcional y morfológica de los pacientes ha

posicionado a la TC como imprescindible para la realización de una medicina veterinaria de calidad (Mader, 2019). Sin embargo, la realidad de la mayoría de centros veterinarios a día de hoy es que no tienen acceso a este tipo de tecnología por el coste de instalación de la misma.

La TC es una de las técnicas de diagnóstico por imagen más avanzadas y completas, usada frecuentemente tanto para investigación como para el abordaje del diagnóstico clínico en medicina veterinaria ya que aporta la posibilidad de evaluar tanto la morfología como la funcionalidad de los distintos sistemas orgánicos. Suele necesitar sedación para obtener las imágenes, a no ser que se trate de animales en malas condiciones con un estado general muy deprimido. Actualmente, existen protocolos anestésicos muy utilizados en la medicina veterinaria de reptiles ya disponibles (Schumacher y Yelen 2005, Bertelsen 2007). Sin embargo, el acceso intravascular y la correcta colocación de cánulas de algunos pacientes puede volverse complicado, provocando extravasación del medio de contraste, bradicardia, hipotensión o bien, desincronía entre la administración de los medios de contraste y el inicio de las imágenes de tomografía computarizada (Mader, 2019)

En reptiles, se ha abierto un amplio campo lleno de aplicaciones tanto clínicas como investigadoras ya que se trata de animales que suelen suponer un desafío por su manejo y complejidad morfológica, y porque se puede considerar que forman parte de la rutina de la medicina veterinaria desde hace relativamente poco tiempo, si lo comparamos con especies que acompañan a la profesión desde sus orígenes.

Para realizar TC en reptiles, no solo se depende del tamaño de los pacientes sino también del tipo de escáner. Si se trata de pacientes de tamaño muy grande o muy pequeño, es posible que haya que limitar el estudio, seleccionando bien las regiones de las que se espera obtener información. Esto supone que muchas veces se debe detectar el área a estudiar de manera previa con otras técnicas, para después realizar el estudio de forma más precisa con tomografía computarizada (Kiefer y Pees 2010). En animales pequeños, resulta fundamental la colocación y

orientación del paciente, debido a que, en ocasiones, la calidad de las imágenes no es la esperada. La colocación laterolateral del animal puede proporcionar imágenes de mejor calidad (Kiefer y Pees 2010, Banzato y otros 2011). Los equipos de tomografía computarizada modernos, permiten el escaneo rápido de animales grandes e imágenes de buena calidad, al mismo tiempo que reconstrucciones tridimensionales. Por este motivo, se necesita adaptar los algoritmos de reconstrucción, teniendo en cuenta que los cortes suelen ser de 1 o 2 mm para las especies más pequeñas (Wyneken 2005, Kiefer y Pees 2010). Así, esta técnica es común para el estudio de diversas regiones como:

Sistema esquelético

Los reptiles de pequeño tamaño presentan una mineralización inferior en el sistema esquelético que los mamíferos de tamaño equivalente (Zotti y otros 2004), por lo que los parámetros usados para realizar los estudios de TC deben ajustarse en estos casos. Como ocurre con otros animales, la TC es considerada una técnica adecuada para el estudio e identificación de enfermedades esqueléticas como las fracturas (Rahal y otros 2011), infecciones óseas y articulares, y luxaciones (Pees 2010). Del mismo modo, y gracias a que la densidad del tejido óseo es evaluable en tomografía computarizada mediante unidades de Hounsfield, se puede valorar la respuesta al tratamiento en la enfermedad ósea metabólica de los reptiles (Silverman 2005, Pees 2010). Además, existen estudios que evalúan las características normales de la cabeza con y sin contraste, en la boa constrictor, la iguana verde, el tegu común y el dragón barbudo (Banzato y otros 2012).

Cavidad celómica

En el caso de las estructuras blandas, éstas se manifiestan con menor definición mediante TC. El uso de contraste intravenoso mejora significativamente su visualización, pudiendo aportar información de las estructuras presentes en la cavidad celómica. Sin embargo, hasta la fecha no existen protocolos en reptiles que estandaricen la cantidad ni la velocidad de infusión del contraste.

Sistema respiratorio

La anatomía normal de los pulmones de algunas especies de serpiente está definida por tomografía computarizada (Pees y otros 2008). Hay estudios que han revelado que gracias a la TC puede realizarse de manera más temprana el diagnóstico de enfermedades pulmonares como la neumonía bacteriana, demostrando una mayor sensibilidad en serpientes comparado con la radiografía (Pees y otros 2007, 2008, Banzato y otros, 2013) ya que los cambios radiológicos ocurren cuando la enfermedad está muy avanzada (Murray 2005).

4. Material y métodos

4.1. Animales empleados

Los animales estudiados en este trabajo fueron, dos ejemplares de dragón de Komodo, una iguana verde y una tortuga boba.

Los dragones de Komodo (*Varanus komodoensis*), dos hembras de diecisiete años nacidas en cautividad en el Parque Reptilandia, en Gran Canaria, España. Una de ellas con una longitud de 225 centímetros del hocico al respiradero, con un peso de treinta y seis kilogramos. La segunda, con una longitud de 190 centímetros y un peso de 24 kilogramos. En ningún caso se observaron anomalías en el examen físico.



Figura 22. Hembra de *Varanus komodoensis*, momentos previos al estudio por tomografía computarizada

El ejemplar de Iguana Verde (*Iguana iguana*), un macho con una longitud de 198 centímetros y siete kilogramos de peso, paciente del Hospital Clínico Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. No se detectaron hallazgos patológicos en el examen físico antes del estudio.

El ejemplar de tortuga boba hembra (*Caretta caretta*), con una longitud de 92 centímetros y 132 kilogramos, fue remitida al Departamento de Diagnóstico por Imagen en el Hospital Clínico Veterinario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria para

realizar estudios de tomografía computarizada. Este animal tampoco presento signos clínicos compatibles con ningún proceso patológico en el momento de la exploración.

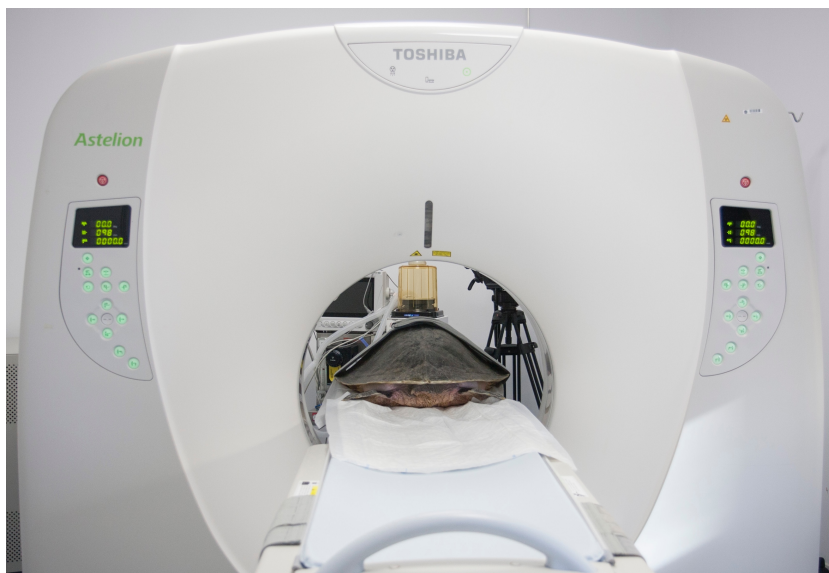


Figura 23. Ejemplar de tortuga boba, sobre la camilla del equipo Toshiba Astelion, durante el estudio realizado.

Los propietarios de los animales fueron informados del estudio y firmaron el consentimiento para la participación en el mismo.

4.2. Estudio mediante tomografía computarizada

El escáner utilizado durante el estudio fue un Toshiba Astelion (Toshiba Medical System, Madrid, España), helicoidal y de 16 cortes, con el que se obtuvieron cortes secuenciales.

Los animales se colocaron simétricamente en decúbito ventral en la camilla del TC, con un protocolo clínico estándar (120 kVp, 8 mA, 512 X 512 matriz de adquisición, 1809 x 858 campo de visión, un paso en espiral factor de 0,94, y una rotación de pórtico de 1,5 s). Los datos fueron almacenados y transferidos a la estación de trabajo de TC.

Durante el estudio, no fueron detectados ni cambios de densidad ni variaciones anatómicas en la cabeza de los animales fuente de estudio.

En la técnica de la tomografía computarizada, la densidad de los tejidos puede ser evaluada utilizando la escala de unidades de Hounsfield. El rango de valores cuenta con dos mil tonos de gris (entre -1000 y + 1000 HU). Sin embargo, el ojo humano no puede distinguir más de 30 tonos. Representar todo el rango de valores en una imagen, implica no poder visualizar gran cantidad de información. Por lo tanto, solo un sector de los valores previamente seleccionados por el operador conocido como selección de ventana, es el que se visualiza en la imagen, materializado en la escala de grises. Los datos originales se utilizaron para obtener imágenes reconstruidas de la cabeza, después de la edición manual de las imágenes transversales de TC, para eliminar tejidos blandos.

Para ello, se utilizó un formato estándar Dicom 3D (Osirix MD, Ginebra, Suiza). Además, se obtuvieron imágenes de proyección de máxima intensidad (MIP) para mostrar de manera más eficiente los contornos de los huesos y otras estructuras de menor atenuación utilizando un visor de imágenes (Osirix MD, Apple, EEUU). MIP es un tipo específico de renderizado en el que el vóxel más brillante se proyecta en la imagen 3D. Tiende a haber mucha menos variabilidad en la reconstrucción de imágenes MIP que en el renderizado de volumen, ya que e incluyen menos parámetros en el algoritmo MIP (Fishman y otros, 2006).

4.2.1. Imágenes transversales

El uso de ventanas permite extraer información que tiene el ordenador, mostrando sólo las partes de mayor interés en función de la región anatómica foco de estudio. Por lo tanto, podemos aplicar la ventana ósea, la ventana de tejido blando, la ventana cerebral y la pulmonar, obteniendo diferente información. En este caso con un grosor de corte de 1 mm, , ajustando los anchos de ventana (WW) y los niveles de ventana (WL) se aplicaron: una configuración de ventana de hueso (WW= 1500; WL= 300), y una configuración de tejido blando (WW= 350; WL=40).

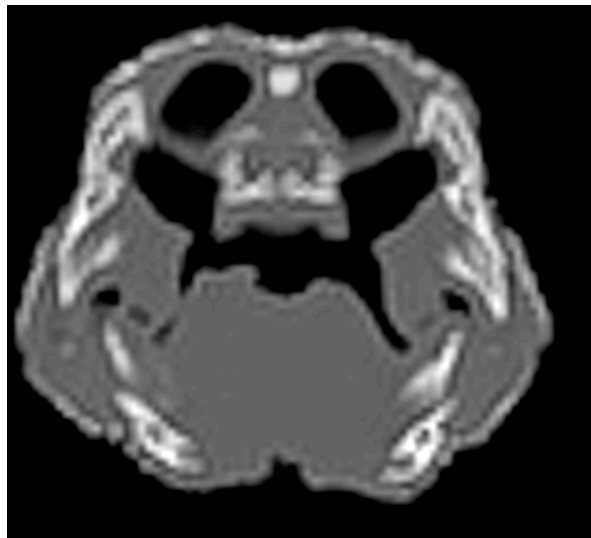


Figura 24. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel de la cavidad nasal. Ventana ósea.

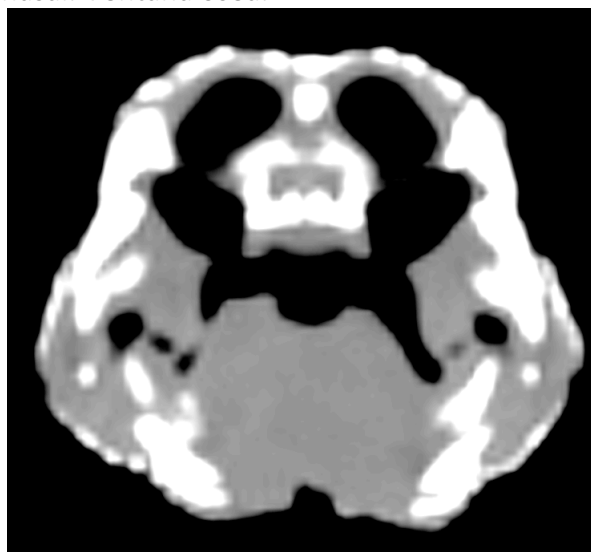


Figura 25. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel de la cavidad nasal. Ventana de tejidos blandos.

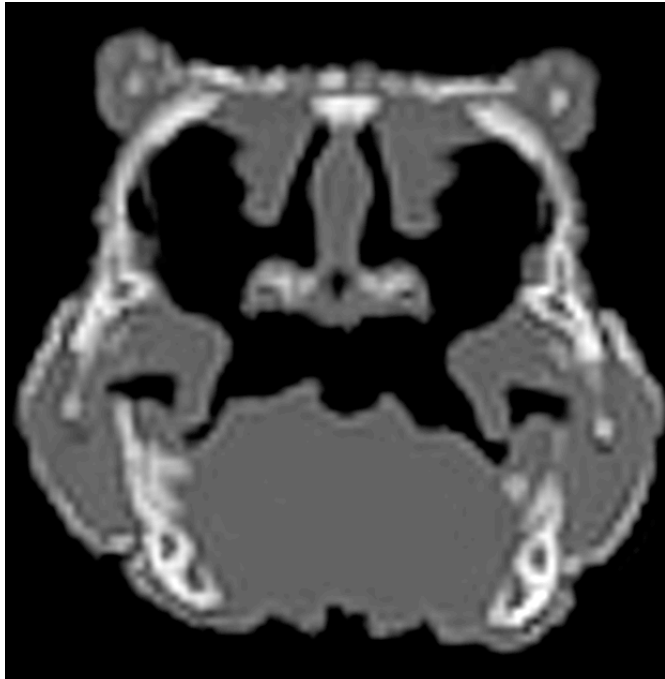


Figura 26. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del septo nasal. Ventana ósea.

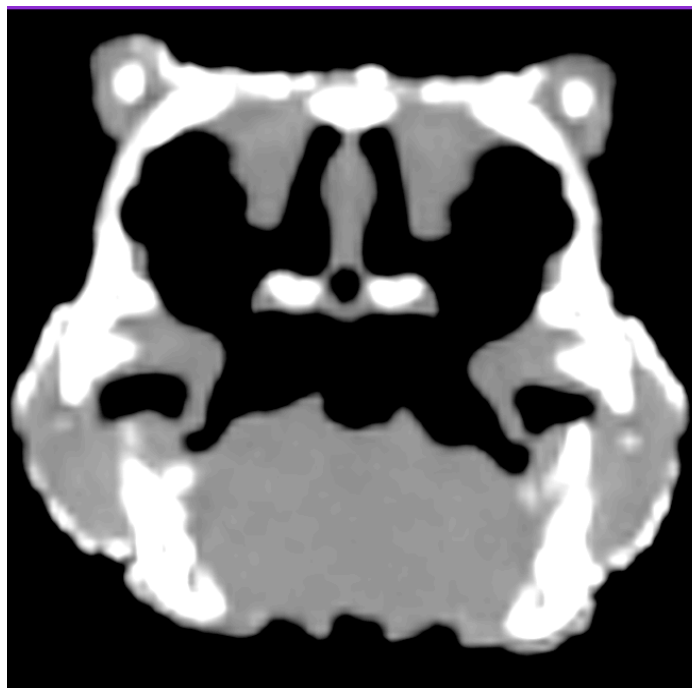


Figura 27. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del septo nasal. Ventana de tejidos blandos.

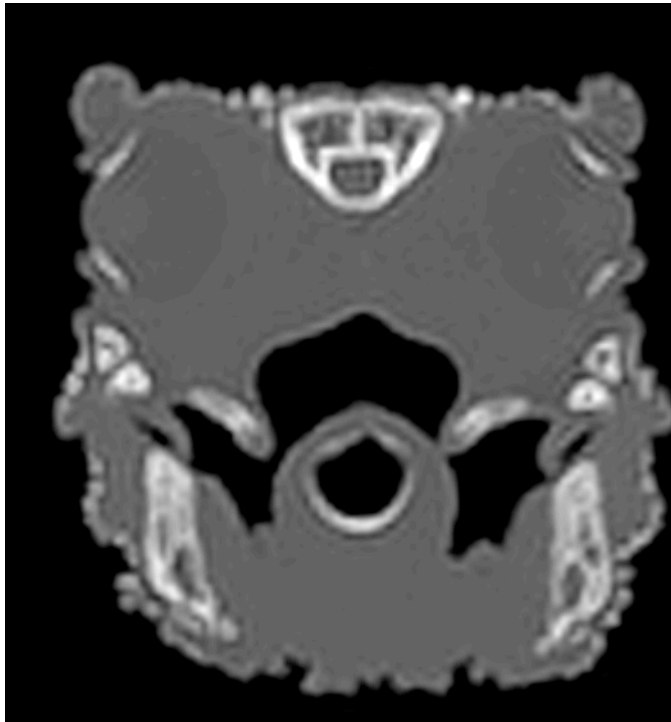


Figura 28. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del globo ocular. Ventana ósea.

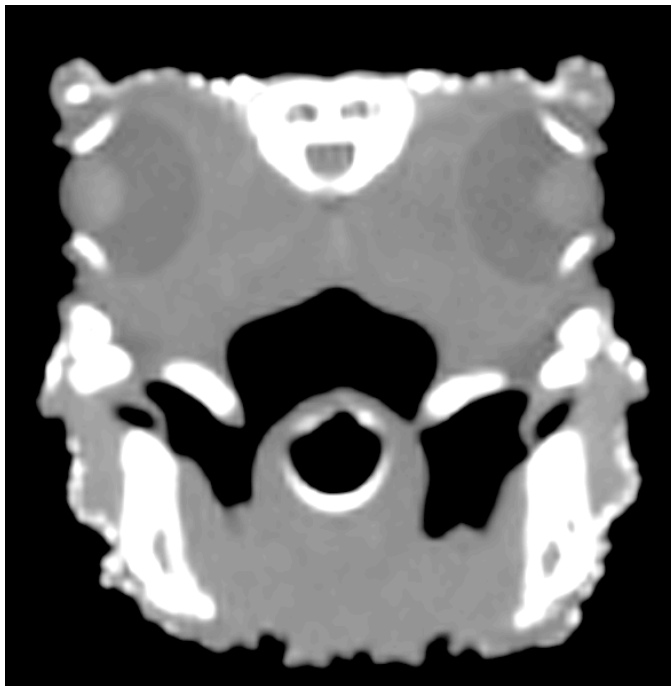


Figura 29. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del globo ocular. Ventana de tejidos blandos.

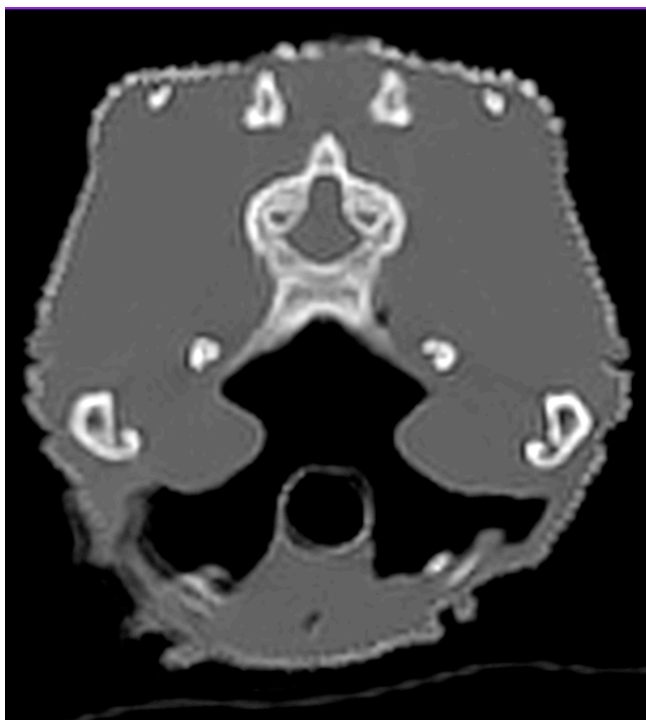


Figura 30. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del hueso escamoso. Ventana ósea.

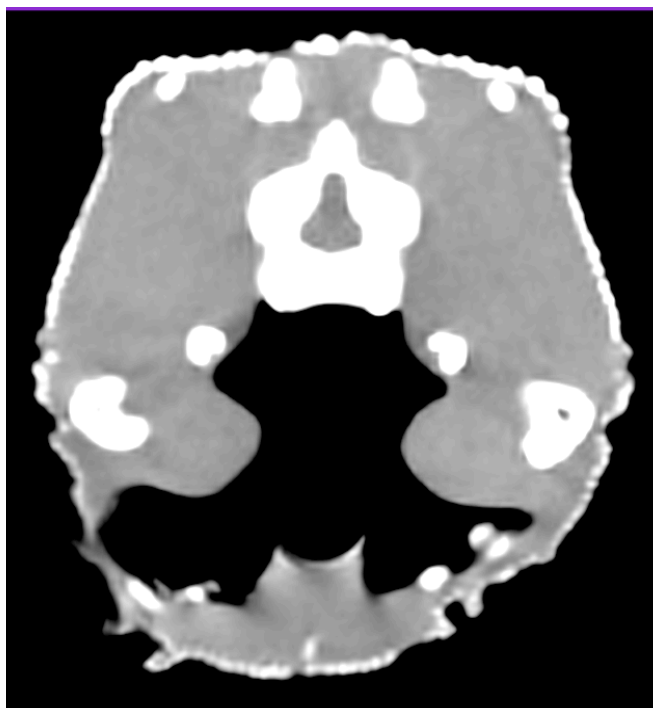


Figura 31. Imagen transversal de cráneo del *Varanus komodoensis* a nivel del hueso escamoso. Ventana de tejidos blandos

4.2.1. Reconstrucciones tridimensionales de superficie

A continuación, se muestran imágenes de la estructura tridimensional del cráneo del *Varanus komodoensis*, la *Iguana iguana* y la tortuga *Caretta caretta*. La reconstrucción tridimensional de estas imágenes proporciona una buena visualización de los diferentes huesos que componen el cráneo. Los datos originales se utilizaron para generar imágenes reconstruidas del volumen de la cabeza después de la edición manual de las imágenes de TC transversales para eliminar tejidos blandos utilizando un tejido estándar de Dicom 3D (OsiriX MD, Ginebra, Suiza).

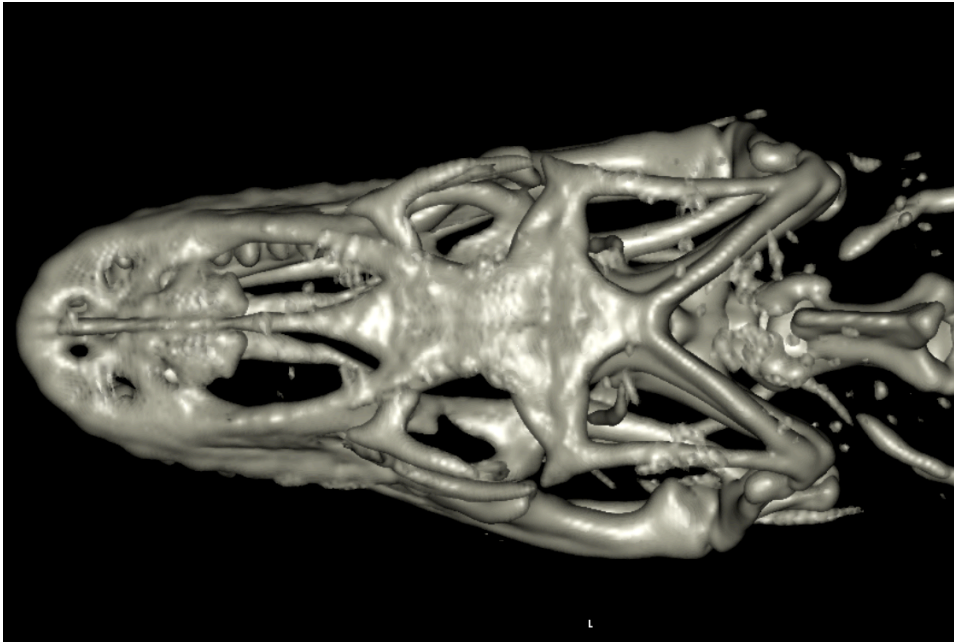


Figura 32. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Imagen dorsal.

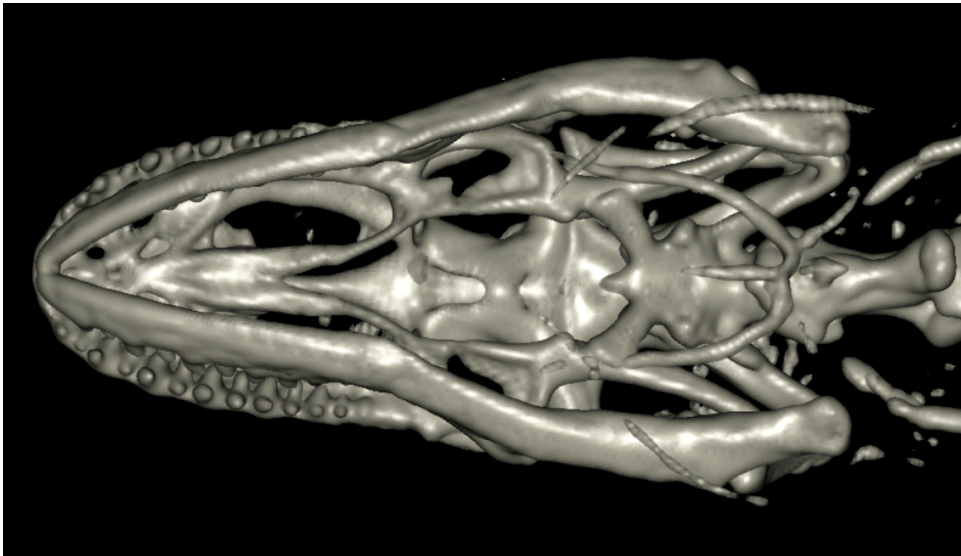


Figura 33. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Imagen ventral.

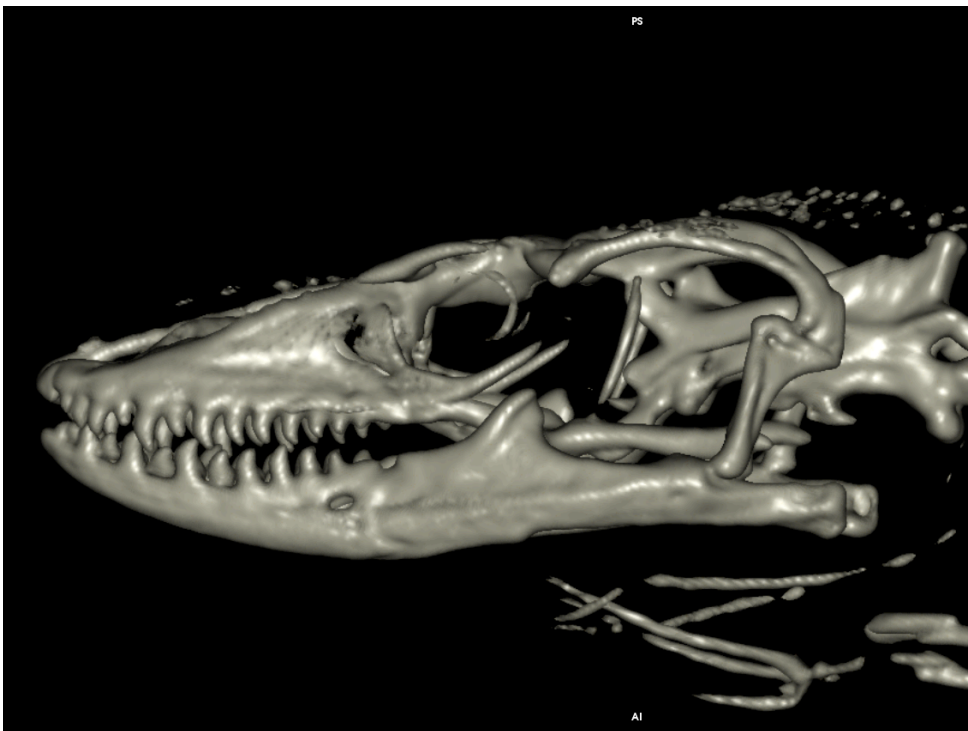


Figura 34. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Imagen lateral.



Figura 35. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Iguana iguana*. Imagen ventral.



Figura 36. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Iguana iguana*. Imagen lateral



Figura 37. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Iguana iguana*. Imagen rostral.



Figura 38. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Caretta caretta*. Imagen lateral.



Figura 39. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Caretta caretta*. Imagen ventral.



Figura 40. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de la *Caretta caretta*. Imagen rostral.

4.2.2. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP)

Se obtuvieron imágenes de proyección de máxima densidad (MIP) para mostrar de manera más eficiente los contornos de los huesos y otras estructuras de menor atenuación utilizando un visor de imágenes (Osirix MD, Apple, EEUU). MIP es un tipo específico de renderizado en el que el vóxel más brillante se proyecta en la imagen 3D. Tiende a haber mucha menos variabilidad en la reconstrucción de imágenes MIP que en el renderizado de volumen, ya que e incluyen menos parámetros en el algoritmo MIP (Fishman y otros, 2006).

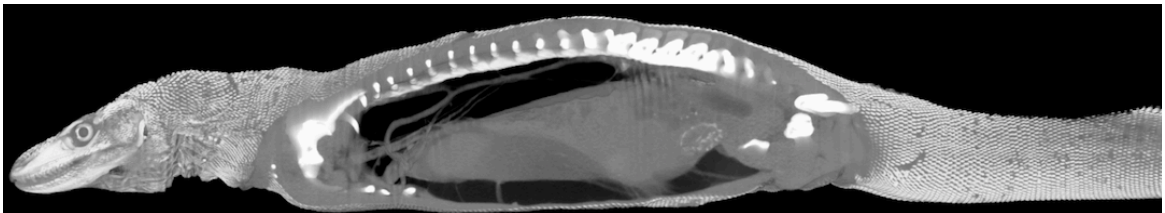


Figura 41. Reconstrucción volumétrica (imagen MIP) del dragón de Komodo, corte sagital

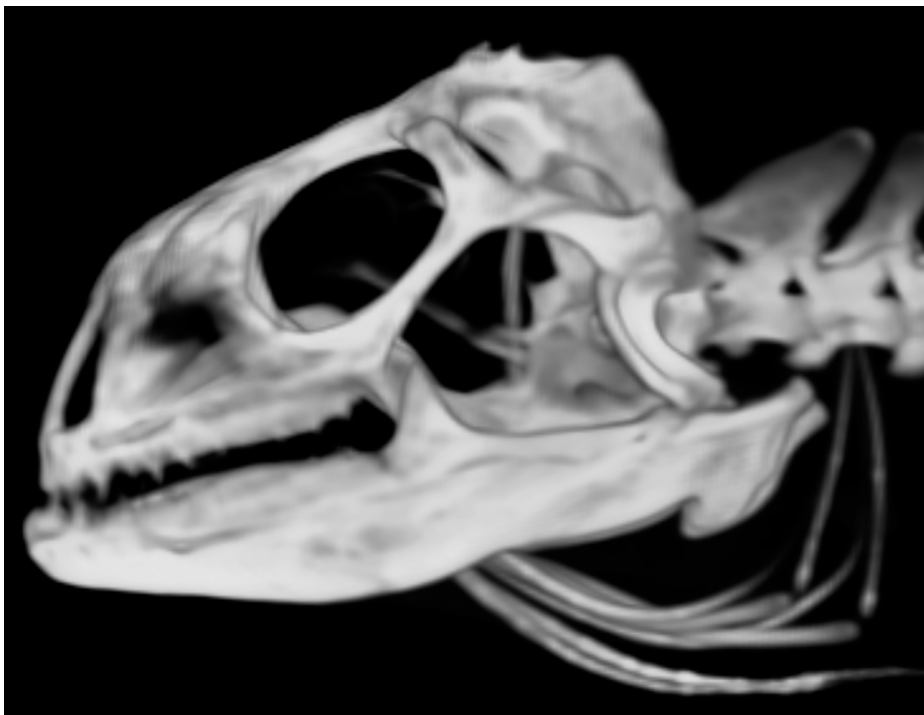


Figura 42. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) de la *Iguana iguana*. Imagen lateral.



Figura 43. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) de la *Iguana iguana*. Imagen ventral.



Figura 44. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo de la iguana verde (*Iguana iguana*). Imagen dorsal.

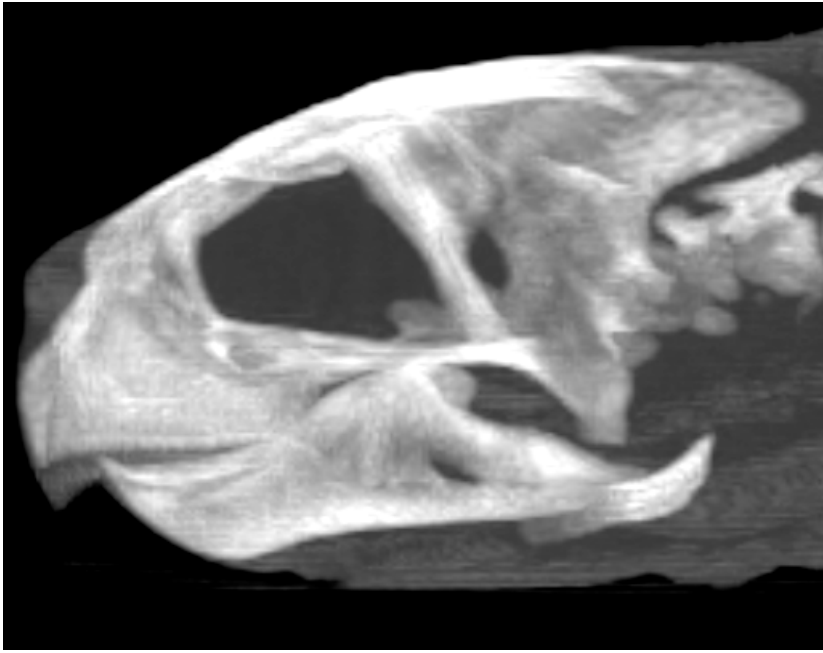


Figura 45. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) de cráneo de la tortuga *Caretta caretta*. Imagen lateral

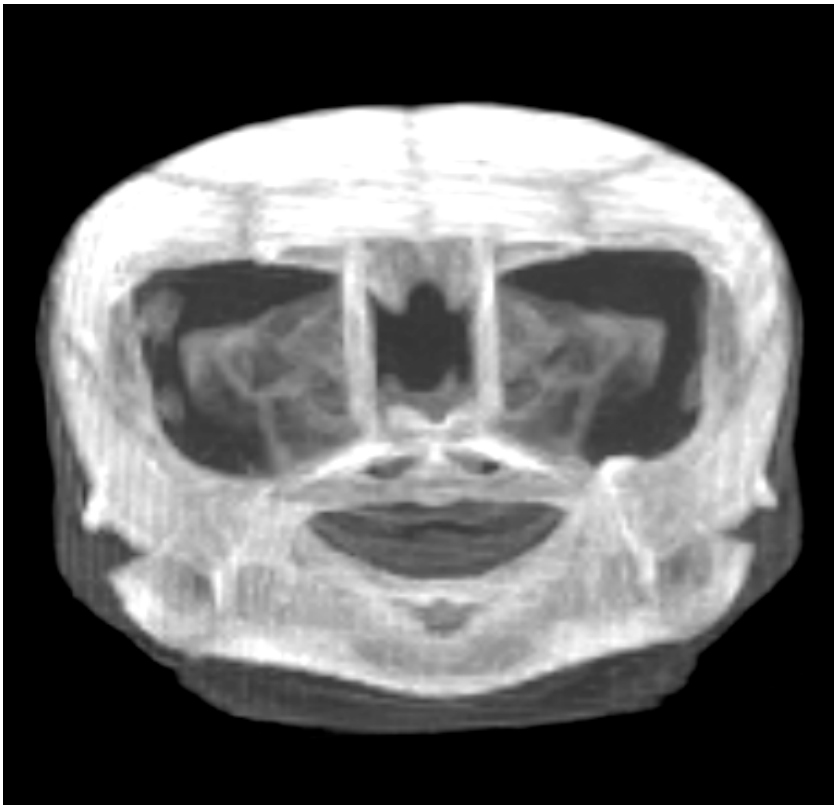


Figura 46. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) de cráneo de la tortuga *Caretta caretta*. Imagen rostral



Figura 47. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) de cráneo de la tortuga *Caretta caretta*. Imagen ventral

5. Resultados

5.1. Imágenes de TC del dragón de Komodo

5.1.1. Imágenes transversales

Las imágenes de las secciones transversales muestran las características anatómicas relevantes del cráneo de los varánidos. La figura 46, que consta de tres imágenes: (a) imagen sagital de la cabeza, donde cada línea y número (I-VI) representa el nivel aproximado de las siguientes imágenes transversales de TC, (b) Ventana ósea, (c) Ventana de tejidos blandos.

Las figuras de la 48 a la 51, representan imágenes de TC transversales donde (b) es la ventana ósea y (c) es la ventana de tejido blando. La comparación entre la literatura disponible y las imágenes de TC nos permitió identificar la mayoría de las estructuras anatómicas clínicamente relevantes de la anatomía de la cabeza. Éstas fueron identificadas según la ubicación y el grado de atenuación presente en los diferentes tejidos.

Con respecto a los tejidos duros, las imágenes obtenidas gracias al ajuste de la ventana ósea (figuras 47B-51B) proporcionaron una buena diferenciación entre los huesos y los tejidos blandos de la cabeza. De este modo, los huesos de cráneo (prefrontal, frontal, postorbital, parietal, escamoso, cuadrado, yugal, pterigoideo, basioccipital, parabasisfenoideo y maxilar), la mandíbula (dentario, angular, surangular y articular) y los huesos hioides fueron fácilmente reconocibles, debido a la alta densidad de TC en el hueso cortical, y a la baja densidad en las cavidades medulares. La mayoría de estas estructuras también se visualizaron con la configuración de tejido blando (Figuras 47C- 51C). Las estructuras llenas de aire, como la cavidad nasal, la laringe, la tráquea y la cavidad oral, dieron una densidad tisular de TC insignificante, mostrándose negras en ambas configuraciones de ventana. Las estructuras de tejidos blandos como los músculos de la mandíbula, las glándulas labiales y nasales, los ojos y las glándulas de Harder, dieron una densidad de TC intermedia y aparecieron grises. Las estructuras nerviosas (cerebro, cerebelo, ventrículos laterales, tronco encefálico y médula espinal) se pudieron apreciar en ambas ventanas de TC (Figuras 48-51).

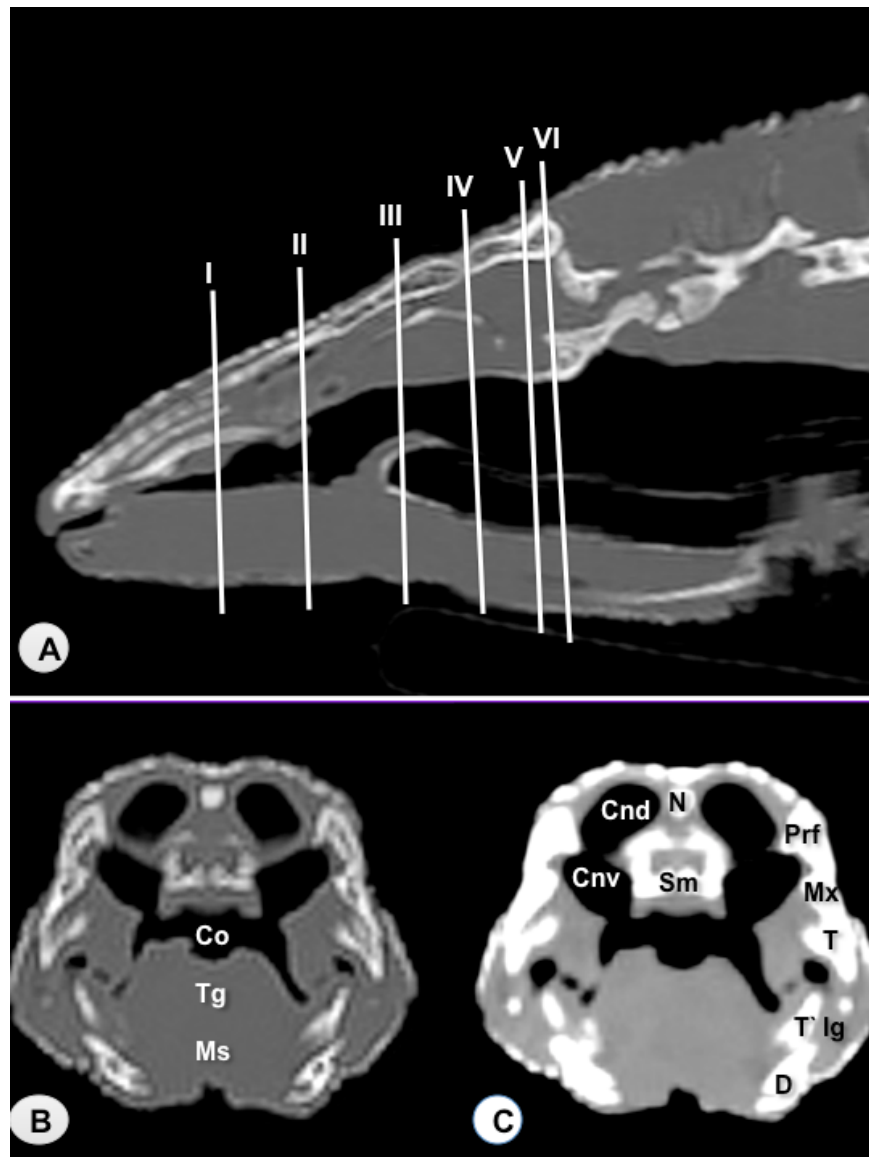


Figura 48. Imagen sagital de la cabeza del *Varanus komodoensis*. Las líneas y los números (I-VI) representan el nivel aproximado de las siguientes imágenes de TC transversal (A). Imagen transversal de la cabeza a nivel de la cavidad nasal correspondiente a la línea I. (B). Ventana ósea. (C). Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se muestran de modo que el lado derecho de la cabeza, quede a la izquierda del espectador, y la vista dorsal esté en la parte superior. N: hueso nasal. Sm: septomaxila. Cnd: corneta nasal dorsal. Cnv: cornetes nasales ventrales. Prf: hueso prefrontal. 6. Hueso maxilar. T: diente. T': diente. Co: cavidad oral. Tg: lengua. Sra: Músculo intermandibular + músculo genihiioideo + músculo geniogloso. D: hueso dentario. Ig: glándulas infralabiales.

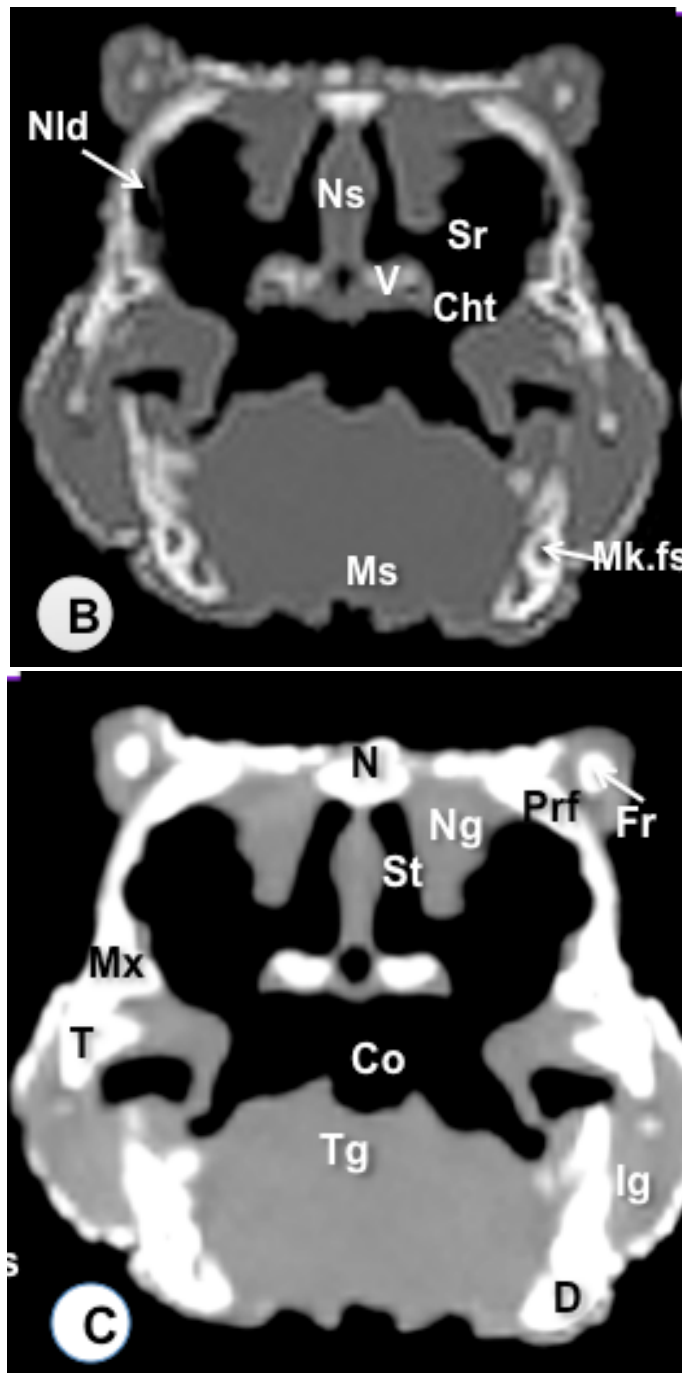


Figura 49. Imagen de TC transversal de la cabeza de *Varanus kmodoensis* a nivel del hueso nasal, correspondiente a la línea II. (B). Ventana ósea. (C). Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se muestran de modo que el lado derecho de la cabeza quede a la izquierda del espectador, y la vista dorsal esté situada en la parte superior. N: hueso nasal. Prf: hueso prefrontal. Ns: tabique nasal. Ng: glándulas nasales. St: tallo, V: Vomer. Sr: receso subconcal. Cht: tubo coanal. Nld: conducto nasolacrimal. Mx. Hueso maxilar. T: diente. Co: cavidad oral. Tg: lengua. Ms: musculo intermandibular + músculo genihiodeo + músculo pterigoideo + músculo hiogloso. D: hueso dentario. Mk.fs: fosa de Meckel. Ig: glándulas infralabiales. Fr: hueso frontal.

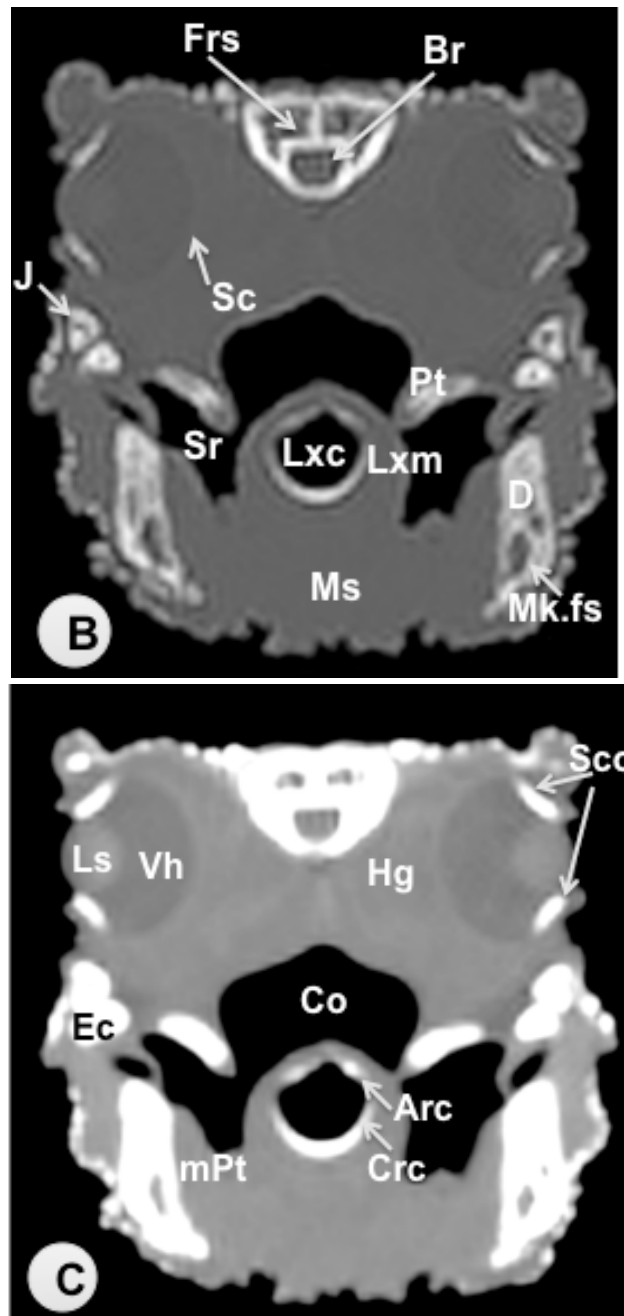


Figura 50. Imagen transversal de la cabeza del *Varanus komodoensis* a la altura de los ojos, correspondiente a la línea III. (B). Ventana ósea. (C) Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se encuentran de modo que el lado derecho de la cabeza quede al lado izquierdo del espectador, y la vista dorsal esté situada en la parte superior. Frs: seno frontal. Br: Cerebro. Sco: osificaciones escleróticas. Ls: Lente. Vh: humor vítreo. Hg: glándula endurecida. Sc: esclerótica. J: hueso yugal. Ec: hueso ectopterigoideo. Pt: hueso pterigoideo. D: hueso dentario. Mk.fs: fosa de Meckel. mPt: músculo pterigoideo. Lxc: cavidad laríngea. Lxm: músculos laríngeos. Ms: músculo intermandibular + músculo geniohiodeo + músculo geniogloso + músculo hiogloso. Crc: cartílago cricoides. Arco: cartílago aritenoideo. Co: cavidad oral. Sr: Receso sublingual.

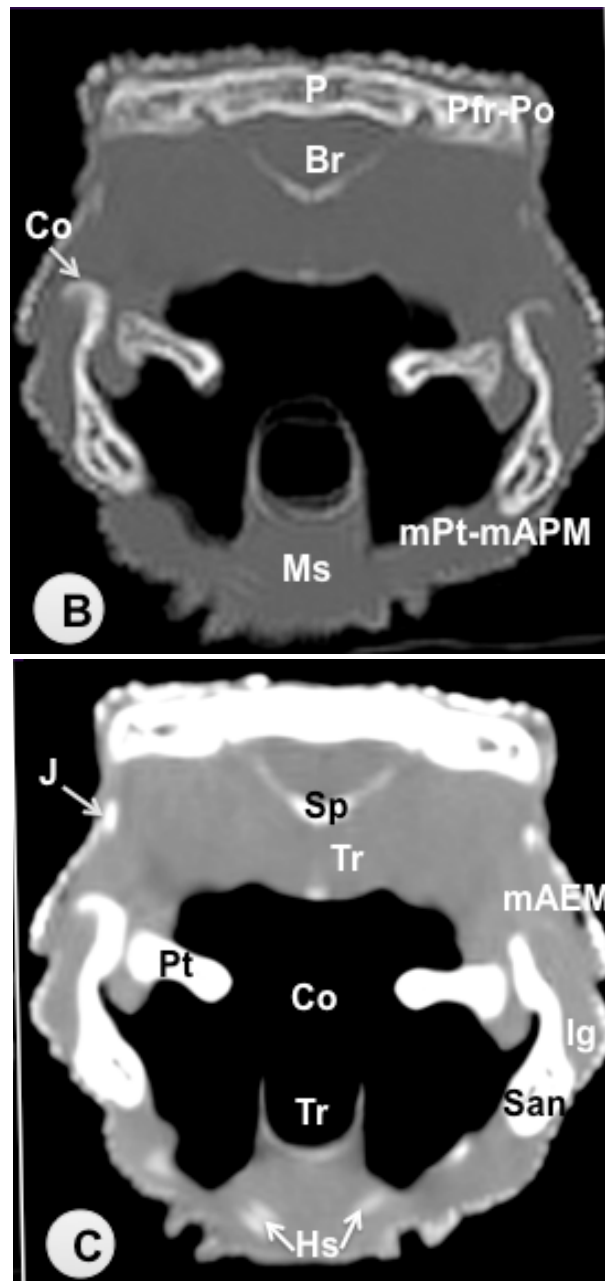


Figura 51. Imagen de Tc transversal de la cabeza del *Varanus komodoensis* a nivel del hueso parietal, correspondiente a la línea IV (B). Ventana ósea. (C). Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se muestran de modo que el lado derecho de la cabeza quede al lado izquierdo del espectador y la vista dorsal esté en la parte superior. P: hueso parietal (sutura frontoparietal). Pfr-Po: huesos postfrontal + postorbital. Br: cerebro. Sp: hueso esfenoides. Pt: hueso pterigoideo. San: hueso surangular. Co: hueso coronoides. Co: cavidad oral. Tr: tráquea. Hs: esqueleto hiobranquial. Ms: músculo intermandibular + músculo genioides + músculo geniogloso + músculo hiogloso. J: Hueso yugal. Ig: glándulas infralabiales. mAEM: Músculo abductor mandibular externo. mPt-mAPM: músculo pterigoideo + músculo abductor mandibular posterior.

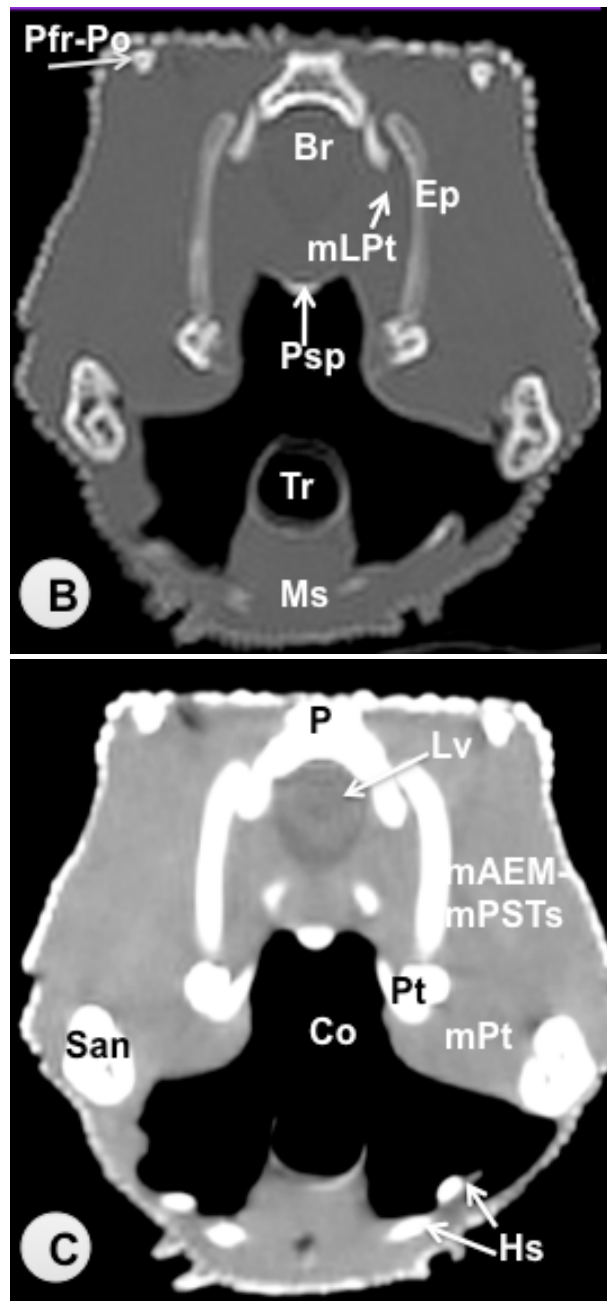


Figura 52. Imagen de TC transversal de la cabeza del *Varanus komodoensis*, a nivel del hueso postorbital + posfrontal correspondiente a la línea V (B). Ventana ósea. (C). Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se muestran de modo que el lado derecho de la cabeza quede al lado izquierdo del espectador y la vista dorsal esté en la parte superior. P: hueso parietal. Lv: ventrículo lateral. Br: cerebro. Ep: hueso epipterigoideo. Psp: hueso parabasisfenoides. Pfr – Po: hueso postfrontal + hueso postorbitario. San: hueso suragular. Co: cavidad oral. Tr: tráquea. Hs: esqueleto hiobranquial. Ms: músculo intermandibular + músculo geniohiodeo + músculo geniogloso + músculo hiogloso. mAEM-mPSTs: Musculo aductor mandibular externo + músculo pseudotemporal superficial. mLPt: Músculo elevador pterigoideo. mPt: músculo pterigoideo.

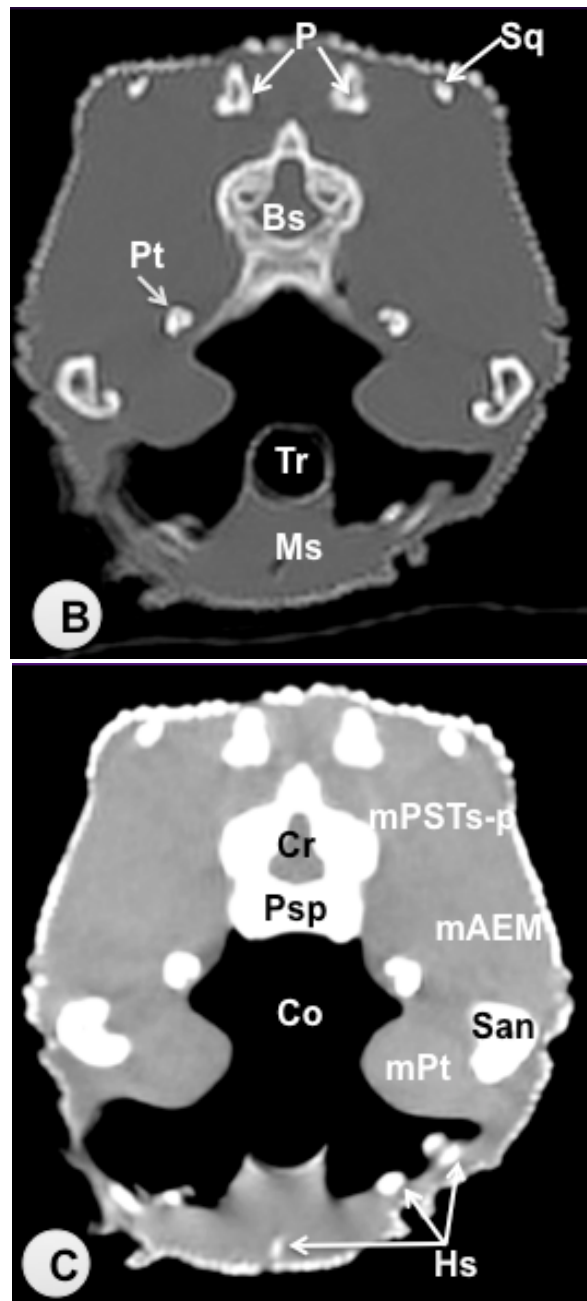


Figura 53. Imagen de TC transversal de la cabeza del *Varanus komodoensis*, a nivel del hueso escamoso correspondiente a la línea VI (B). Ventana ósea. (C). Ventana de tejidos blandos. Estas imágenes se muestran de modo que el lado derecho de la cabeza quede al lado izquierdo del espectador y la vista dorsal esté en la parte superior. Sq: Hueso escamoso. P: hueso parietal. Cr: cerebelo (vermis). Bs: tronco encefálico. Psp: hueso parabasisfenoides. Pt: hueso pterigoideo. San: hueso surangular. Co: cavidad oral. Tr: tráquea. Hs: esqueleto hiobraquial. Ms: músculo intermandibular + músculo geniohiodeo + músculo geniogloso + músculo hiogloso. mAEM: músculo aductor externo mandibular. mPSTs-p: músculo pseudotemporal superficial y profundo. mPt: músculo pterigoideo.

5.1.2. Reconstrucciones tridimensionales de superficie del dragón de Komodo

A continuación, se muestran imágenes de la estructura tridimensional del cráneo del *Varanus komodoensis* en vista tanto dorsal, como ventral (Figuras 52 y 53, respectivamente), y la vista lateral izquierda (Figura 9). La reconstrucción tridimensional de estas imágenes proporciona una buena visualización de los diferentes huesos que componen el cráneo.

El borde orbitario está circunscrito por los huesos lacrimal, prefrontal y yugal (figuras 52,74). Distinguiendo además el hueso yugal del ectopterigoideo (Figura 9). En el borde posterodorsal de la órbita, se puede apreciar la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal en las reconstrucciones tridimensionales lateral y dorsal (Figura 52,74). En la vista ventral, los siguientes huesos del neurocráneo se muestran claramente delineados: el parabasisfenoides, el basioccipital y el proótico (Figura 53). La unión entre la premaxila y el maxilar, con una disposición curva de los dientes, se identificó en la vista lateral y ventral (Figuras 53 - 54). En la vista lateral se aprecia la curvatura de la fila de dientes con el margen de la mandíbula y el maxilar. Además, la curvatura primaria del maxilar se muestra más convexa, mientras que la mandibular aparece más cóncava. La apófisis coronoides aparece bastante prominente y los huesos surangular y articular se extienden caudalmente.

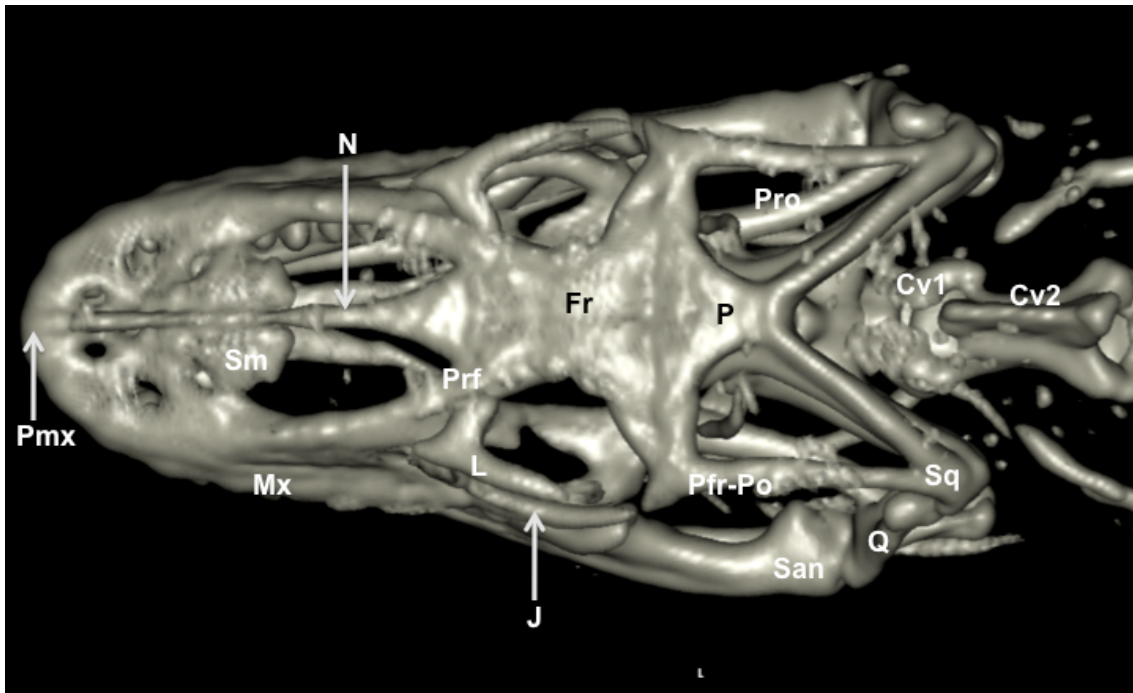


Figura 54. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Aspecto dorsal. Pmx: hueso premaxilar. Mx: hueso maxilar. Sm: Septomaxila. N: hueso nasal. Prf: hueso prefrontal. Fr: hueso frontal. L: hueso lacrimal. J: hueso yugal. P: hueso cuadrado. Pfr-Po: postfrontal + postorbital. P: parietal. Pro: proótico. San: hueso surangular. Cv1: primera vértebra cervical. Cv2: segunda vértebra cervical.

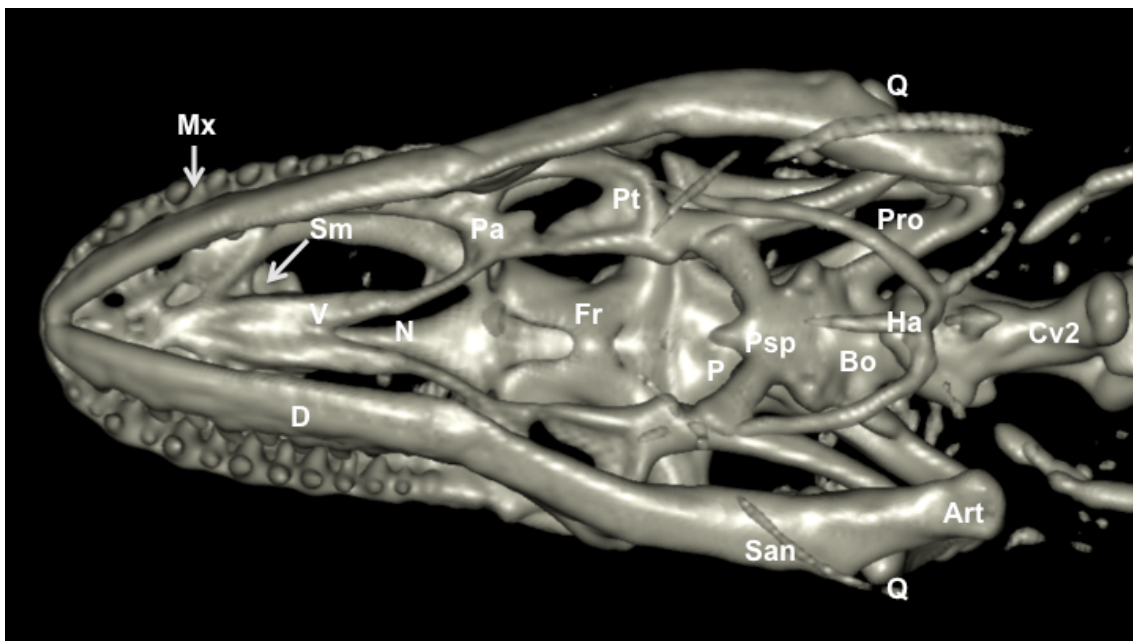


Imagen 55. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Aspecto ventral. Mx: hueso maxilar. D: hueso dentario. San: hueso surangular. Art: hueso articular. P: Hueso cuadrado. Bo: Hueso basioccipital. Psp: hueso parabasisfenoides. Pro: hueso proótico. Pt: Hueso pterigoideo. Pa: Hueso palatino. V: Vómer. Sm: septomaxila. N: Hueso nasal. P: Hueso parietal. Ha: Aparato hiodeo. Cv2. Segunda vértebra cervical.

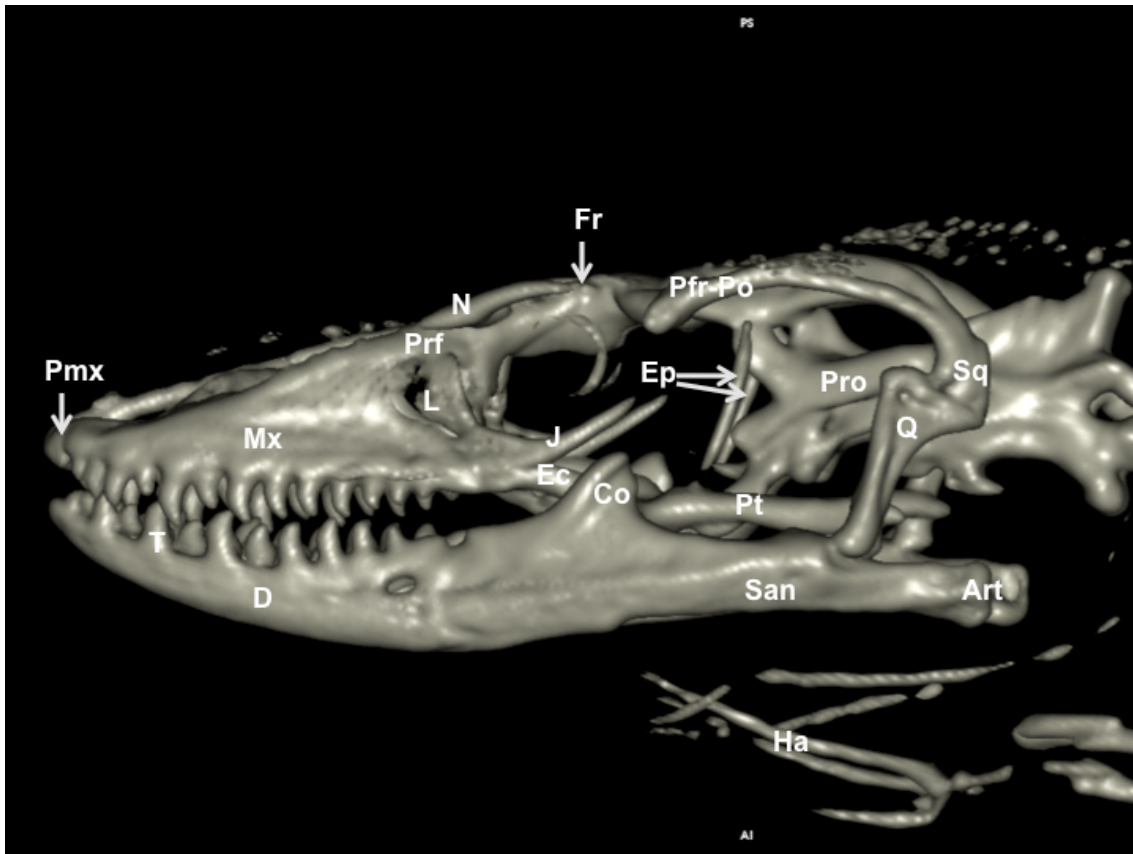


Figura 56. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo del *Varanus komodoensis*. Aspecto lateral. Pmx: hueso premaxilar. Mx: Hueso maxilar. Prf: Hueso prefrontal. N: Hueso nasal. Fr: Hueso frontal. L: hueso lacrimal. J: Hueso yugal. Ec: Hueso ectopterygoido. Pt: hueso pterigoideo. P: Hueso cuadrado. Pfr-Po: Postfrontal + postorbital. Pro: Proótico. D: Hueso dentario. T: Diente. San: hueso surangular. Art: Hueso articular. Co: Hueso Coronoides. Ha: aparato hioides.

5.1.3. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP) del dragón de Komodo

Se presentan dos imágenes de MIP correspondientes a las vistas dorsal (Figura 58) y ventral (Figura 59) del cráneo de los varánidos. Estas imágenes consiguieron resolver la relación entre los huesos que componen la cabeza. La imagen de MIP dorsal mostró la unión entre el premaxilar y el maxilar. También se observa cómo la disposición del vómer sostiene la septomaxila (Figura 58). Este último hallazgo podría distinguirse mejor en la imagen de MIP ventral (Figura 59). La relación entre los huesos lacrimal, prefrontal y frontal se observó en la vista dorsal (Figura 58). En el borde posterodorsal de la órbita, se puede ver fácilmente la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal. Además de todo esto, se identificó la unión de los huesos frontal y parietal en las imágenes MIP dorsal (Figura 58) y ventral (Figura 59). La imagen de MIP ventral mostró una excelente visualización del pterigoideo, un hueso plano en forma de Y. Este hueso proporciona un proceso redondeado que contacta con el borde caudal de palatino. Además, en esta vista se aprecia la unión entre los huesos parabasisfenoides, proótico y basioccipital. Este último hueso forma la porción ventral del cóndilo occipital.

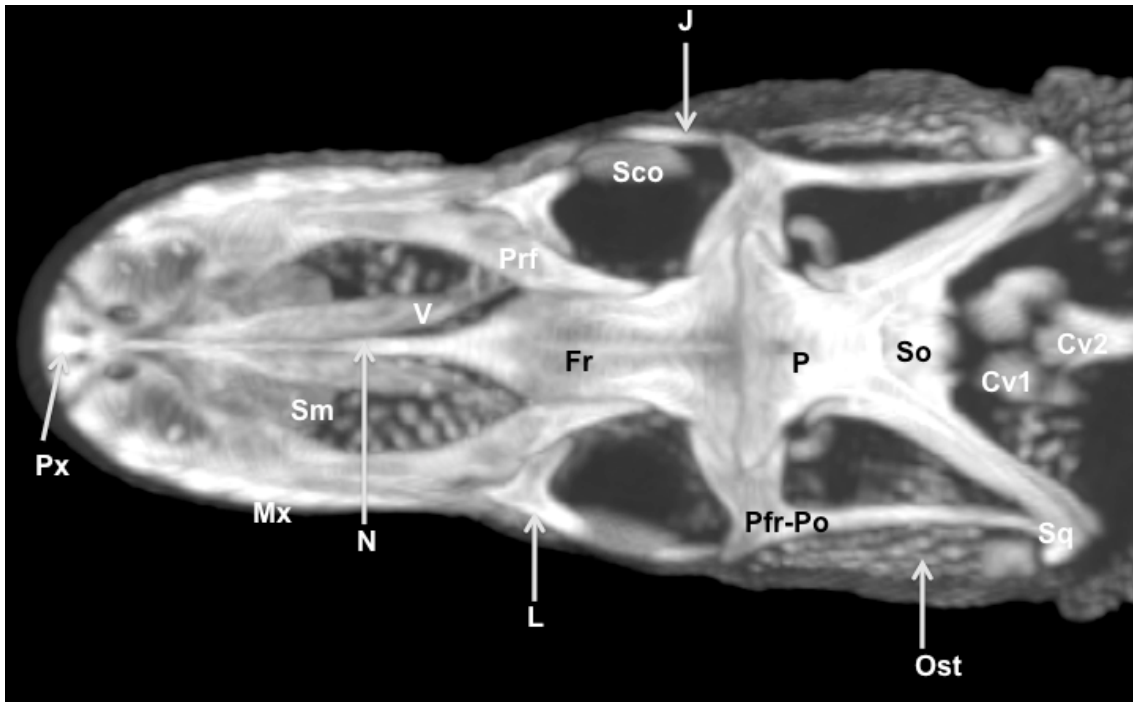


Figura 57. Reconstrucción volumétrica (imagen MIP) del cráneo del *Varanus komodoensis*. Imagen dorsal. Px: hueso premaxilar. Mx: hueso maxilar. Sm: septomaxila. V: Vomer. N: hueso nasal. Prf: hueso prefrontal. Fr: hueso frontal. L: Hueso lacrimal. Sco: huesecillos esclerales. J: Hueso yugal. Pfr-Po: postfrontal+ postorbital. P: parietal. Ost: osteodermos. Cv1: primera vértebra cervical. Cv2: Segunda vértebra cervical.

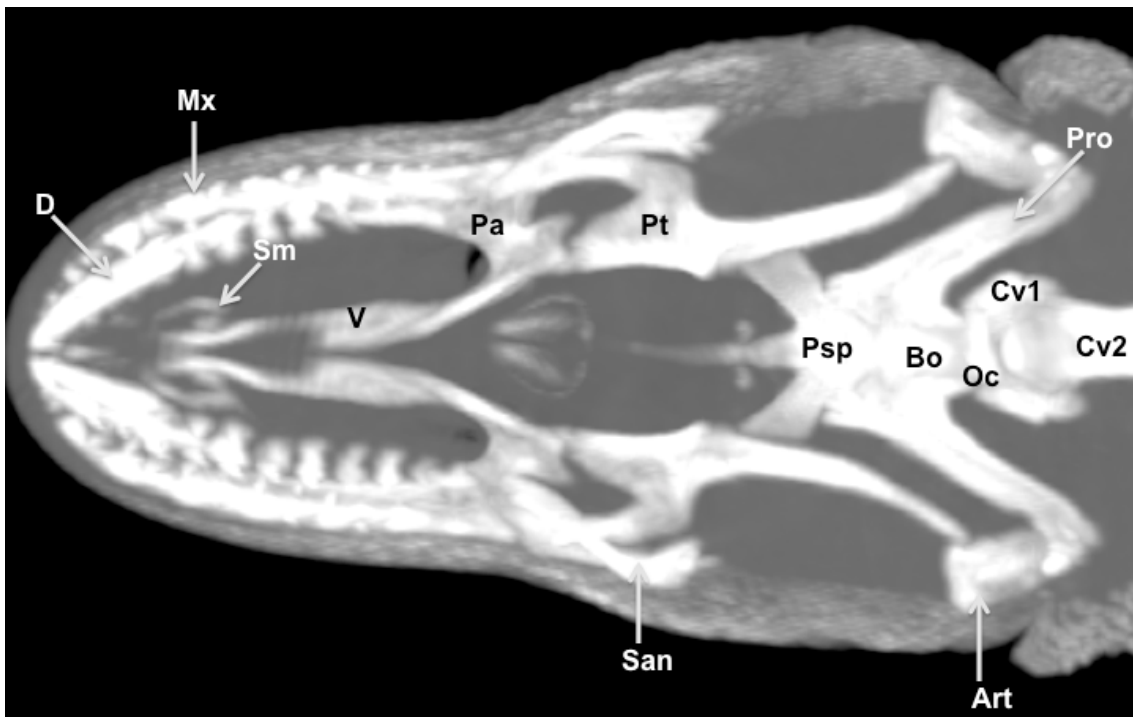


Figura 58. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo del *Varanus komodoensis*. Imagen ventral. D: hueso dentario. Mx: hueso maxilar. San: hueso surangular. Arte: hueso articular. Bo: Hueso basioccipital. Psp: hueso parabasisfenoides. Oc: cóndilo occipital. Pro: hueso proótico. Sm: septomaxila. V: hueso Vómer. Pa: hueso palatino. Pt: hueso pterigoideo. Cv1: primera vértebra cervical. Cv2: segunda vértebra cervical.

5.2. Imágenes de la iguana verde (*Iguana iguana*)

5.2.1. Reconstrucciones tridimensionales de superficie

Las imágenes laterales reconstruidas mostraron un cráneo alto y abovedado (Figura 62). En contraste con la cabeza del dragón de Komodo, la órbita de la iguana verde está cerrada por la unión ósea posfrontal y postorbital, que se extiende hasta los márgenes posteriores de las órbitas óseas, hasta llegar a articularse con el hueso yugal (Figuras 60,62). Por lo tanto, el hueso yugal forma la pared lateral de la órbita ósea y se une con el lacrimonasal (dorsal), maxilar (ventralmente), ectopterigoideo (medialmente), postorbitario (caudodorsalmente) y escamoso (caudalmente) (Figura 62). En esta vista identificamos huesos frontales, parietales, y posfrontales (Figura 62).

Además, en la vista dorsal también se identifican los huesos prefrontales que conectan rostralmente con los maxilares y nasales, lateralmente a los huesos lacrimales y caudodorsalmente a los frontales (Figura 60). Este hueso prefrontal participa en las paredes de la órbita dorsal y rostral (Figuras 60,62). Esta vista lateral muestra la unión entre los huesos escamoso, ectopterigoideo, epipterigoideo, pterigoideo, cuadrado y proótico. Siendo este último de forma cuadrada, y formando parte de las paredes laterales del neurocráneo, que también se visualiza en las imágenes reconstruidas ventralmente (Figura 61). Así, observamos la unión entre los huesos basioccipital, parabasisfenoides y su conexión lateral con el pterigoideo. Estas imágenes reconstruidas lateral y ventralmente, muestran los huesos que componen la mandíbula. Por lo tanto, el dentario, el coronoides, el surangular y el articular fueron evidentes en estas vistas.

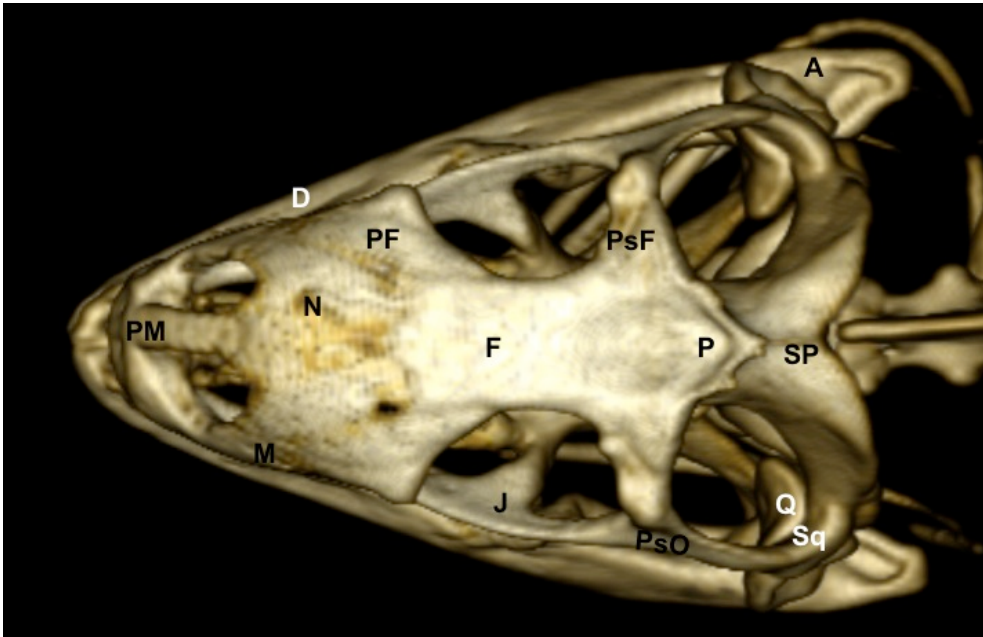


Figura 59. Reconstrucción tridimensional por superficie del cráneo de la *Iguana iguana*.. Vista dorsal *Iguana iguana*. PM: hueso premaxilar. N: hueso nasal. M: hueso maxilar. D: hueso dentario. PF: hueso prefrontal. F: hueso frontal. J: hueso yugal. PsF: hueso postfrontal. P: hueso parietal. PsO: hueso postorbital. A: hueso articular. SP: Hueso supraoccipital. Q: Hueso cuadrado. Sq: Hueso escamoso.

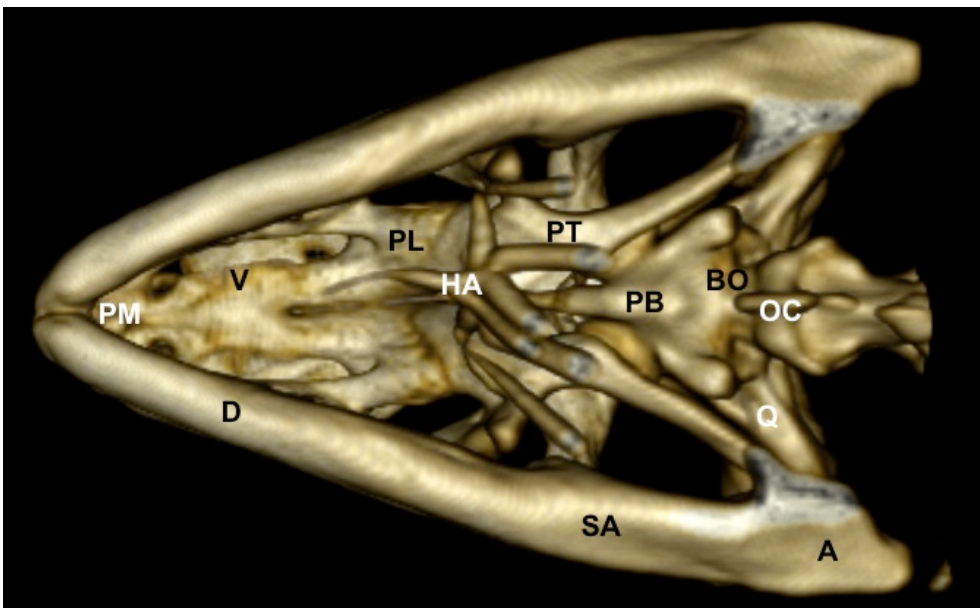


Figura 60. Reconstrucción tridimensional por superficie del cráneo de la *Iguana iguana*. Vista ventral *Iguana iguana*. PM: Hueso premaxilar. V: Hueso vómer. D: hueso dentario. PL: Hueso palatino HA: Aparato hioideo. A: Hueso articular. N: Hueso nasal. SA: Hueso surangular. PT: Hueso pterigoideo. PB: Hueso parabasisfenoides. BO: Hueso basioccipital. OC: Cóndilo occipital. Q: Hueso cuadrado

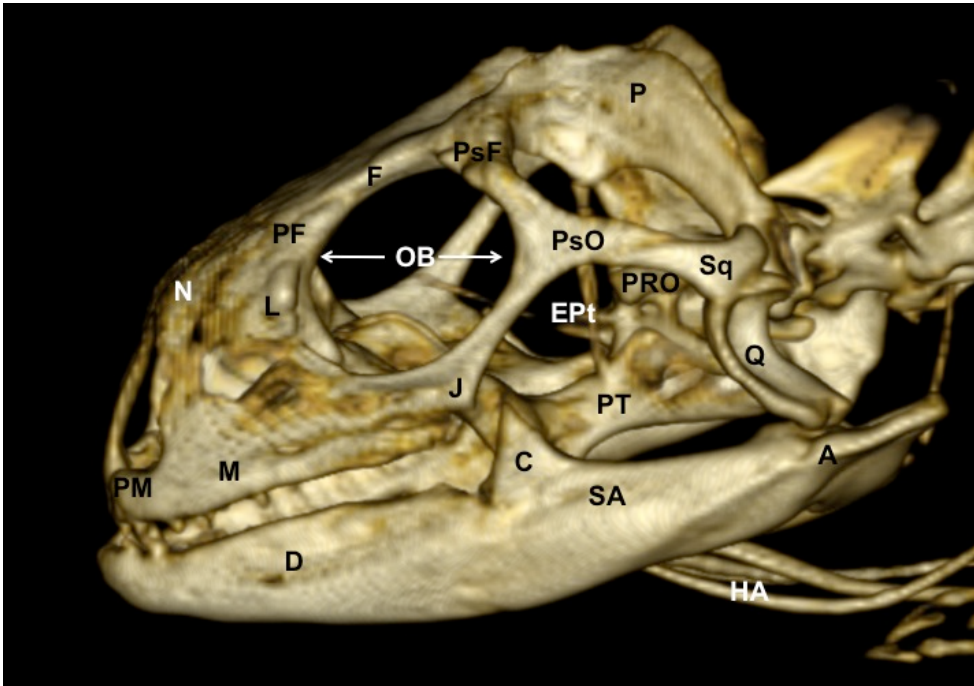


Figura 61. Reconstrucción tridimensional TC. Vista lateral izquierda *Iguana iguana*. PM: hueso premaxilar. M: hueso maxilar. D: hueso dentario. L: Hueso lacrimal. PF: hueso prefrontal. F: Hueso frontal. OB: órbita. PsF: postfrontal. PsO: Hueso postorbital. PRO: Hueso proótico. Ept: ectopterygoido. PT: Hueso pterigoideo. C: Hueso coronoides. SA: Hueso surangular. Sq: Hueso escamoso. Q: hueso cuadrado. A: Hueso articular. HA: Aparato hioideo.

5.2.2. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP)

Se presentan tres imágenes MIP correspondientes a la vista lateral, dorsal y ventral del cráneo de la iguana verde.

Se observa la delimitación rostral de la órbita, en contacto con los huesos lagrimal y maxilar, ventralmente por el hueso yugal, caudodorsalmente por el hueso posorbitario y dorsalmente por los huesos prefrontal y frontal, estando éstos muy bien identificados en las imágenes laterales.

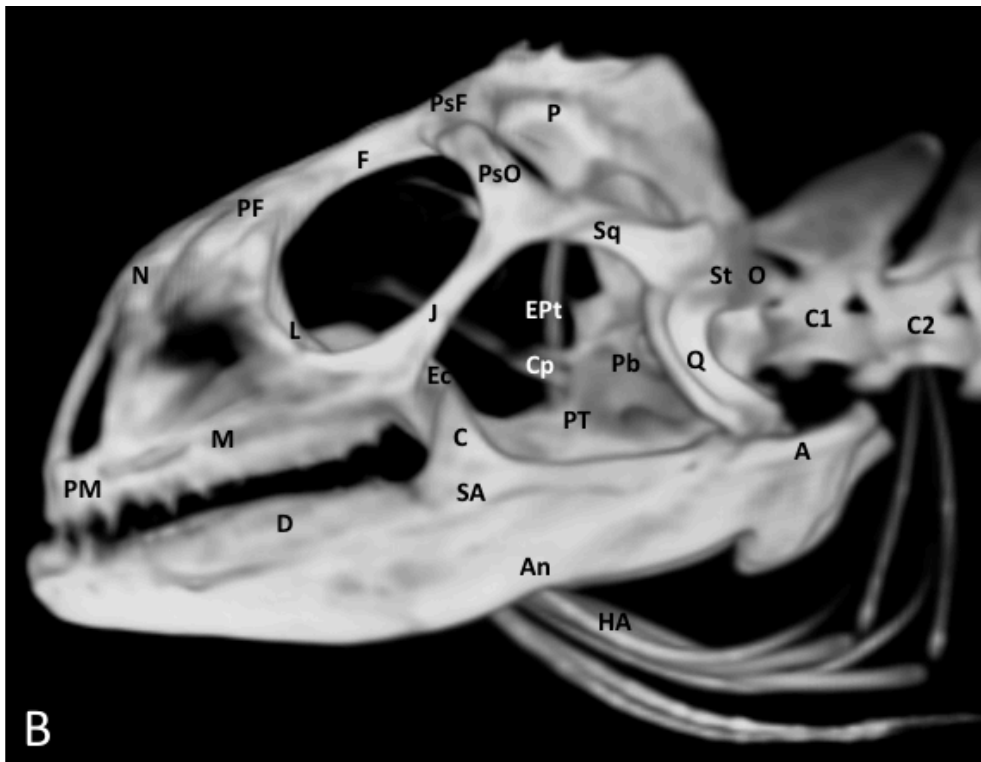


Figura 62. Reconstrucción volumétrica (imagen MIP) del cráneo de la *Iguana iguana*, Vista lateral. PM: hueso premaxilar. M: hueso maxilar. PrF: hueso prefrontal. N: hueso nasal. F: hueso frontal. OB: órbita. L: hueso lagrimal. J: hueso yugal. PSF: hueso posfrontal. PsO: hueso posorbitario. PT: hueso pterigoideo. Ec: hueso ectopterigoideo. EPT: hueso epipterigoideo. Cp: proceso cultriforme. Pb: hueso parabasisfenoides. P: hueso parietal. Sq: hueso escamoso. PRO: hueso proótico. O: hueso occipital. P: hueso parietal. D: Hueso dentario. C: hueso coronoides. SA: hueso surangular. A: hueso articular. HA: aparato hioides. ST: hueso supra-temporal. NC: neurocráneo. C1: primera vértebra cervical. C2: segunda vértebra cervical.

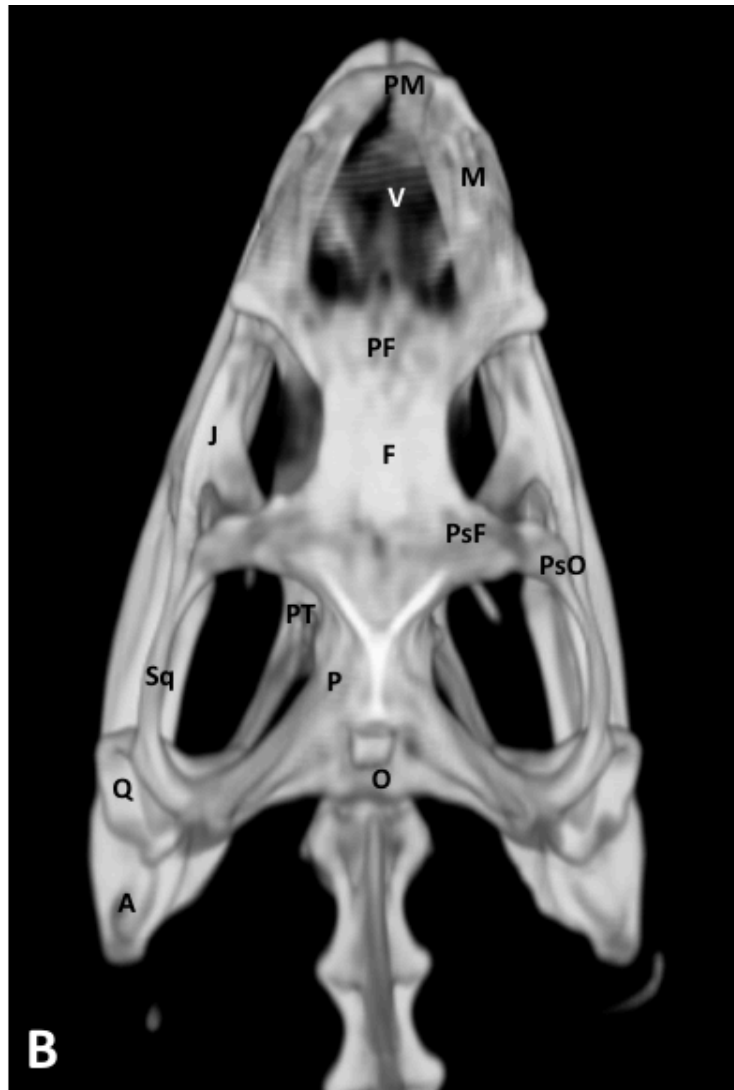


Figura 63. Reconstrucción volumétrica (imagen MIP) del cráneo de la *Iguana iguana*, Imagen dorsal. PM: hueso premaxilar. M: hueso maxilar. V: hueso vómer. N: hueso nasal. PF: hueso prefrontal. F: hueso frontal. J: Hueso yugal. P: Hueso cuadrado. cuadrado: escamoso. PsF: hueso posfrontal. PsO: hueso postorbitario. P: hueso parietal. O: hueso occipital. D: hueso dentario. A: hueso articular. SO: hueso supraoccipital.

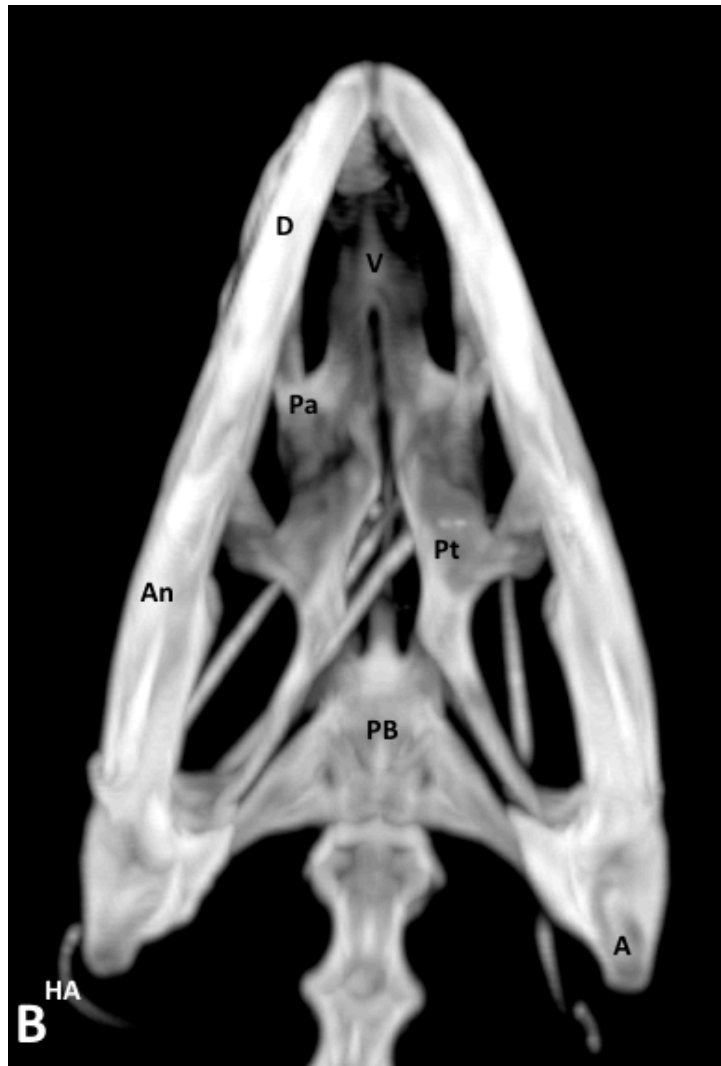


Figura 64. Reconstrucción volumétrica (imagen MIP) del cráneo de la *Iguana iguana*, Imagen ventral. D: hueso dentario. An: hueso angular. A: hueso articular. V: hueso vómer. PL: hueso palatino. PT: hueso pterigoideo. PB: hueso parabasisfenoides. BO: hueso basioccipital (cóndilo occipital). P: hueso cuadrado. OC: cóndilo occipital. HA: aparato hioides.

5.3. Imágenes de la tortuga boba (*Caretta caretta*)

4.3.1. Reconstrucciones tridimensionales de superficie

Las reconstrucciones tridimensionales muestran unos huesos premaxilares aparecen en la situación más rostral de la cabeza de la tortuga y los huesos maxilares, articulados con la premaxila en su porción más rostral, y medialmente con el hueso nasal. En función de la especie de tortuga, el contacto entre ambas maxilas varía. En el caso que nos ocupa, la *Caretta caretta*, entran en contacto en el centro de la zona palatina.

El hueso vómer se relaciona rostralmente con la premaxila, rostroventralmente con la maxila, lateralmente con el hueso palatino y en su porción caudal con el hueso pterigoideo (Figura 69). Los huesos prefrontales forman dos placas, perpendiculares entre sí, que confluyen en la cara anterodorsal de la órbita. La placa dorsal es la encargada de formar el borde dorsal de la apertura nasal, y gran parte del techo de la fosa nasal y la placa prefrontal descendente vertical forma el hueso lacrimal.

El hueso yugal es uno de los elementos fundamentales que, bajo la órbita, conforman el arco cigomático, contactando dorso-caudalmente con el hueso postorbitario, rostralmente con el maxilar y posteriormente con el cuadradoyugal. El hueso yugal puede llegar a extenderse hasta el palatino, pero manteniendo un contacto estrecho con la porción anterior del hueso pterigoideo, tal y como se aprecia en la Figura 69.

El hueso postorbital constituye parte del hueso temporal, por lo que contacta dorsocaudalmente con el hueso parietal, anterodorsalmente con el hueso frontal y ventralmente el hueso yugal y caudalmente alcanza al hueso escamosos (Figura 67)

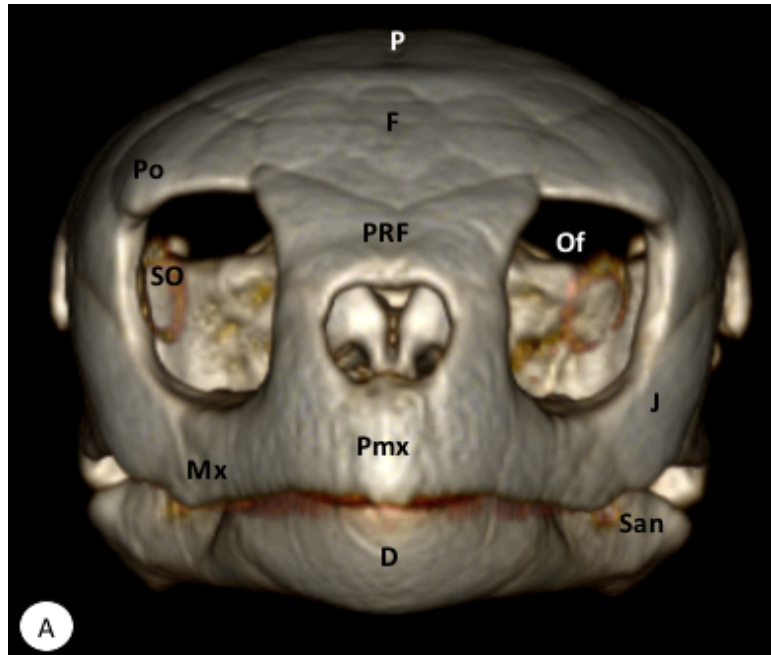


Figura 65. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista rostral. P: hueso parietal. F: hueso frontal. Po: postorbital. PRF: hueso prefrontal. Pmx: hueso premaxilar So: Mx: hueso maxilar D: hueso dentario J: hueso yugal. San: hueso surangular. Ept: hueso eptoterigoideo. V: vómer. Ns: hueso nasal

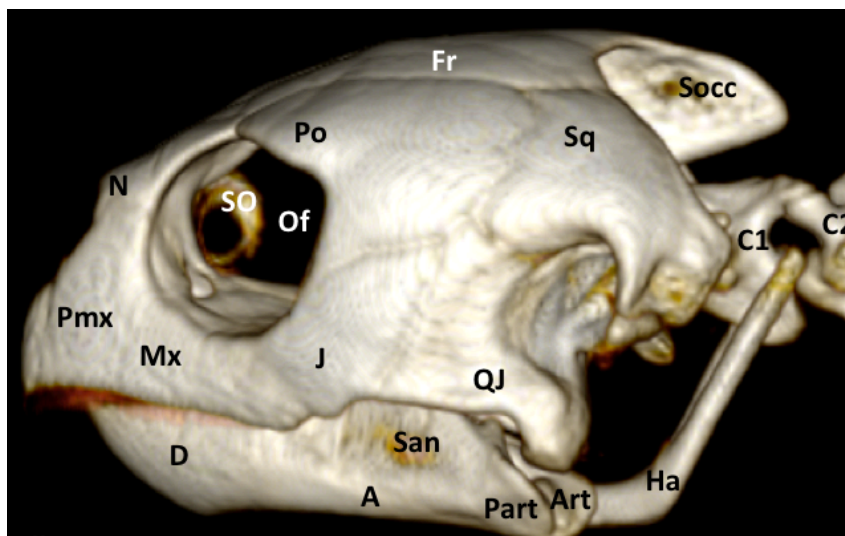


Figura 66. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista lateral. N: hueso nasal. Pmx: hueso premaxilar. F: hueso frontal. Po: huesos postorbital. J: hueso yugal. MX: hueso maxilar. D: hueso dentario SO: osificaciones escleróticas. A: Angular San: hueso surangular. Part: Prearticular. Art: hueso articular QJ: hueso cuadratoyugal Sq: hueso escamoso. B: basioccipital Pt: pterigoideo Socc: supraoccipital EPT: hueso epiterigoideo. Pa: hueso palatino. Co: coronoide. O: fosa orbitaria. Ha: aparato hioideo. C1: primera vértebra cervical. C2: segunda vértebra cervical

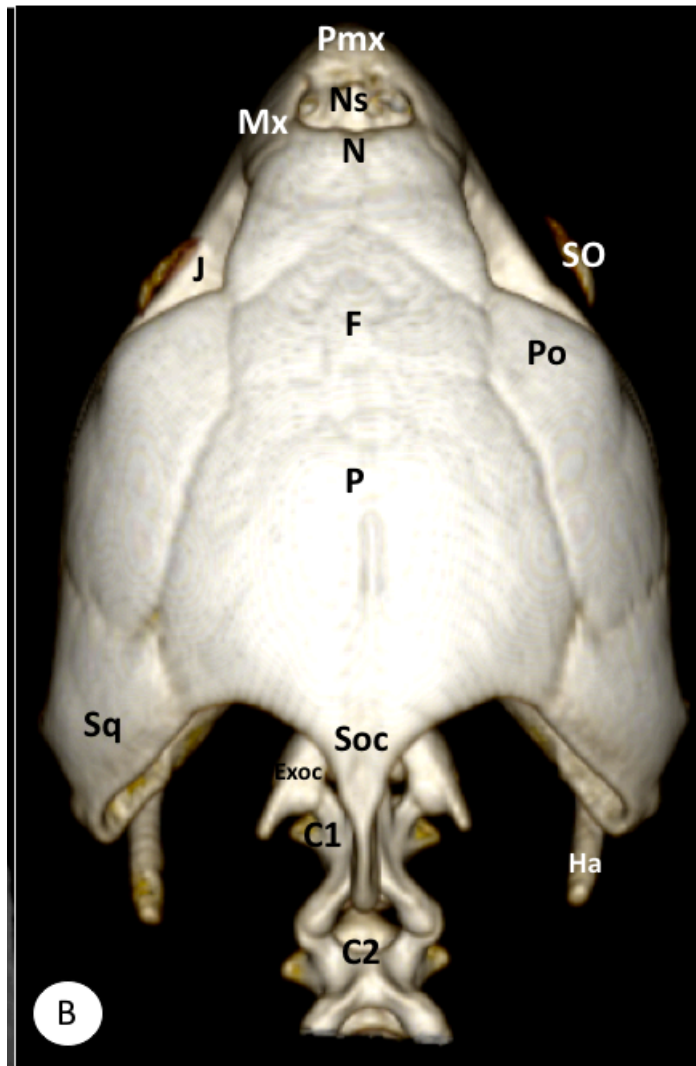


Figura 67. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista dorsal. Pmx: hueso premaxilar. N: hueso nasal. Ns:septo nasal. Sq: hueso escamoso. Prf: hueso prefrontal- F:hueso frontal. Pt: hueso pterigoideo. Q: hueso cuadrado. Bsp: hueso basiesfenoides. Soc: hueso supraoccipital. O: orbita. So: osificaciones escleróticas. Po: hueso posorbital. Ha: aparato hioideo. Mx: maxila. J: hueso yugal. P: hueso parietal. Exoc: hueso exoccipital.

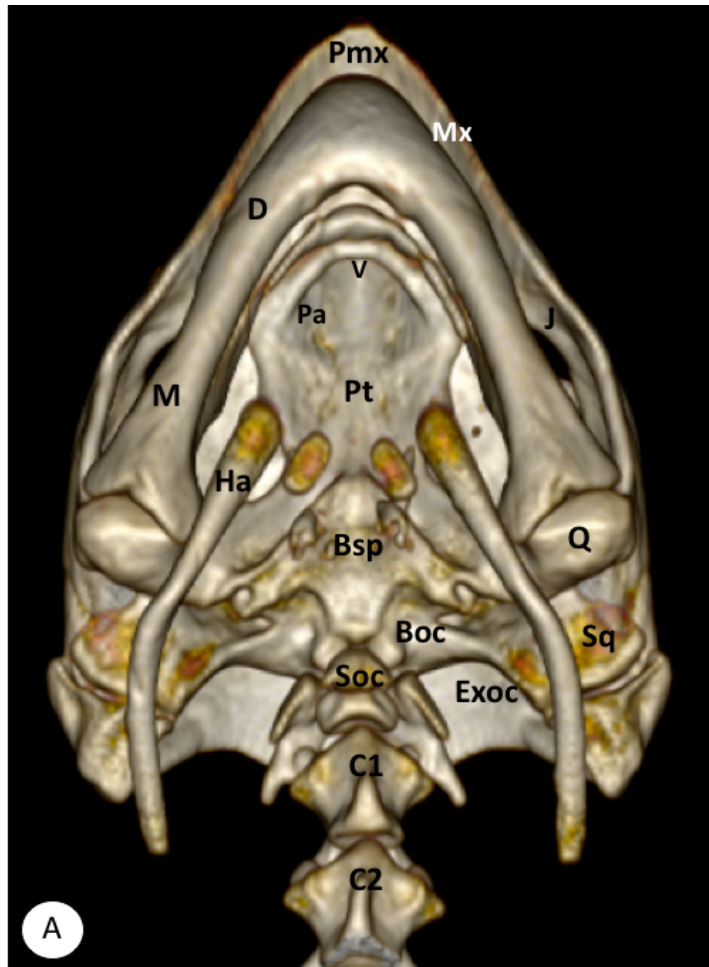


Figura 68. Reconstrucción tridimensional de superficie del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista ventral. M: mandíbula. D: hueso dentario Ha: aparato hiodeo. Pa: hueso palatino. V: hueso vómer. Pt: hueso pterigoideo Bsp: hueso basiesfenoides. Boc: hueso basioccipital. Soc: hueso supraoccipital. Exoc: hueso exoccipital. Mx: hueso maxilar. J: hueso yugal. Q: hueso cuadrado. Sq: hueso escamoso. SO: osificaciones escleróticas.

5.3.1. Reconstrucciones volumétricas (imágenes MIP)

Se presentan tres imágenes MIP correspondientes a las vistas rostral, lateral, ventral y dorsal de la tortuga boba. Se aprecia la unión caudomedial entre el hueso prefrontal y frontal, así como las uniones de los huesos frontales con los postfrontales y postorbitales, caudolateralmente. Los huesos prefrontales forman dos placas, perpendiculares entre sí, que confluyen en la cara anterodorsal de la órbita. La placa dorsal es la encargada de formar el borde dorsal de la apertura (narium externa), y gran parte del techo de la fosa nasal y la placa prefrontal descendente vertical forma el hueso lacrimal.

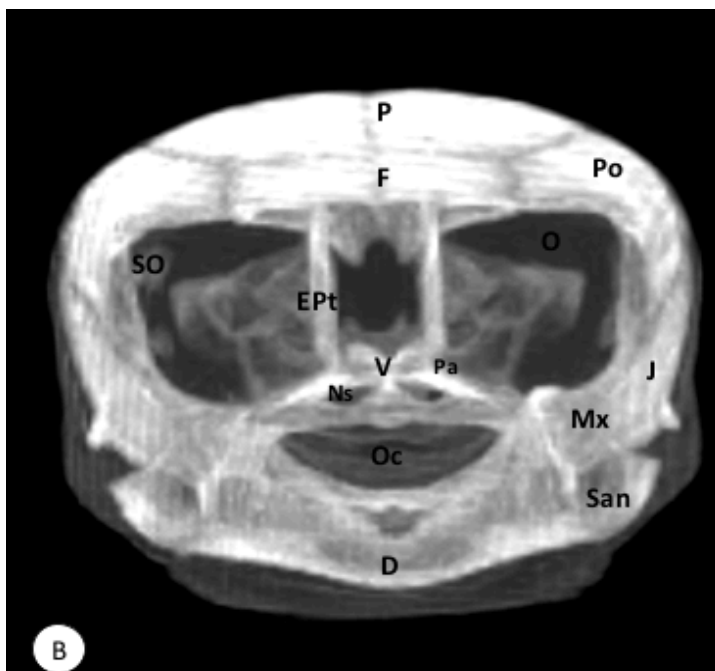


Figura 70. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista rostral. P: hueso parietal. F: hueso frontal. Po: postorbital. PRF: hueso prefrontal. Pmx: hueso premaxilar So: Mx: hueso maxilar D: hueso dentario J: hueso yugal. San: hueso surangular. Ept: hueso epitoteroideo. V: vómer. Ns: hueso nasal.

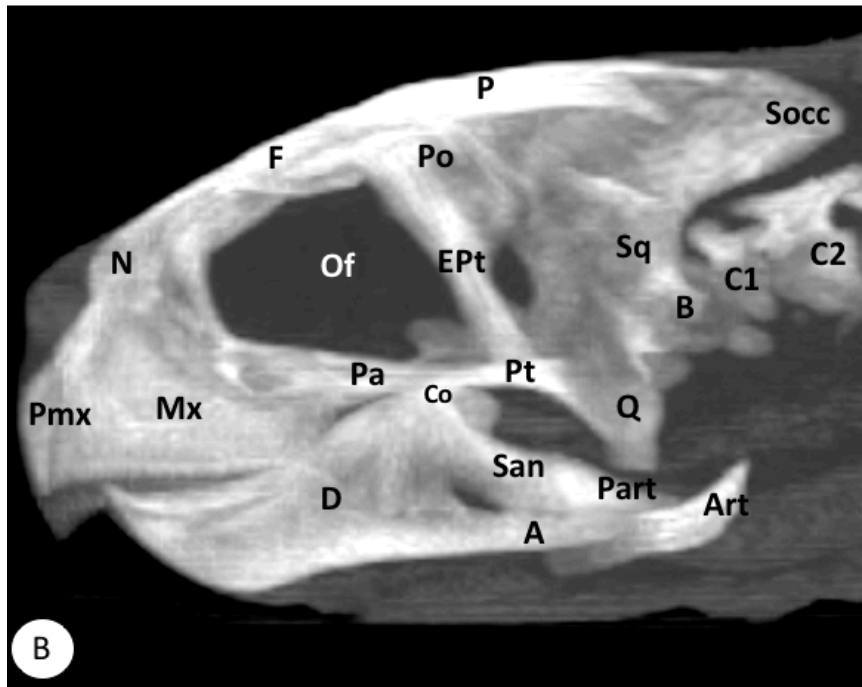


Figura 71. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista lateral. N: hueso nasal. Pmx: hueso premaxilar. F: hueso frontal. Po: hueso posorbital. J: hueso yugal. MX: hueso maxilar. D: hueso dentario SO: osificaciones escleróticas. A: Angular San: hueso surangular. Part: Prearticular. Art: hueso articular QJ: hueso cuadratoyugal Sq: hueso escamoso. B: basioccipital Pt: pterigoideo Socc: supraoccipital Ept: hueso epiterigoideo. Pa: hueso palatino. Co: coronoide. O: fosa orbitaria. Ha: aparato hioideo. C1: primera vértebra cervical. C2: segunda vértebra cervical

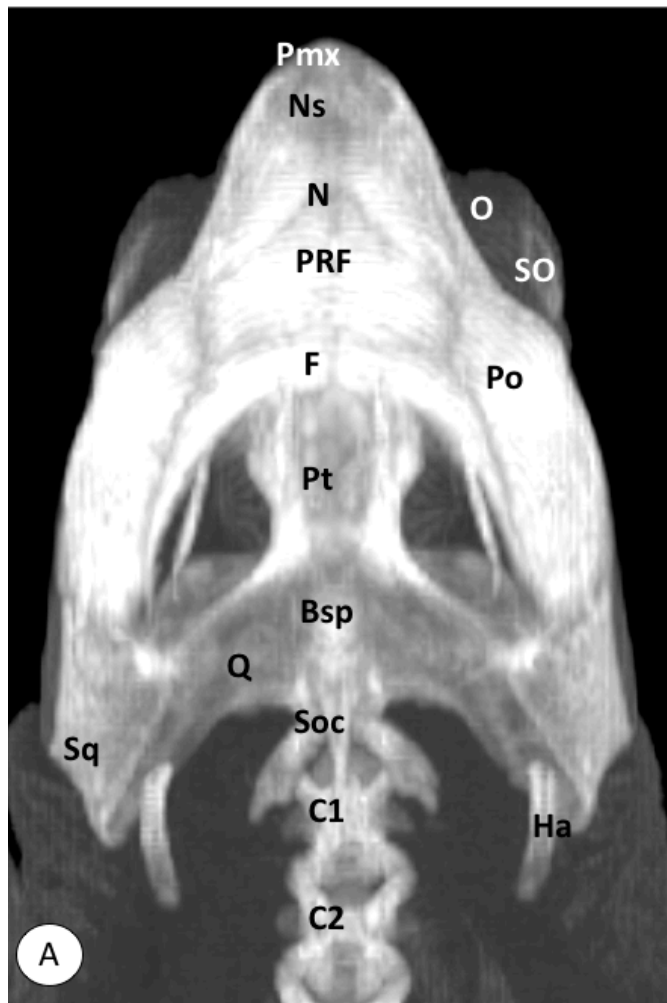


Figura 72. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista dorsal. Pmx: hueso premaxilar. N: hueso nasal. Ns: septo nasal Sq: hueso escamoso. Prf: hueso prefrontal- F:hueso frontal. Pt: hueso pterigoideo. Q: hueso cuadrado. Bsp: hueso basiesfenoides. Soc: hueso supraoccipital. O: orbita. So: osificaciones escleróticas. Po: hueso posorbital. Ha: aparato hioideo. Mx: maxila. J: hueso yugal. P: hueso parietal. Exoc: hueso exoccipital.

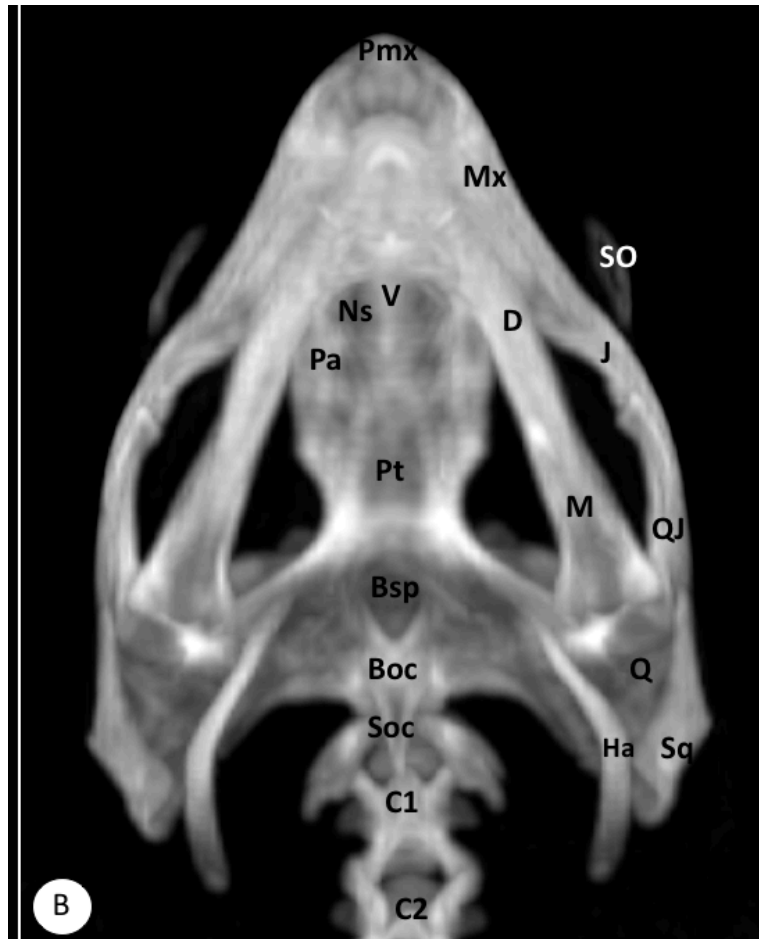


Figura 73. Reconstrucción volumétrica (Imagen MIP) del cráneo de tortuga *Caretta caretta*, Vista ventral. M: mandíbula. D: hueso dentario Ha: aparato hiodeo. Pa: hueso palatino. V: hueso vómer. Pt: hueso pterigoideo Bsp: hueso basiesfenoides. Boc: hueso basioccipital. Soc: hueso supraoccipital. Exoc: hueso exoccipital. Mx: hueso maxilar. J: hueso yugal. Q: hueso cuadrado. Sq: hueso escamoso. SO: osificaciones escleróticas.

5.4. Resultados científicos publicados

5.4.1. Cranial Structure of *Varanus komodoensis* as Revealed by CT Imaging

Nombre de la revista	Animals
Fecha de publicación	Agosto de 2021
Índice de impacto	3,231
Cuartil	Q1

Article

Cranial Structure of *Varanus komodoensis* as Revealed by Computed-Tomographic Imaging

Sara Pérez ¹, Mario Encinosa ² , Juan Alberto Corbera ¹ , Manuel Morales ¹, Alberto Arencibia ³ ,
Eligia González-Rodríguez ¹ , Soraya Déniz ² , Carlos Melián ², Alejandro Suárez-Bonnet ³ 
and José Raduan Jaber ^{3,*}

¹ Instituto Universitario de Investigaciones Biomedicas y Sanitarias (UIBS), Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain; saraperezalberto@gmail.com (S.P.); juan.corbera@ulpgc.es (J.A.C.); manuel.morales@ulpgc.es (M.M.); eligia.gonzalez102@alu.ulpgc.es (E.G.-R.)

² Hospital Clínico Veterinario, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain; mencinosa@gmail.com (M.E.); soraya.deniz@ulpgc.es (S.D.); carlos.melian@ulpgc.es (C.M.)

³ Departamento de Morfología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain; alberto.arencibia@ulpgc.es (A.A.); alejandro.suarez@ulpgc.es (A.S.-B.)

* Correspondence: joseraduan.jaber@ulpgc.es



Citation: Pérez, S.; Encinosa, M.; Corbera, J.A.; Morales, M.; Arencibia, A.; González-Rodríguez, E.; Déniz, S.; Melián, C.; Suárez-Bonnet, A.; Jaber, J.R. Cranial Structure of *Varanus komodoensis* as Revealed by Computed-Tomographic Imaging. *Animals* **2021**, *11*, 1078. <https://doi.org/10.3390/ani11041078>

Academic Editors:
Matilde Lombardero and Mar Yllera Fernández

Received: 1 March 2021

Accepted: 7 April 2021

Published: 9 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 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: We investigated the head of Komodo dragons using CT imaging. Cross-sections show that all cranial bones can be delineated, while soft tissue structures are evident but not clearly identifiable without an anatomical atlas. Additional three-dimensional reconstructed and maximum intensity projection images of the head were presented to depict bony structures. The anatomical structures identified on the CT images could help further assess the head of the Komodo dragon.

Abstract: This study aimed to describe the anatomic features of the normal head of the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) identified by computed tomography. CT images were obtained in two dragons using a helical CT scanner. All sections were displayed with a bone and soft tissue windows setting. Head reconstructed, and maximum intensity projection images were obtained to enhance bony structures. After CT imaging, the images were compared with other studies and reptile anatomy textbooks to facilitate the interpretation of the CT images. Anatomic details of the head of the Komodo dragon were identified according to the CT density characteristics of the different organic tissues. This information is intended to be a useful initial anatomic reference in interpreting clinical CT imaging studies of the head and associated structures in live Komodo dragons.

Keywords: computed tomography; head; Komodo dragon

1. Introduction

The introduction of imaging diagnostic techniques has revolutionized the knowledge in reptile medicine. The radiographic evaluation has been traditionally used by clinicians [1]. Nonetheless, the progressive increase in modern imaging modalities such as computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging has improved diagnostic abilities in reptile medicine and research [2]. Therefore, these techniques represent an enormous resource that allows for fast, non-invasive anatomy visualizations of internal structures that are challenging to interpret [2].

In recent years, the contributions of zoo veterinarians, researchers, and specialized technicians (anatomists, radiologists, and wildlife and exotic specialists) working with captive and free-ranging animals to prevent and treat diseases that threaten the survival of species in wildlife conservation have increased [3]. Since 1996, the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) is listed as vulnerable by the Red List of the World Conservation

Union [4]. To our knowledge, the anatomy of different species of reptiles has already been thoroughly described by radiology and CT [1,5–10], but only sparse numbers of these studies reported comprehensive descriptions of computed tomographic features of the head [1,5,6,9–12]. To date, not one of these reports investigates to what extent structures of the varanid head could be visualized and identified in low-resolution clinical CT-image data. In the Komodo dragon and other reptiles, the head conforms to a complex structure, which is challenging to interpret. The purpose of this study was to describe the normal anatomy of the head of the *Varanus komodoensis* by computed tomography, and three-dimensional head reconstructed images to assist in the understanding of the head and its associated structures.

2. Materials and Methods

2.1. Animals

Two 17-year-old female specimens born in captivity at Reptilandia Park (Las Palmas, Spain) were imaged at the Veterinary Clinic Hospital of Las Palmas de Gran Canaria University. One female had a length of 225 cm (snout-vent length) and weighed 36 kg, whereas the other had a length of 190 cm and weighed 24 kg. No physical abnormalities were detected before the study. The Ethical Committee of Las Palmas de Gran Canaria University, College of Veterinary Medicine Section authorized the research protocol (MV-2019/04). The owner of the animals was informed of the study and signed consent for participation in the study.

2.2. CT Technique

Sequential transverse CT slices were obtained using a 16-slice helical CT scanner (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, Spain). The animals were positioned symmetrically in ventral recumbency on the CT couch, and a standard clinical protocol (120 kVp, 80 mA, 512 × 512 acquisition matrix, 1809 × 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. The original transverse data were stored and transferred to the CT workstation. No CT density or anatomic variations were detected in the head of the dragons used in the study. In the CT technique, tissue density can be assessed directly on the image using the Hounsfield Unit scale. The range of values assumes 2000 shades of gray (between −1000 and +1000 HU). However, as the human eye cannot distinguish more than 30 shades, representing the entire range of values in an image implies not being able to visualize a large amount of information. Therefore, only a partial sector of the TC values previously selected by the operator (window selection) is represented by grayscale. Ultimately, the use of windows allows extracting the information that the computer has, showing only a part of it, which is of interest in each anatomical region. Therefore, bone window, soft tissue windows, brain window, and pulmonary window can be applied, delivering alternate streams of information. Thus, two CT 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). The original data were used to generate head 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). In addition, maximum intensity projection (MIP) images were obtained to better display the outlines between bones and other lower-attenuation structures using an image viewer (OsiriX MD, Apple, Cupertino, CA, USA). MIP is a specific type of rendering in which the brightest voxel is projected into the 3D image. There tends to be much less variability in MIP image reconstruction than in volume rendering because fewer parameters are factored into the MIP algorithm [13].

3. Results

3.1. Transverse Computed Tomography Images

Transverse sections are provided that demonstrate critical anatomical features of the varanid cranium (Figures 1–6). Figure 1 consists of three images: (C) Sagittal image of the head, where each line and number (I–VI) represents the approximate level of the following transverse CT images, (A) CT bone window, (B) CT soft tissue window. Figures 2–6 represent transverse CT images where (A) CT bone window, and (B) CT soft tissue window. The CT images are presented in a cranial to caudal progression from the septomaxilla level (Figure 1) to the brain stem level (Figure 6). The comparison between available literature and CT images enabled us to identify most of the clinically relevant anatomic structures of the head. These features were identified according to location and the degree of attenuation of the different tissues.

With regards to hard tissues, the CT images acquired using the bone window setting (Figures 1–6A) provided good differentiation between the bones and the soft tissues of the head. Thus, the bones of the cranium (prefrontal, frontal, postorbital, parietal, squamosal, quadrate, jugal, pterygoid, basioccipital, parabasisphenoid, and maxilla), the mandible (dentary, angular, surangular, and articular bones) and hyoid bones were easily recognizable because of the high CT density in cortical bone and the low CT density in their medullary cavities. Most of these structures were also visualized with the soft tissue window setting (Figures 1–6B).

Air-filled structures, such as the nasal cavity, larynx, trachea, and the oral cavity gave negligible CT-tissue density and appeared black with both window settings.

Soft-tissue structures—such as the jaw muscles, the labial and nasal glands, the eyes, and the Harderian glands—gave an intermediate CT density and appeared grey. The nervous structures (brain, cerebellum, lateral ventricles, brain stem, and spinal cord) were appreciated in both CT window modalities (Figures 3–6).

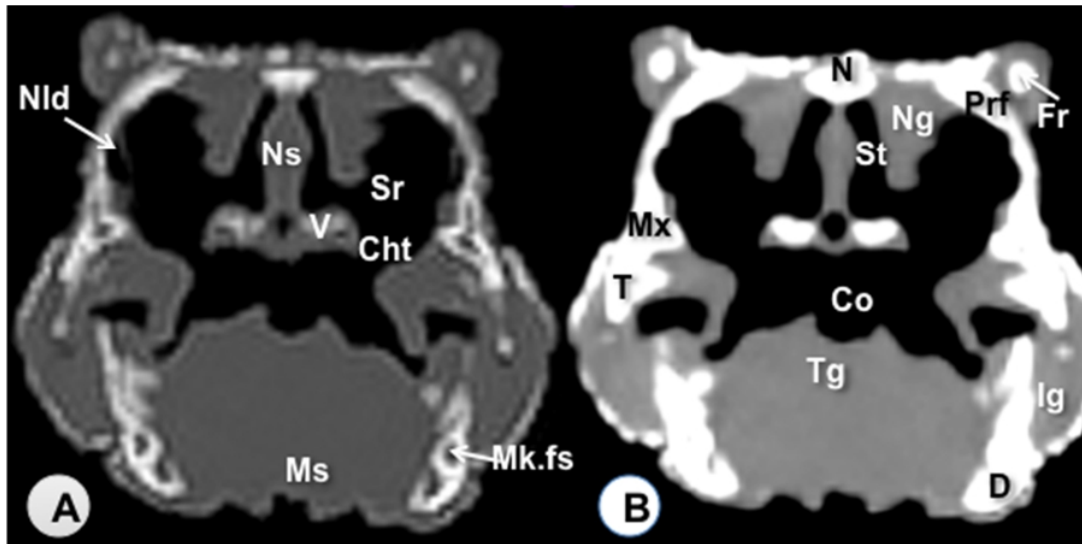


Figure 2. Transverse CT image of the head of *Varanus komodoensis* at the level of the nasal bone corresponding to line II. (A) CT bone window. (B) CT soft tissue window. These images are displayed so that the right side of the head is to the viewer's left and the dorsal view is at the top. N: Nasal bone. Prf: Prefrontal bone. Ns: Nasal septum. Ng: Nasal glands. St: Stammteil, V: Vomer. Sr: Subconchal recess. Cht: Choanal tube. Nld: Nasolacral duct. Mx: Maxillary bone. T: Tooth. Co: Cavum oris. Tg: Tongue. Ms: Musculus intermandibularis + Musculus geniohyoideus + Musculus pterygoideus + Musculus hyoglossus. D: Dentary bone. Mk.fs: Meckelian fossa. Ig: Infralabial glands. Fr: Frontal bone.

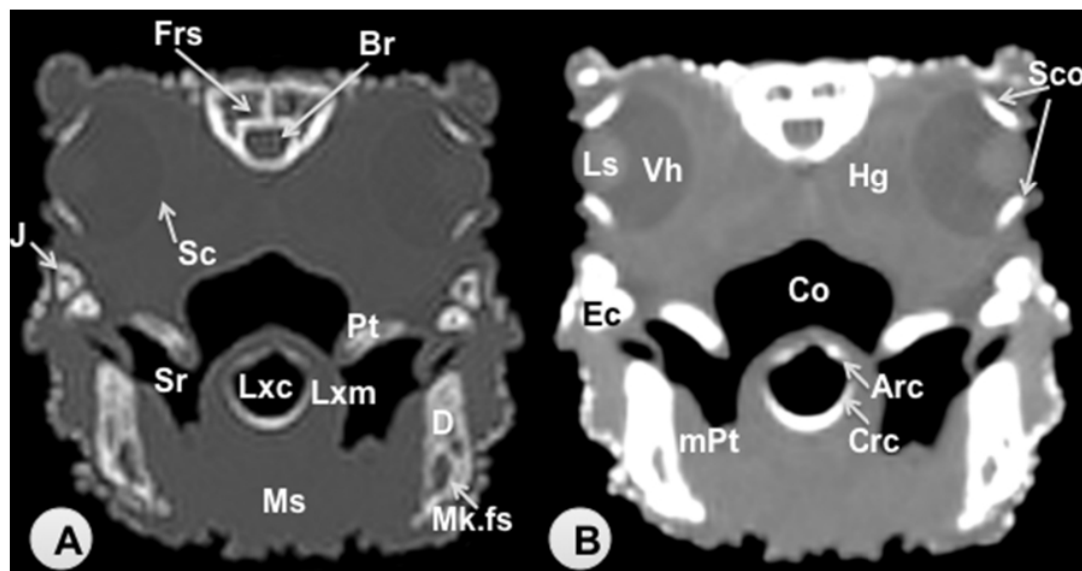


Figure 3. Transverse CT image of the head of *Varanus komodoensis* at the level of the eyes corresponding to line III. (A) CT bone window. (B) CT soft tissue window. These images are displayed so that the right side of the head is to the viewer's left and the dorsal view is at the top. Frs: Frontal sinus. Br: Brain. Sco: Scleral ossicles. Ls: Lens. Vh: Vitreous humor. Hg: Harderian gland. Sc: Sclera. J: Jugal bone. Ec: Ectopterygoid bone. Pt: Pterygoid bone. D: Dentary bone. Mk.fs: Meckelian fossa. mPt: Musculus pterygoideus. Lxc: Laryngeal cavity. Lxm: Laryngeal muscles. Ms: Musculus intermandibularis + Musculus geniohyoideus + Musculus genioglossus + Musculus hyoglossus. Crc: Cricoid cartilage. Arc: Arytenoid cartilage. Co: Cavum oris. Sr: Sublingual recess.

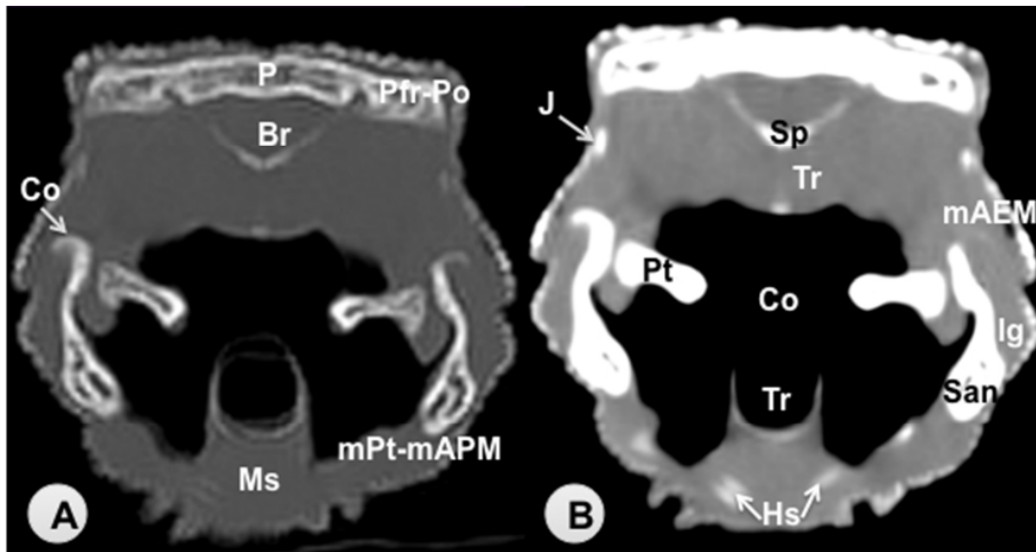


Figure 4. Transverse CT image of the head of *Varanus komodoensis* at the level of the parietal bone corresponding to line IV. (A) CT bone window. (B) CT soft tissue window. These images are displayed so that the right side of the head is to the viewer’s left and the dorsal view is at the top. P: Parietal bone (frontoparietal suture). Pfr-Po: Postfrontal + Postorbital bone. Br: Brain. Sp: Sphenoid bone. Pt: Pterygoid bone. San: Surangular bone. Co: Coronoid bone. Co: Cavum oris. Tr: Trachea. Hs: Hyobranchial skeleton. Ms: Musculus intermandibularis + Musculus geniohyoideus + Musculus hyoglossus. J: Jugal bone. Ig: Infralabial glands. mAEM: Musculus adductor mandibulae externus. mPt-mAPM: Musculus pterygoideus + Musculus adductor mandibularis posterior.

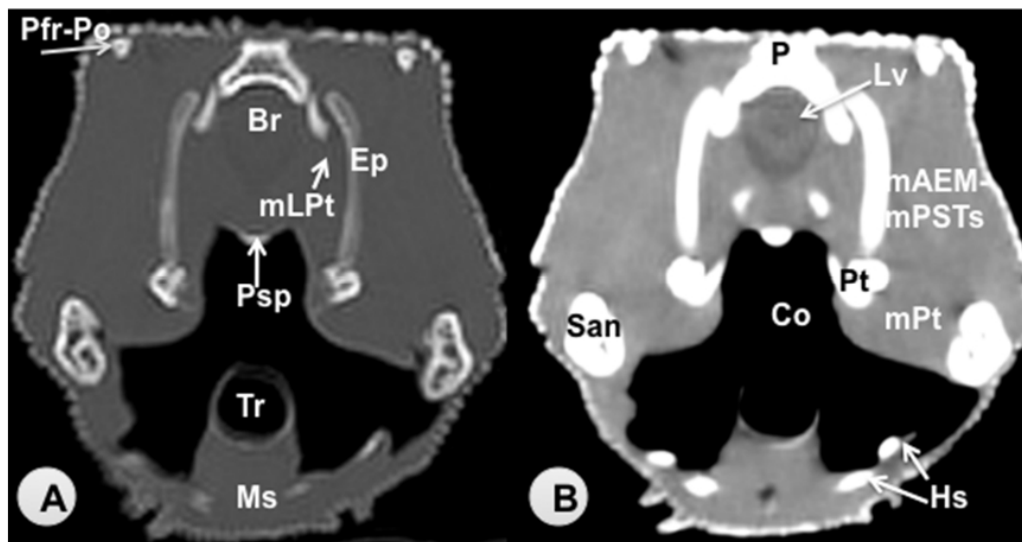


Figure 5. Transverse CT image of the head of *Varanus komodoensis* at the level of the postorbital + postfrontal bone corresponding to line V. (A) CT bone window. (B) CT soft tissue window. These images are displayed so that the right side of the head is to the viewer’s left and the dorsal view is at the top. P: Parietal bone. Lv: Lateral ventricle. Br: Brain. Ep: Epipterygoid bone. Pt: Pterygoid bone. Psp: Parabasisphenoid bone. Pfr-Po: postfrontal + postorbital bone. San: Surangular bone. Co: Cavum oris. Tr: Trachea. Hs: Hyobranchial skeleton. Ms: Musculus intermandibularis + Musculus geniohyoideus + Musculus hyoglossus. mAEM-mPSTs: Musculus adductor mandibulae externus + Musculus pseudotemporalis superficialis. mLpt: Musculus levator pterygoideus. mPt: Musculus pterygoideus.

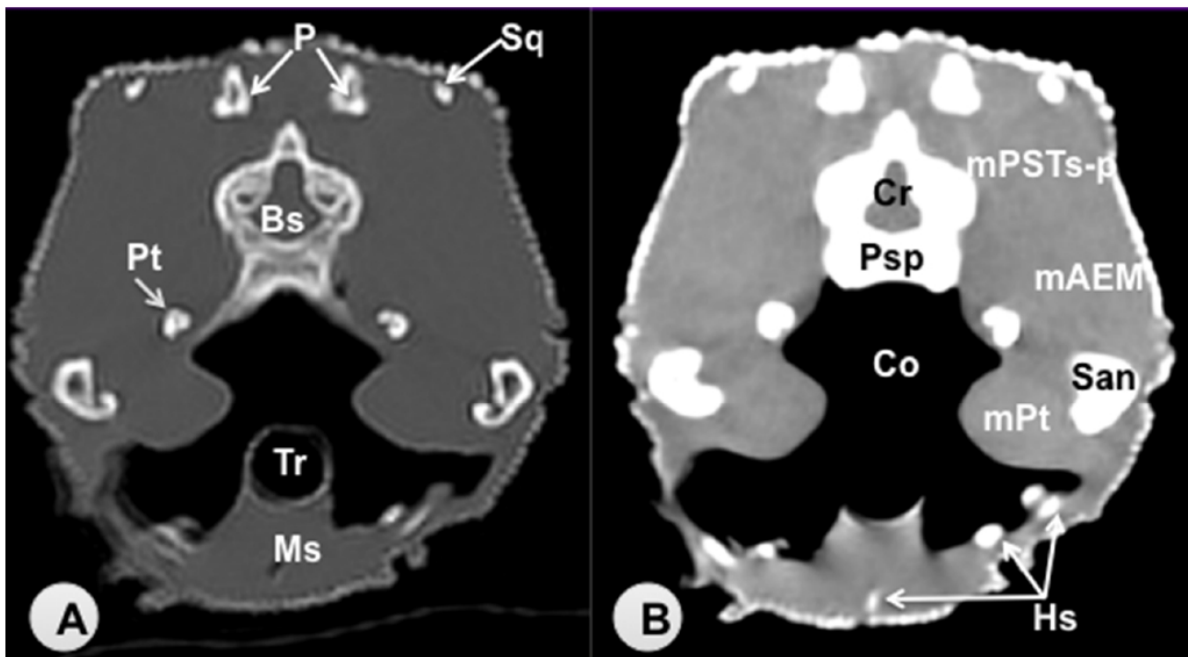


Figure 6. Transverse CT image of the head of *Varanus komodoensis* at the level of the squamosal bone corresponding to line VI. (A) CT bone window. (B) CT soft tissue window. These images are displayed so that the right side of the head is to the viewer's left and the dorsal view is at the top. Sq: Squamosal bone. P: Parietal bone. Cr: Cerebellum (vermis). Bs: Brain stem. Psp: Parabasisphenoid bone. Pt: Pterygoid bone. San: Surangular bone. Co: Cavum oris. Tr: Trachea. Hs: Hyobranchial skeleton. Ms: Musculus intermandibularis + Musculus geniohyoideus + Musculus hyoglossus. mAEM: Musculus adductor externus mandibularis. mPSTs-p: Musculus pseudotemporalis superficialis and profundus. mPt: Musculus pterygoideus.

3.2. Head Volume-Rendered Reconstructed Images

We provide images of the three-dimensional structure of the *Varanus* cranium in dorsal and ventral view (Figures 7 and 8, respectively) and the left lateral view (Figure 9). Volume-rendered reconstructed CT images provided good visualization of the different bones that compose the skull. Thus, the orbital border was circumscribed by the lacrimal, the prefrontal, and the jugal bones (Figures 7 and 9). Moreover, the jugal bone was distinguishable from the ectopterygoid (Figure 9). At the posterodorsal border of the orbit, the fusion of postorbital and postfrontal bones could be seen in the lateral and dorsal reconstructed CT images (Figures 7 and 9). In ventral view, the following bones of the neurocranium were clearly delineated: the parabasisphenoid, the basioccipital, and the prootic (Figure 8). The junction between premaxilla and maxilla with the tooth arranged in a curved row was identified in the lateral and ventral view (Figures 8 and 9). In the lateral view, this tooth row curved with the margin of the mandible and maxillary. Besides, the primary curvature of the maxilla was convex, whereas that of the mandible was concave. In addition, the coronoid process was quite prominent, and the surangular and articular bones were observed extending caudally (Figure 9).

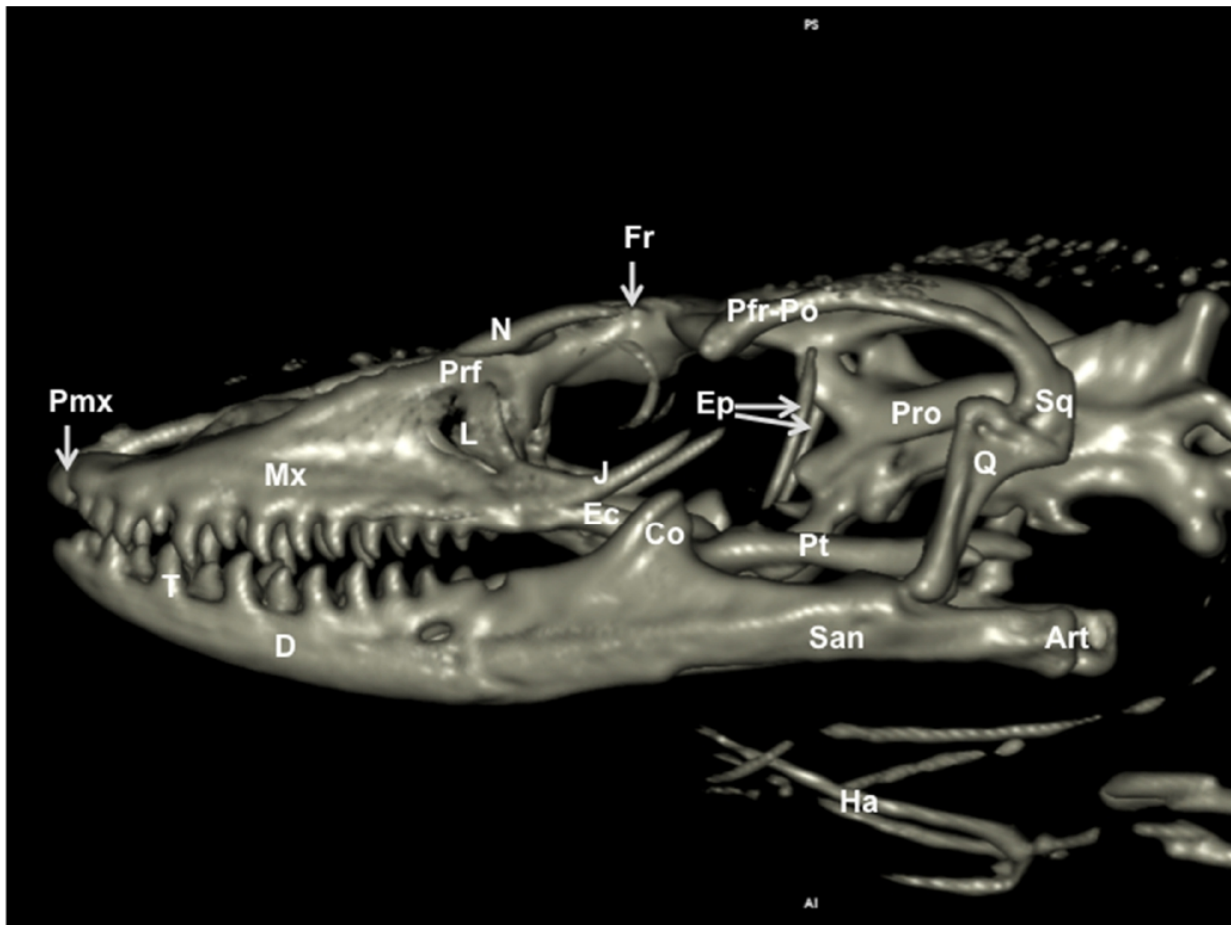


Figure 9. Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the cranium of *Varanus komodoensis*. Lateral aspect. Pmx: Preamaxillary bone. Mx: Maxillary bone. Prf: Prefrontal bone. N: Nasal bone. Fr: Frontal bone. L: Lacrimal bone. J: Jugal bone. Ec: Ectopterygoid bone. Pt: Pterygoid bone. Ep: Epipterygoid. Q: Quadrate bone. Sq: Squamosal. Pfr-Po: Postfrontal + postorbital. Pro: Prootic. D: Dentary bone. T: Tooth. San: Surangular bone. Art: Articular bone. Co: Coronoid bone. Ha: Hyoid apparatus.

3.3. Maximum Intensity Projection (MIP) Images

Two MIP images corresponding to dorsal (Figure 10) and ventral (Figure 11) views of the varanid skull were selected. These images were able to resolve the relation between the bones that comprise the head. The dorsal MIP image showed the junction between the premaxilla and the maxilla. We were also able to show how the laminar disposition of the vomer supports the septomaxilla (Figure 10). This last finding could be better distinguished in the ventral MIP image (Figure 11). The relation between the lacrimal, the prefrontal, and the frontal bones was seen in the dorsal view (Figure 10). At the posterodorsal border of the orbit, the fusion of postorbital and postfrontal bones could be easily seen. In addition to these observations, the junction of the frontal and the parietal bones were identified in dorsal (Figure 10) and ventral (Figure 11) MIP images. The ventral MIP image showed excellent visualization of the pterygoid, a flat, Y-shaped bone. This bone provides a rounded process that contacts the caudal border of the palatine. Moreover, this view displayed the junction between the parabasisphenoid, the prootic, and the basioccipital bones. This last bone forms the ventral portion of the occipital condyle.

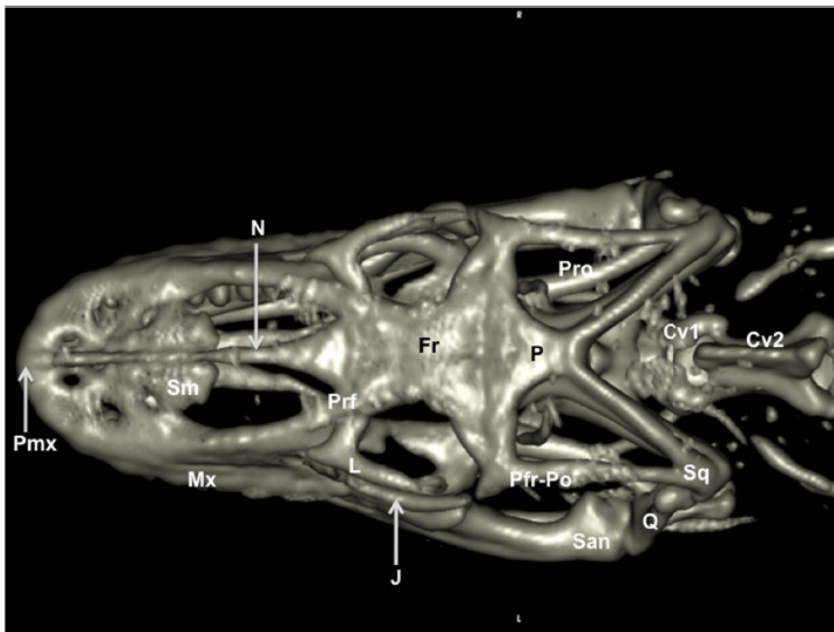


Figure 7. Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the cranium of *Varanus komodoensis*. Dorsal aspect. Pmx: Preamaxillary bone. Mx: Maxillary bone. Sm: Septomaxilla. N: Nasal bone. Prf: Prefrontal bone. Fr: Frontal bone. L: Lacrimal bone. J: Jugal bone. Q: Quadrate bone. Sq: Squamosal. Pfr-Po: Postfrontal + postorbital. P: Parietal. Pro: Prootic. San: Surangular bone. Cv1: First cervical vertebra. Cv2: Second cervical vertebra.

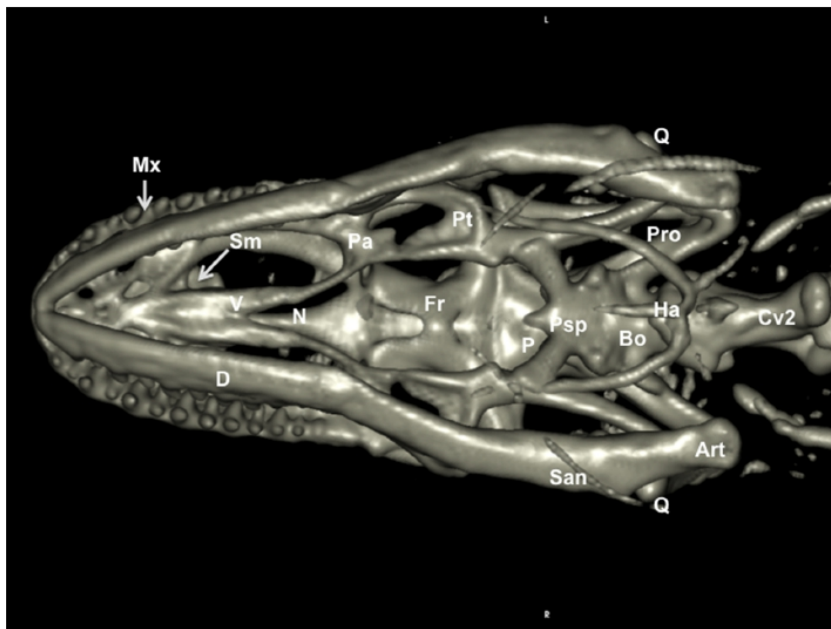


Figure 8. Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the cranium of *Varanus komodoensis*. Ventral aspect. Mx: Maxillary bone. D: Dentary bone. San: Surangular bone. Art: Articular bone. Q: Quadrate bone. Bo: Basioccipital bone. Psp: Parabasisphenoid bone. Pro: Prootic bone. Pt: Pterygoid bone. Pa: Palatine bone. V: Vomer. Sm: Septomaxilla. N: Nasal bone. Fr: Frontal bone. P: Parietal bone. Ha: Hyoid apparatus. Cv2: Second cervical vertebra.

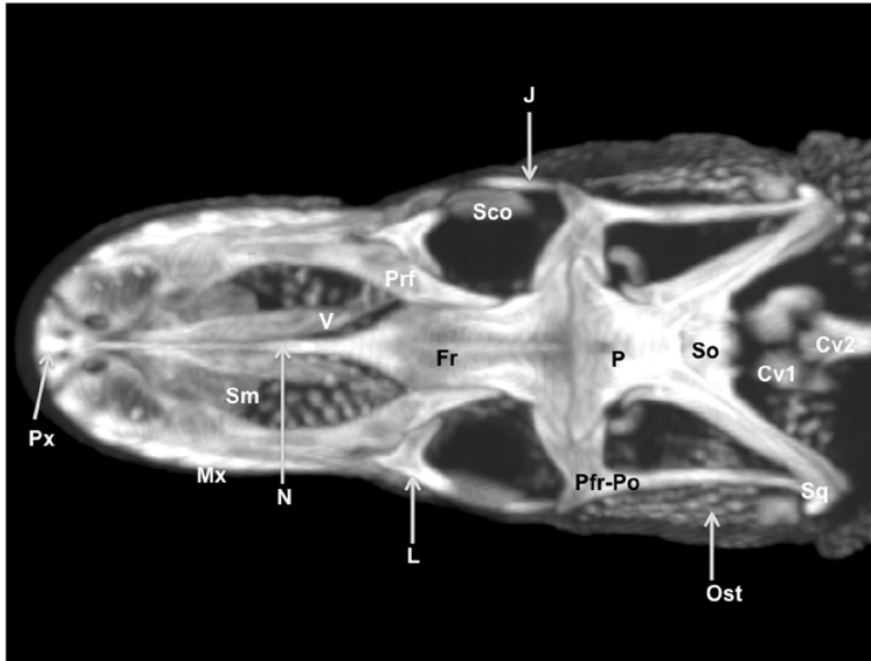


Figure 10. Dorsal MIP image of the cranium of *Varanus komodoensis*. Px: Premaxillary bone. Mx: Maxillary bone. Sm: Septomaxilla. V: Vomer. N: Nasal bone. Prf: Prefrontal bone. Fr: Frontal bone. L: Lacrimal bone. Sco: Scleral ossicles. J: Jugal bone. Pfr-Po: Postfrontal + postorbital. P: Parietal. So: Supraoccipital. Sq: Squamosal. Ost: Osteoderms. Cv1: First cervical vertebra. Cv2: Second cervical vertebra.

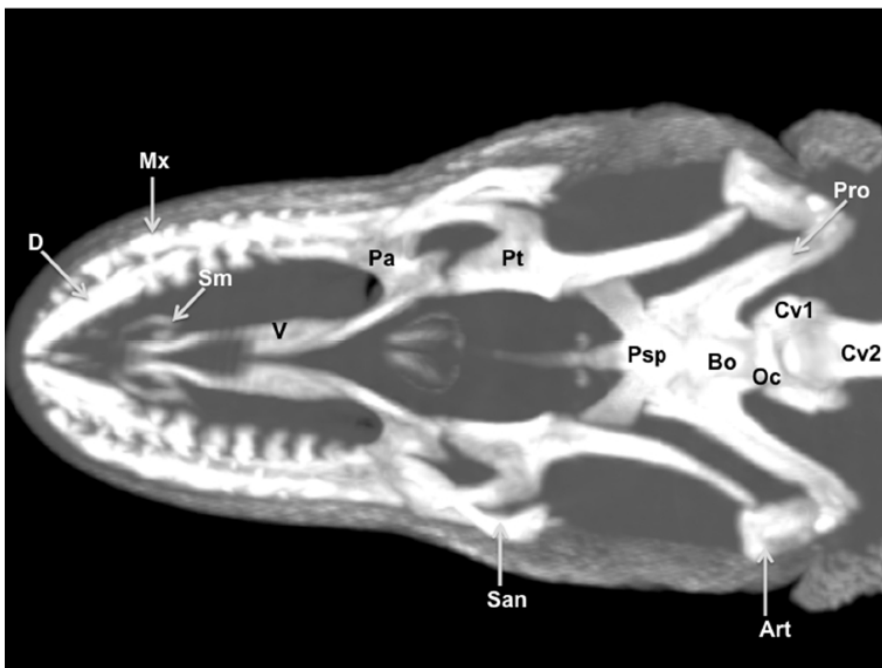


Figure 11. Ventral MIP image of the cranium of *Varanus komodoensis*. D: Dentary bone. Mx: Maxillary bone. San: Surangular bone. Art: Articular bone. Bo: Basioccipital bone. Psp: Parabasisphenoid bone. Oc: Occipital condyle. Pro: Prootic bone. Sm: Septomaxilla. V: Vomer. Pa: Palatine bone. Pt: Pterygoid bone. Cv1: First cervical vertebra. Cv2: Second cervical vertebra.

4. Discussion

In recent years, the contribution of imaging techniques to reptile medicine has increased the knowledge in veterinary practice and research [4–6,12]. Traditionally, radiography and ultrasonography have been used to obtain information on the bony and the main soft-tissue structures of different reptile regions [14,15]. More advanced imaging techniques, such as computed tomography, have become increasingly common in veterinary clinical practice [15]. Third and fourth generation CT scanners give considerable advantages over traditional radiography: body sections from different tomographic planes, fair anatomic resolution without superimposition of the tissues, and a higher differentiation of tissue densities allow better detection of several diseases [6,15,16]. Nonetheless, its use in reptile medicine is still limited because of the cost of the equipment, availability, and logistic problems of acquiring CT images in these animals [6,15].

The cranium of the genus *Varanus* is a complex structure that has received some attention in morphofunctional studies [12,17], perhaps due to the enormous disparity in the form that evolved among varanid lizards [18]. The head of this iconic varanid represents a complex structure, composed of various tissues with varying degrees of attenuation in radiographic images, making it a challenging object to assess. The two window settings used in our CT study facilitated the identification of the main head structures such as the bones of the skull, mandible, muscles, air-filled structures of the respiratory and digestive system, the nervous system and other associated structures. Visualizing images through use of the “bone window” provided good resolution for skeletal structures, whereas the “soft tissue window” allowed us to distinguish the eyes and the nervous structures from the remaining soft tissues. Similar results were described in other studies conducted in reptiles [1,5,6,15]. Several causes have been reported to explain the low resolution of soft tissue structures showed in our study [1,15], such as the small volume of these species, the impossibility of reducing the field of view of the CT scanner, and the presence of bones embedded within the skin. These bones, called cephalic osteoderms, vary in shape and complexity and serve primarily as a defensive anatomical system to protect individuals during aggressive confrontations with other specimens [11]. To avoid this low resolution, some investigations reported the use of micro-CT scanners [17], although this equipment is not usually available in veterinary clinics [15].

Employing computed tomography, we were able to fully visualize the cranium in virtual reconstructions and MIP images. Thus, the reconstructed images showed a broad, dorsoventrally compressed cranium. The mandible was curved, and teeth were laterally compressed. This morphology contrasts with most other varanids, which feature a relatively narrow rostrum, a dorsoventrally tall cranium, and a straight ventral margin of the maxilla [18]. Additionally, an enormous variation of the orbit was observed, especially along the posterior margin of the orbit, which is closed in lizards, or semiclosed in these varanids. This fact is determined by variation in the shape, size, and presence of the jugal bone and variations in the postorbital and postfrontal bones [19]. MIP images proved a helpful tool in delineating bones in volume-rendered images.

In conclusion, the CT images obtained in this study provided an adequate anatomical interpretation of the head of *Varanus komodoensis*. This information could be used to diagnose disorders involving the head of lizards, such as abscesses, metabolic bone diseases, fractures, and neoplasia.

Author Contributions: Conceptualization, A.A., S.P. and J.R.J.; Methodology, S.P., J.A.C., E.G.-R., A.S.-B. and M.E.; Formal analysis, J.R.J., M.E. and A.A.; Investigation, S.D. and M.M.; Writing—original draft, A.A. and J.R.J.; Writing—review and editing, C.M.; Supervision, J.R.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding and the University of Las Palmas de Gran Canaria funded the study.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethical Committee of Las Palmas de Gran Canaria University, College of Veterinary Medicine Section (protocol code MV-2019/04).

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: In loving memory of Alvaro Domingo Rodriguez Garcia. We also thank Marisa Mohamad for her support and constructive comments.

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

References

1. 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](#)]
2. 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](#)] [[PubMed](#)]
3. Deem, S.L. Role of the zoo veterinarian in the conservation of captive and free ranging wildlife. *Int. Zoo Yearb.* **2007**, *41*, 3–11. [[CrossRef](#)]
4. IUCN/SSC. IUCN Red List of Threatened Species. 2002. Available online: www.redlist.org (accessed on 1 December 2020).
5. Banzato, T.; Selleri, P.; Veladiano, I.A.; Martin, A.; Zanetti, E.; Zotti, A. Comparative evaluation of the cadaveric, radiographic and computed tomographic anatomy of the heads of green iguana (*Iguana iguana*), common tegu (*Tupinambis merianae*) and bearded dragon (*Pogona vitticeps*). *BMC Vet. Res.* **2012**, *11*, 53. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Arencibia, A.; Rivero, M.; De Miguel, I.; Contreras, S.; Cabrero, A.; Oros, J. Computed tomographic anatomy of the head of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Res. Vet. Sci.* **2006**, *81*, 165–169. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Banzato, T.; Selleri, P.; Veladiano, I.A.; Zotti, A. Comparative Evaluation of the Cadaveric and Computed Tomographic Features of the Coelomic Cavity in the Green Iguana (*Iguana iguana*), Black and White Tegu (*Tupinambis merianae*) and Bearded Dragon (*Pogona vitticeps*). *Anat. Histol. Embryol.* **2013**, *42*, 453–460. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Pees, M.; Kiefer, I.; Thielebein, J.; Oechtering, G.; Krautwald-Junghanns, M.E. Computed tomography of the lung of healthy snakes of the species *Python regius*, *Boa constrictor*, *Python reticulatus*, *Morelia viridis*, *Epicrates cenchria* and *Morelia spilota*. *Vet. Radiol. Ultrasound* **2009**, *50*, 487–491. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Hernández, C.; Peloso, P.L.; Bolívar, W.; Daza, J.D. Skull Morphology of the Lizard *Ptychoglossus vallensis* (Squamata: Alopoglossidae) with Comments on the Variation within Gymnophthaloidea. *Anat. Rec.* **2019**, *302*, 1074–1092. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
10. Maisano, J.A.; Rieppel, O. The skull of the Round Island boa, *Casarea dussumieri schlegel*, based on high-resolution X-ray computed tomography. *J. Morphol.* **2007**, *268*, 371–384. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Maisano, J.A.; Laduc, T.J.; Bell, C.J.; Barber, D. The Cephalic Osteoderms of *Varanus komodoensis* Revealed by High-Resolution X-ray Computed Tomography. *Anat. Rec.* **2019**, *302*, 1675–1680. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Moreno, K.; Wroe, S.; Clausen, P.; McHenry, C.; D'Amore, D.C.; Rayfield, E.J.; Cunningham, E. Cranial performance in the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) as revealed by high-resolution 3-D finite element analysis. *J. Anat.* **2008**, *212*, 736–746. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Fishman, E.K.; Ney, D.R.; Heath, D.G.; Corl, F.M.; Horton, K.M.; Johnson, P.T. Volume rendering versus maximum intensity projection in CT angiography: What works best, when, and why. *Radiographics* **2006**, *26*, 905–922. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Knipe, F.M. Principles of neurological imaging of exotic animal species. *Vet. Clin. N. Am. Exot. Anim. Pract.* **2007**, *10*, 893–907. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Banzato, T.; Hellebuyck, T.; Van Caelenberg, A.; Saunders, J.H.; Zotti, A. A review of diagnostic imaging of snakes and lizards. *Vet. Rec.* **2013**, *173*, 43–49. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. George, T.F., II; Smallwood, J.E. Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: Head and neck. *Vet. Radiol. Ultrasound* **1992**, *33*, 217–240. [[CrossRef](#)]
17. Wilken, A.T.; Middleton, K.M.; Sellers, K.C.; Cost, I.N.; Holliday, C.M. The roles of joint tissues and jaw muscles in palatal biomechanics of the savannah monitor (*Varanus exanthematicus*) and their significance for cranial kinesis. *J. Exp. Biol.* **2019**, *222*, jeb201459. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. Mertens, R. Die Familie der Warane (Varanidae). 2, Der Schädel. *Senck. Naturf. Ges.* **1942**, *465*, 1–118.
19. Evans, S. The skull of lizards and Tuatara. *Biol. Reptil.* **2008**, *20*, 1–347.

5.4.2. Comparative evaluation of the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) and the Green iguana (*Iguana iguana*) skull by three-dimensional computed tomographic reconstruction

Nombre de la revista	Slovenian Veterinary Research
Fecha de publicación	Julio de 2021
Índice de impacto	0.922
Cuartil	Q3

COMPARATIVE EVALUATION OF THE KOMODO DRAGON (*Varanus komodoensis*) AND THE GREEN IGUANA (*Iguana iguana*) SKULL BY THREE-DIMENSIONAL COMPUTED TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION

Sara Pérez¹, Mario Encinosa¹, Manuel Morales¹, Alberto Arencibia², Alejandro Suárez-Bonnet³, Eligia González-Rodríguez¹, J. Raduan Jaber^{2*}

¹Instituto Universitario de Investigaciones Biomedicas y Sanitarias (IUIBS), ²Departamento de Morfología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Trasmontaña, Arucas, 35413 Las Palmas, Spain, ³Department of Pathobiology, The Royal Veterinary College, University of London, Hertfordshire, AL9 7TA, London, United Kingdom

*Corresponding author, E-mail: joseraduan.jaber@ulpgc.es

Abstract: The purpose of this paper was to do a comparative evaluation of the skull of two species of lizards, the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) and the Green Iguana (*Iguana iguana*), by three-dimensional computed tomographic reconstruction. Images provided by this method give excellent anatomic detail of the skull. Therefore, essential differences in the configuration of the orbit and the lateral bones of the neurocranium were visualized in lateral and dorsal reconstructed images. The images obtained by tridimensional computed tomographic reconstruction can be a valuable diagnostic aid for the clinical evaluation of several head disturbances in lizards.

Key words: computed tomography; 3D reconstruction; anatomy; skull; lizards

Introduction

Reptiles are a peculiar kind of animal characterized by corneous scales that protect them from desiccation (1). This class of animals is divided into four orders: Chelonians, which comprise turtles, tortoises, and terrapins; Crocodylia, whose specimens are alligators and crocodiles; Rhynchocephalia, with tuataras; and Squamata, represented by two suborders: Ophidia (snakes) and Lacertilia (lizards) (2). Some of these species have become very common in recent years as pets, which became a challenge for veterinary

clinicians since they have to overcome the lack of a reference system similar to canine and feline medicine (3). Thus, it is essential to know and understand their anatomy for an adequate diagnosis and treatment of diseases (4,5).

The introduction of modern diagnostic imaging techniques such as x-ray computed tomography (CT) has been an essential support to specialists. It has afforded the chance to study anatomy and apply it in the clinical features of these species (6). Furthermore, compared with conventional radiography, the digital image format of CT results in improved tissue contrast. In addition, manipulation of the greyscale allows optimal visualization of all tissues within the slice. These characteristics are

Received: 21 April 2021

Accepted for publication: 1 July 2021

advantageous to obtain anatomical information about different regions of the animal body. The recent advances in CT technology include applying computer software to generate three-dimensional (3D) construction of an area of anatomic interest. This technique requires multiple thin section images, and the advantages of this process are that anatomical detail is improved, and can image bony structures with different degrees of rotation (6). CT reconstruction has already been used in morphofunctional studies performed in the Savannah monitor (7) and American Alligator (8). However, there are no reports concerning comparative anatomy of the skull of different species of reptiles by three-dimensional reconstructed CT to the author's knowledge. The few descriptions performed in these species only deal with cross-sectional studies such as those done in the Boa constrictor (4), the Green iguana, the Common tegu, and the Bearded dragon head (5), and more recently, an anatomic interactive atlas of the loggerhead sea turtle head using images obtained via osteology, gross dissections, and computed tomography (9). Therefore, this study aimed to describe and compare the normal anatomy of two species of lizards, the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) and Green iguana (*Iguana iguana*) skull performing three-dimensional CT reconstruction.

Materials and methods

Animals

Two adult female Komodo dragons (*Varanus komodoensis*) and two male green iguanas (*Iguana iguana*) were imaged at the Veterinary Clinic Hospital of Las Palmas de Gran Canaria University. No physical examination abnormalities were detected before the study. The reptiles owner was informed of the study and signed consent for participation in it.

CT technique

Sequential transverse CT slices were obtained using a 16-slice helical CT scanner (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, Spain). The animals were positioned symmetrically in ventral recumbency on the CT couch. 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. The original transverse data were stored and transferred to the CT workstation. No CT density or anatomic variations were detected in the head of the reptiles used in the investigation. In this study, we applied two CT windows by adjusting the window widths (WW) and window levels (WL) to appreciate the CT appearance of the head structures: a bone window setting (WW = 1500; WL = 300) and a soft tissue window setting (WW = 350; WL = 40). The original data were used to generate head 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).

Results

Head three-dimensional volume-rendered reconstruction images corresponding to dorsal (Fig. 1, 4) and ventral (Fig. 2, 5) views and the left lateral view (Fig.3, 6) of the Komodo dragon and green iguana head. Volume-rendered reconstructed CT images showed excellent visualization of the bones that comprised the skull. Therefore, in the Komodo dragon head, the orbit was cranial and ventrally delimited by the lacrimal, the prefrontal, and the jugal bones (Figs. 1,3). Besides, this technique allowed us to visualize the relation between this last and the ectopterygoid bone (Fig.3). Caudodorsally, the junction of the postorbital and postfrontal bones could be observed in the lateral and dorsal reconstructed CT images (Figs. 1,3). Moreover, the ventral CT reconstructed image identified the intersection of the frontal and the parietal bones. The different bones of the neurocranium, such as the parabasisphenoid, the basioccipital, and the prootic bones, were easily identifiable (Fig. 2). Besides, the laminar disposition of the vomer and how it supports the septomaxilla were observed (Fig.2). The junction between the premaxilla and the maxilla with the tooth arranged in a straight row was identified in the lateral and ventral reconstructed CT images (Figs. 2,3). The jaw showed a straight tooth row and a curved ventral border in the lateral reconstructed CT image. In addition, the coronoid process was quite prominent, and the surangu-

lar and articular bones were observed extending caudally (Fig. 3). The ventral reconstructed image showed excellent pterygoid visualization, which is flat and “y” shaped bone. This one had a rounded process, where the caudal border of the

palatine process contacts. This view also depicted the junction between the parabasisphenoid, the prootic, and the basioccipital bones. The ventral portion of this last bone constituted the occipital condyle (Fig. 2).

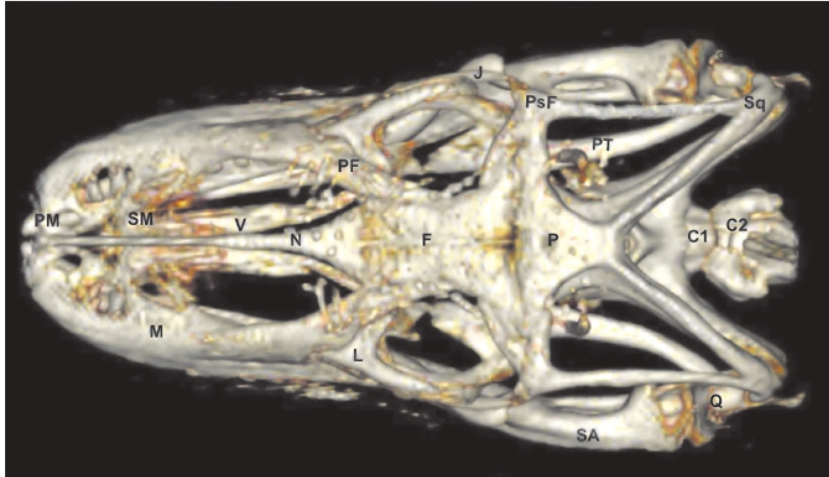


Figure 1: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Komodo dragon head. Dorsal aspect. PM: Premaxillary bone. M: Maxillary bone. SM: Septomaxilla. N: Nasal bone. V: Vomer. PF: Prefrontal bone. F: Frontal bone. L: Lacrimal bone. J: Jugal bone. Q: Quadrate bone. Sq: Squamosal. PsF: Postfrontal+postorbital. P: Parietal. PT: Pterygoid bone. SA: Surangular bone. C1: First cervical vertebra. C2: Second cervical vertebra

Figure 2: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Komodo dragon head. Ventral aspect. D: Dentary bone. SA: Surangular bone. A: Articular bone. SM: Septomaxilla. V: Vomer. PL: Palatine bone. PT: Pterygoid bone. PsF: Postfrontal+postorbital bone. N: Nasal bone. F: Frontal bone. P: Parietal bone. PB: Parabasisphenoid bone. BO: Basioccipital bone. OC: Occipital condyle. PRO: Prootic bone. Q: Quadrate bone.

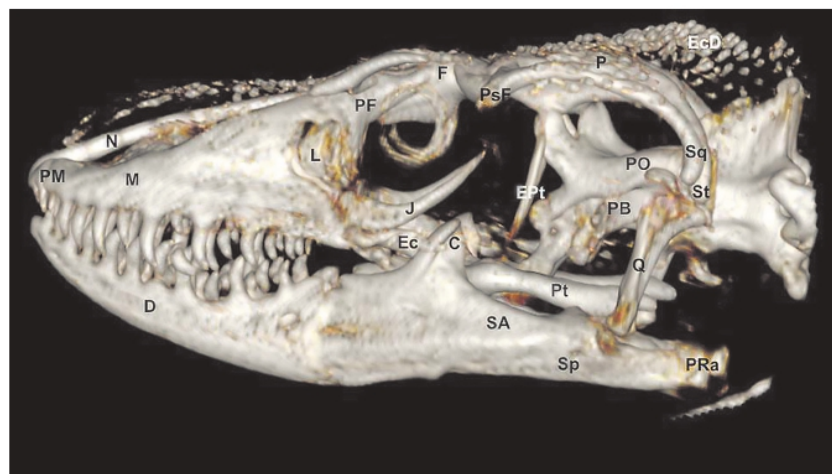
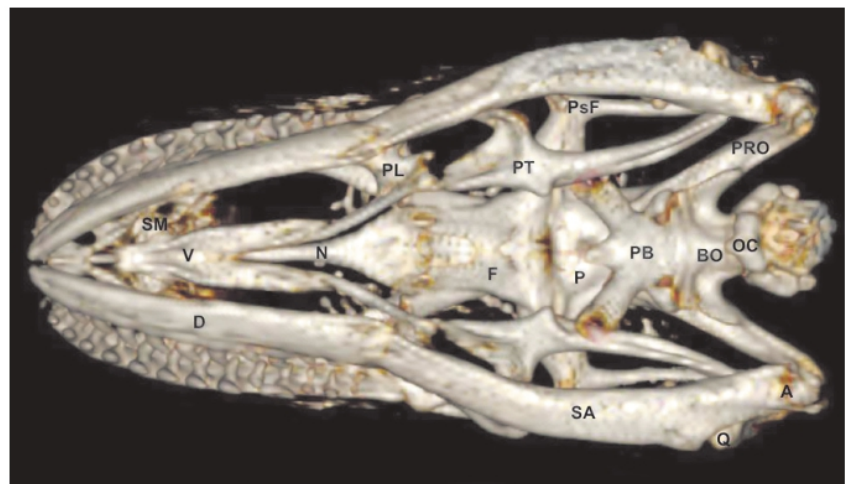


Figure 3: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Komodo dragon head. Lateral aspect. PM: Premaxillary bone. M: Maxillary bone. PF: Prefrontal bone. N: Nasal bone. F: Frontal bone. L: Lacrimal bone. J: Jugal bone. Ec: Ectopterygoid bone. Pt: Pterygoid bone. Ept: Epipterygoid. Q: Quadrate bone. St: Supratemporal. Sq: Squamosal. PsF: Postfrontal+postorbital. PRO: Prootic. PB: Parabasisphenoid bone. P: Parietal bone. D: Dentary bone. C: Coronoid bone. SA: Surangular bone. Sp: Splenic. PRa: Retroarticular process. EcD: Osteoderms

Concerning the green iguana head, the lateral reconstructed images showed a high and domed skull (Fig. 6). In contrast with the Komodo dragon head, the orbit of the green iguana was closed by the postfrontal and the postorbital bone junction, which was extended to the posterior margins of bony orbits till articulate with the jugal bone (Figs. 4,6). Therefore, the jugal formed the lateral wall of the bony orbit and was joined with lacrimal (dorsally), maxillary (ventrally), ectopterygoid (medially), postorbital (caudodorsally), and squamosal (caudally) (Fig. 6). This view identified frontal, parietal, and postfrontal bones (Fig. 6). Moreover, the prefrontal bones connecting rostrally maxillary and nasal bones, laterally to lacrimal bones, and caudodorsally to frontal bones were also identified in the dorsal view (Fig. 4). This prefrontal bone participated in the dorsal and rostral orbit walls (Figs. 4,6). This lateral view showed the junction between squamosal, ectopterygoid, epipterygoid, pterygoid, quadrate, and prootic bones. This last one had a square shape and formed the neurocranium's lateral walls, which were also well visualized in ventral reconstructed images (Fig. 5). Thus, the junction between the basioccipital, the parabasisphenoid bones, and its lateral connection with the pterygoid could be observed. These ventral and lateral reconstructed images showed the bones composing the jaw. Thus, the dentary, the coronoid, the surangular, and the articular bones were evident in these views.

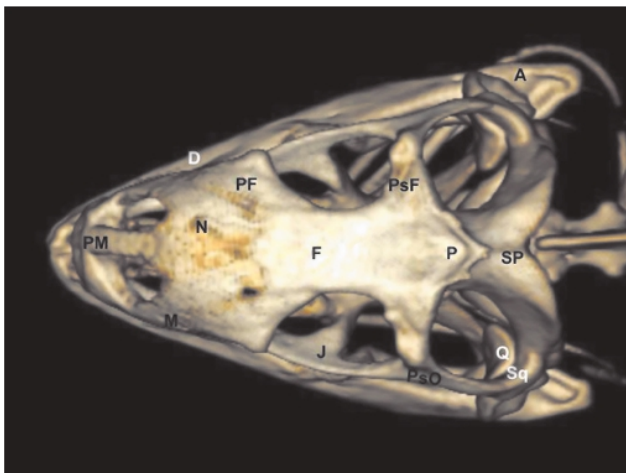


Figure 4: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Green iguana head. Dorsal aspect. PM: Premaxillary bone. M: Maxillary bone. N: Nasal bone. PF: Prefrontal bone. F: Frontal bone. J: Jugal bone. Q: Quadrate bone. Sq: Squamosal. PsF: Postfrontal. PsO: Postorbital. P: Parietal. SP: Supraoccipital bone. D: Dentary bone. A: Articular bone

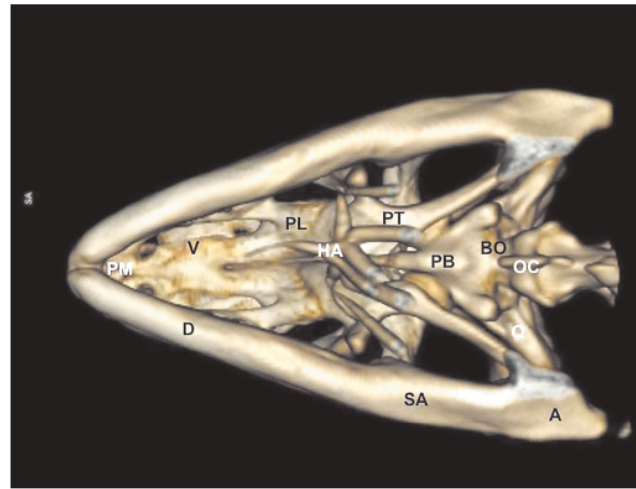


Figure 5: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Green iguana head. Ventral aspect. D: Dentary bone. SA: Surangular bone. A: Articular bone. PM: Premaxillary bone. V: Vomer. PL: Palatine bone. PT: Pterygoid bone. PB: Parabasisphenoid bone. BO: Basioccipital bone. Q: Quadrate bone. OC: Occipital condyle. HA: Hyoid apparatus

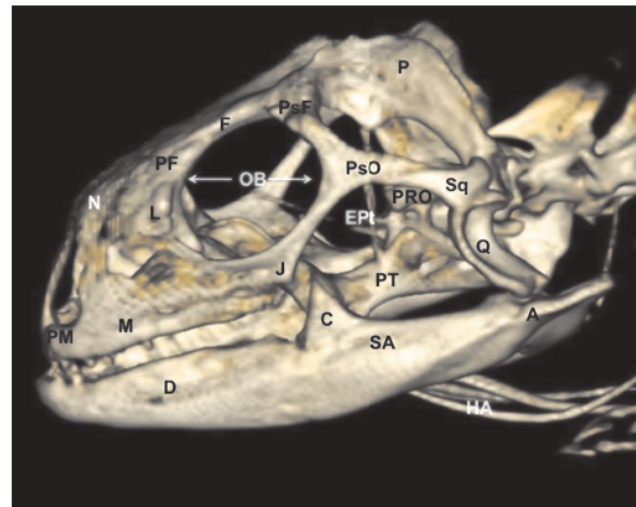


Figure 6: Three-dimensional volume-rendered reconstruction image of the normal Green iguana head. Lateral aspect. PM: Premaxillary bone. M: Maxillary bone. PF: Prefrontal bone. N: Nasal bone. F: Frontal bone. OB: Orbit. L: Lacrimal bone. J: Jugal bone. PsF: Postfrontal bone. PsO: postorbital bone. PT: Pterygoid bone. EPT: Epipterygoid. Q: Quadrate bone. Sq: Squamosal. PRO: Prootic. P: Parietal bone. D: Dentary bone. C: Coronoid bone. SA: Surangular bone. A: Articular bone. HA: Hyoid apparatus

Discussion

The arrival of imaging techniques to reptile medicine has improved veterinary medicine diagnosis (5-9). Traditionally, radiography (10)

and ultrasonography (11) have been applied to obtain information on the bony and the main soft-tissue structures of different animal regions. In contrast, computed tomography has become the preferred imaging technique due to its considerable advantages (11). Hence, last-generation CT equipment gives fast imaging acquisition, body sections from different tomographic planes, fair anatomic resolution without superimposition, and excellent tissue-like differentiation (5,9).

Three-dimensional CT reconstruction is a valuable procedure, which is infrequently applied in veterinary medicine. The data collection requires multiple parallel thin sections, which are all obtained at the same gantry tilt. Ideally, a high-speed scanner such as the scanning beam 'cine' CT system can produce a rapid sequence of quality thin sections to minimize motion artifact (12). This procedure can image the surface of bony structures with different degrees of rotation without the superimposition of soft tissues (12,13,14).

As in other lizards, the Komodo dragon and the Green Iguana skull are complex structures composed of different bones with significant disparity. However, in contrast with other reports that did radiographs (4,5), the use of reconstructed images of the skull avoided the superimposing of the bilateral structures of the snout and neurocranium to give excellent visualization of the junction between bones that comprise the head. Thus, lateral and dorsal reconstructed images visualized essential differences between the species studied. Therefore, an enormous difference in the orbit composition was observed in the species studied, especially along the posterior margin of the orbit, where it was closed (Green iguana) or open (Komodo dragon). This fact was determined by variations in the shape, size, and presence of the jugal bone and variations in the postorbital and postfrontal bones, as explained by Daza and Bauer (15). Besides, in the lateral side of the neurocranium could be identified the prootic bone, which had a square shape in the Green iguana. In contrast, it was tubular in the Komodo dragon.

Other investigations have studied the comparative and morphometrics features of the skull in terrestrial mammals by three-dimensional computed tomographic reconstruction (16). Nonetheless, in our study, anatomical measurements of the head and mandible were not performed since

the number of specimens studied was scarce to perform statistical analysis.

In conclusion, we have attempted to describe our findings on recognizable structures in alive reptiles, but further studies are necessary to define the ultimate limits of 3D CT reconstruction for essential morphologic imaging and interpretation of animals with clinical signs. Nevertheless, the CT reconstructed images obtained in this study facilitated an adequate anatomical understanding of the Komodo dragon and Green iguana skull. This information could be used to diagnose disorders involving the head of lizards, such as metabolic bone diseases, fractures, and neoplasias.

Acknowledgment

In loving memory of Alvaro Domingo Rodriguez Garcia. We also thank Marisa Mohamad for her support and constructive comments.

Authors declare that no any conflict of interest exists.

References

1. Gumpfenberger M. Diagnostic imaging of reproductive tract disorders in reptiles. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2017; 20(2): 327–43.
2. Hernández C, Peloso PL, Bolívar W, Daza JD. Skull morphology of the lizard *PtychoGLOSSUS vallensis* (Squamata:Alopoglossidae) with comments on the variation within Gymnophthalmoidea. *Anat Rec* 2019; 302(7): 1074–92.
3. Banzato T, Hellebuyck T, Van Caelenberg A, Saunders JH, Zotti A. A review of diagnostic imaging of snakes and lizards. *Vet Rec* 2013; 173(2): 439.
4. 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(12): 1592–9.
5. Banzato T, Selleri P, Veladiano IA, Martin A, Zanetti E, Zotti A. Comparative evaluation of the cadaveric, radiographic and computed tomographic anatomy of the heads of green iguana (*Iguana iguana*), common tegu (*Tupinambis merianae*) and bearded dragon (*Pogona vitticeps*). *BMC Vet Res* 2012; 8: e53. doi: 10.1186/1746-6148-8-53
6. Lauridsen H, Hansen K, Wang T, et al. Inside out: modern imaging techniques to reveal

- animal anatomy. PLoS ONE 2011; 6(3): e17879. doi: 10.1371/journal.pone.0017879
7. Wilken AT, Middleton KM, Sellers KC, Cost IN, Holliday CM. The roles of joint tissues and jaw muscles in palatal biomechanics of the savannah monitor (*Varanus exanthematicus*) and their significance for cranial kinesis. J Exp Biol 2019; 222 (Pt 18): jeb201459.
8. Holliday CM, Tsai HP, Skiljan RJ, George ID, Pathan S. A 3D interactive model and atlas of the jaw musculature of *Alligator mississippiensis*. PLoS One 2013; 8(6): e62806. doi: 10.1371/journal.pone.0062806
9. Arencibia A, Melian A, Oros J. Anatomic interactive atlas of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) head. Animals 2021; 11(1): e198. doi: 10.3390/ani11010198
10. Knipe FM. Principles of neurological imaging of exotic animal species. Vet Clin North Am Exot Anim Pract 2007; 10(3): 893–907.
11. Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S. Diagnostic imaging of exotic pets. Hannover : Schlutersche, 2011: 310–459.
12. Arencibia A, Corbera JA, Ramírez G, et al. 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
13. Zafra R, Carrascosa C, Suarez-Bonnet A, et al. Three-dimensional reconstruction by computed tomography of an undifferentiated sarcoma in a dog. J Appl Anim Res 2012; 40(4): 289–91.
14. 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.
15. Daza JD, Bauer AM. The circumorbital bones of the Gekkota (Reptilia: Squamata). Anat Rec 2010; 293(3): 402–13.
16. Moselhy AA, Mahdy, E. Comparative three dimensional computed tomography (CT) scans and anatomical investigation of rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and cat (*Felis domestica*) skull. Slov Vet Res 2019; 56 (Suppl 22): 365–79.

PRIMERJAVA LOBANJ KOMODOŠKEGA VARANA (*Varanus komodoensis*) IN ZELENEGA LEGVANA (*Iguana iguana*) S POMOČJO TRIDIMENZIONALNE RAČUNALNIŠKE TOMOGRAFSKE REKONSTRUKCIJE

S. Pérez, M. Encinoso, M. Morales, A. Arencibia, A. Suárez-Bonnet, E. González-Rodríguez, J. R. Jaber

Izveček: Namen prispevka je bil s tridimenzionalno računalniško tomografsko rekonstrukcijo opraviti primerjalno oceno lobanje dveh vrst kuščarjev, komodoškega varana (*Varanus komodoensis*) in zelenega legvana (*Iguana iguana*). Slike, pridobljene s to metodo, prikazujejo odlične anatomske podrobnosti lobanje. Zato so bile na stranskih in dorzalnih rekonstrukcijah slik vidne bistvene razlike v zgradbi orbitalnega področja in stranskih kosti nevrokranija med obema vrstama kuščarjev. Slike, pridobljene s tridimenzionalno računalniško tomografsko rekonstrukcijo, so lahko dragocena diagnostična pomoč pri klinični oceni večih napak glave pri kuščarjih.

Ključne besede: računalniška tomografija; 3D rekonstrukcija; anatomija; lobanja; kuščarji

5.4.3. Estudio del cráneo del *Varanus komodoensis* por tomografía computarizada

Comunicación	VI Congreso de Veterinarios de Canarias
Fecha de publicación	Junio 2022

Estructura del cráneo del *Varanus komodoensis* POR TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Pérez, S. Encinoso, M; Morales, M. ; Arencibia, A; González, E.; Jaber, J.R.

Morfología; Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas.
Patología Animal, Producción Animal, Bromatología y Tecnología de los Alimentos; Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

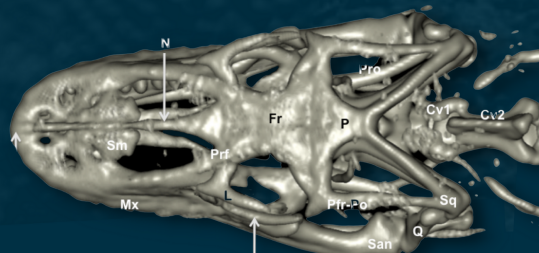


Imagen 3D dorsal del cráneo del *Varanus komodoensis*

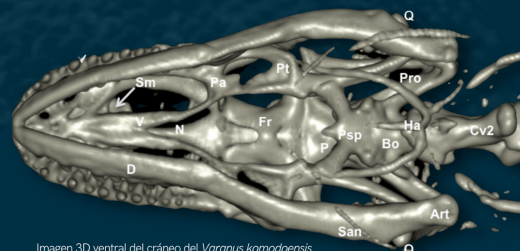


Imagen 3D ventral del cráneo del *Varanus komodoensis*



Imagen MIP dorsal del cráneo del *Varanus komodoensis*

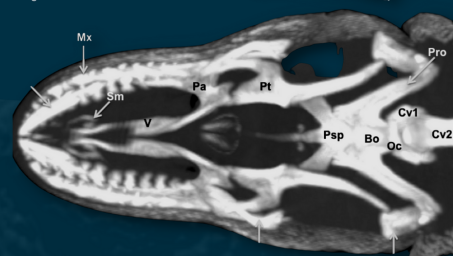


Imagen MIP ventral del cráneo del *Varanus komodoensis*

Dos ejemplares Dragón de Komodo hembras, de diecisiete años, nacidas en cautividad en el Parque Reptilandia (Las Palmas de Gran Canaria, España).

Se obtuvieron cortes secuenciales transversales de tomografía computarizada, utilizando un escáner helicoidal de 16 cortes (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, España). Los datos originales se utilizaron para obtener imágenes reconstruidas de la cabeza, después de la edición manual de las imágenes transversales de TC, para eliminar tejidos blandos. Para este propósito, se utilizó un formato estándar Dicom 3D (Osirix MD, Ginebra, Suiza). Además, se obtuvieron imágenes de proyección de máxima densidad (MIP) para mostrar de manera más eficiente los contornos de los huesos y otras estructuras de menor atenuación utilizando un visor de imágenes (Osirix MD, Apple, EEUU)

En las reconstrucciones tridimensionales observamos que el borde orbitario está circunscrito por los huesos lacrimal, prefrontal y yugal. Distinguiendo además el hueso yugal del ectopterigoideo. En el borde posterodorsal de la órbita, se pudo apreciar la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal en las reconstrucciones tridimensionales lateral y dorsal. En la vista ventral, los siguientes huesos del neurocráneo se muestran claramente delineados: el parabasisfenoides, el basioccipital y el proótico. La unión entre la premaxila y el maxilar, con una disposición curva de los dientes, se identificó en la vista lateral y ventral. En la vista lateral se aprecia la curvatura de la fila de dientes con el margen de la mandíbula y el maxilar. Además, la curvatura primaria del maxilar se muestra más convexa, mientras que la mandibular aparece más cóncava. La apófisis coronoides aparece bastante prominente y los huesos surangular y articular se extienden caudalmente.

En las imágenes MIP, se evidencia la relación entre los huesos que componen la cabeza. La imagen de MIP dorsal mostró la unión entre el premaxilar y el maxilar. También se observa cómo la disposición del vómer sostiene la septomaxila. Este último hallazgo podría distinguirse mejor en la imagen de MIP ventral. La relación entre los huesos lacrimal, prefrontal y frontal se observó en la vista dorsal. En el borde posterodorsal de la órbita, se puede ver fácilmente la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal. Además de todo esto, se identificó la unión de los huesos frontal y parietal en las imágenes MIP dorsal y ventral. La imagen de MIP ventral mostró una excelente visualización del pterigoideo, un hueso plano en forma de Y. Este hueso proporciona un proceso redondeado que contacta con el borde caudal de palatino. Además, en esta vista se aprecia la unión entre los huesos parabasisfenoides, proótico y basioccipital. Este último hueso forma la porción ventral del cóndilo occipital.

En conclusión, las imágenes de TC obtenidas en este estudio, proporcionan una adecuada interpretación anatómica de la cabeza del *Varanus komodoensis*. Esta información podría usarse para diagnosticar trastornos que involucran a la cabeza de los lagartos, como abscesos, enfermedades metabólicas óseas, fracturas y neoplasias.

REFERENCIAS

Jaber JR, Carrascosa C, Arencibia A, Corbera JA, Ramirez AS, Mellán C. (2018). 3-D computed tomography reconstruction: another tool to teach anatomy in the veterinary colleges. Iran J Vet Res. 2018;19(1):
 Zafra R, Carrascosa C, Suarez-Bonnet A, Mellán C, Fernández T, Monzón M, Quesada O, Suarez F, Jaber JR (2012). Three-dimensional reconstruction by computed tomography of an undifferentiated sarcoma in a dog. J. Appl. Anim. Res., 40: 289-291.

Se concede este certificado a:

Autor Principal: Sara Pérez Alberto

Otros Autores: Mario Encinoso Manuel Morales Doreste; Alberto Arencibia; Eligia González Rodríguez; José Raduán Jaber

Por la presentación de la Comunicación tipo Póster y con título:

**“ESTRUCTURA DEL CRÁNEO DEL VARANUS KOMODOENSIS POR TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA”**

Celebrado en Maspalomas (Gran Canaria), los días 10 y 11 de junio de 2022

Estructura del cráneo del *Varanus komodoensis* por tomografía computarizada

Pérez, S. Encinoso, M; Morales, M. ; Arencibia, A; González, E.; Jaber, J.R.

Objetivos

Investigación sobre la estructura anatómica de cabeza del dragón de Komodo a través tomografía computarizada, con imágenes transversales y reconstrucciones tridimensionales y proyecciones de máxima intensidad (MIP). Las estructuras anatómicas identificadas en las imágenes pretenden aportar mayor información en el estudio de la cabeza de estos animales, pudiendo ser utilizadas para la comprensión de las posibles patologías en dicha especie.

Material y métodos

Dos ejemplares dragón de Komodo hembras, de diecisiete años, nacidas en cautividad en el Parque Reptilandia (Las Palmas de Gran Canaria, España). Una de las hembras tenía una longitud de 225 cm (longitud hocico-respiradero) y pesaba treinta y seis kilogramos, mientras que la otra contaba con una longitud de 190 cm y un peso de veinticuatro kilogramos. En ningún caso se observaron anomalías en el examen físico.

El Comité de Ética del servicio de Medicina Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria autorizó el protocolo de investigación (MV – 2019/04). El propietario de ambos dragones fue informado del estudio y firmó el consentimiento para la participación en el mismo.

Se obtuvieron cortes secuenciales transversales de tomografía computarizada, utilizando un escáner helicoidal de 16 cortes (Toshiba Astelion, Toshiba Medical System, Madrid, España). Los datos originales se utilizaron para obtener imágenes reconstruidas de la cabeza, después de la edición manual de las imágenes transversales de TC, para eliminar tejidos blandos. Para este propósito, se utilizó un formato estándar Dicom 3D (Osirix MD, Ginebra, Suiza). Además, se obtuvieron imágenes de proyección de máxima densidad (MIP) para mostrar de manera más eficiente los contornos de los

huesos y otras estructuras de menor atenuación utilizando un visor de imágenes (Osirix MD, Apple, EEUU)

Resultados

Imágenes reconstruidas de la cabeza

Se presentan imágenes de la estructura tridimensional del cráneo del *Varanus komodoensis* en vista tanto dorsal como ventral, y la vista lateral izquierda. La reconstrucción tridimensional de estas imágenes proporciona una buena visualización de los diferentes huesos que componen el cráneo.

El borde orbitario está circunscrito por los huesos lacrimal, prefrontal y yugal. Distinguiendo además el hueso yugal del ectopterigoideo. En el borde posterodorsal de la órbita, se pudo apreciar la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal en las reconstrucciones tridimensionales lateral y dorsal. En la vista ventral, los siguientes huesos del neurocráneo se muestran claramente delineados: el parabasisfenoides, el basioccipital y el proótico. La unión entre la premaxila y el maxilar, con una disposición curva de los dientes, se identificó en la vista lateral y ventral. En la vista lateral se aprecia la curvatura de la fila de dientes con el margen de la mandíbula y el maxilar. Además, la curvatura primaria del maxilar se muestra más convexa, mientras que la mandibular aparece más cóncava. La apófisis coronoides aparece bastante prominente y los huesos surangular y articular se extienden caudalmente.

Se seleccionaron dos imágenes de MIP correspondientes a las vistas dorsal y ventral del cráneo de los varánidos, en las que se evidencia la relación entre los huesos que componen la cabeza. La imagen de MIP dorsal mostró la unión entre el premaxilar y el maxilar. También se observa cómo la disposición del vómer sostiene la septomaxila. Este último hallazgo podría distinguirse mejor en la imagen de MIP ventral. La relación entre los huesos lacrimal, prefrontal y frontal se observó en la vista dorsal. En el borde posterodorsal de la órbita, se puede ver fácilmente la fusión de los huesos postorbitario y posfrontal. Además de todo esto, se identificó la unión de los huesos frontal y parietal en las imágenes MIP dorsal y ventral. La imagen de MIP ventral mostró una excelente visualización del pterigoideo, un hueso plano en forma de Y.

Este hueso proporciona un proceso redondeado que contacta con el borde caudal de palatino. Además, en esta vista se aprecia la unión entre los huesos parabasisfenoides, proótico y basioccipital. Este último hueso forma la porción ventral del cóndilo occipital.

Discusión

En los últimos años, la contribución de las técnicas de diagnóstico por imagen a la medicina de los reptiles, ha aumentado el conocimiento en la práctica clínica y en la investigación veterinaria (Arencibia y otros, 2006, Moreno y otros, 2008, Banzato y otros, 2012).

Tradicionalmente, la radiografía y la ecografía se han utilizado para obtener información sobre las estructuras óseas y los tejidos blandos principales de las diferentes regiones de los animales en estudio (Banzato y otros, 2013). Las técnicas de imagen avanzada, como la tomografía computarizada, se han vuelto cada vez más comunes en la práctica clínica veterinaria (Banzato y otros, 2013). Los TC de tercera y cuarta generación ofrecen ventajas considerables sobre la radiografía tradicional: secciones corporales de diferentes planos tomográficos, resolución anatómica justa y sin superposición de los tejidos y una mayor diferenciación de las densidades tisulares, permiten una mejor detección de diferentes enfermedades (Arencibia y otros, 2006, Banzato y otros, 2013).

No obstante, su uso en medicina de reptiles aún es limitado debido al costo del equipo, la disponibilidad y los problemas logísticos de adquirir imágenes de TC en estos animales (Arencibia y otros, 2006, Banzato y otros, 2013). El cráneo del género *Varanus* es una compleja estructura que ha recibido cierta atención en estudios morfofuncionales, (Moreno y otros, 2008, Wilken y otros, 2019). La cabeza de este icónico reptil es una estructura compleja, compuesta por varios tejidos con diferentes grados de atenuación en las imágenes radiográficas, lo que lo convierte en un objeto difícil de evaluar. Los dos ajustes de ventana utilizados en este estudio de TC facilitaron la identificación de las principales estructuras de la cabeza, como los huesos del cráneo, la mandíbula, los músculos, las estructuras llenas de aire del sistema respiratorio y el digestivo, y otras estructuras asociadas.

La visualización de imágenes mediante el uso de la ventana ósea, proporcionó una buena resolución para las estructuras esqueléticas, mientras que la ventana de tejido blando, nos permitió distinguir los ojos y estructuras nerviosas del resto de los tejidos blandos. Se obtuvieron resultados similares en otros estudios realizados en reptiles (Arencibia y otros, 2006, Banzato y otros, 2011, Banzato y otros, 2012, Banzato y otros, 2013). Existen varias causas que pueden explicar la baja resolución de los tejidos blandos mostrada en nuestro estudio (Banzato y otros, 2011, Banzato y otros, 2013), como el pequeño volumen de estas especies, la imposibilidad de reducir el campo de visión del escáner de TC y la presencia de huesos incrustados dentro de la piel. Estos huesos, llamados osteodermos cefálicos, varían en forma y complejidad, y sirven principalmente como sistema anatómico defensivo para proteger a los individuos durante enfrentamientos agresivos con otros especímenes (Maisano y otros, 2019). Para evitar esta baja resolución, algunas investigaciones informaron sobre el uso de escáneres micro – TC (Wilken y otros, 2019), aunque este equipo no suele estar disponible en las clínicas veterinarias (Banzato y otros, 2013).

Mediante la tomografía computarizada, pudimos visualizar completamente el cráneo en reconstrucciones virtuales e imágenes MIP. Por tanto, las imágenes reconstruidas mostraron un cráneo ancho, comprimido dorsoventralmente. La mandíbula se presenta curvada y los dientes comprimidos lateralmente. Esta morfología contrasta con la mayoría de los demás varánidos, que presentan un cráneo dorsoventralmente alto y un margen ventral recto del maxilar. Además, se observó una enorme variación de la órbita, especialmente a lo largo del margen posterior de la órbita, que está cerrada en las lagartijas o semicerrada en estos varánidos. Este hecho está determinado por la variación en la forma, el tamaño y la presencia del hueso yugal, y también en las variaciones de los huesos postorbitario y postfrontal. Las imágenes MIP mostraron ser una herramienta útil para delinear huesos y definir las suturas óseas de los mismos.

Conclusiones

En conclusión, las imágenes de TC obtenidas en este estudio, proporcionan una adecuada interpretación anatómica de la cabeza del *Varanus komodoensis*. Esta información podría usarse para diagnosticar

trastornos que involucran a la cabeza de los lagartos, como abscesos, enfermedades metabólicas óseas, fracturas y neoplasias.

Referencias

1. 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](#)]
2. 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](#)] [[PubMed](#)]
3. Deem, S.L. Role of the zoo veterinarian in the conservation of captive and free ranging wildlife. *Int. Zoo Yearb.* **2007**, *41*, 3–11. [[CrossRef](#)]
4. IUCN/SSC. IUCN Red List of Threatened Species. 2002. Available online: www.redlist.org (accessed on 1 December 2020).
5. Banzato, T.; Selleri, P.; Veladiano, I.A.; Martin, A.; Zanetti, E.; Zotti, A. Comparative evaluation of the cadaveric, radiographic and computed tomographic anatomy of the heads of green iguana (*Iguana iguana*), common tegu (*Tupinambis merianae*) and bearded dragon (*Pogona vitticeps*). *BMC Vet. Res.* **2012**, *11*, 53. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Arencibia, A.; Rivero, M.; De Miguel, I.; Contreras, S.; Cabrero, A.; Oros, J. Computed tomographic anatomy of the head of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Res. Vet. Sci.* **2006**, *81*, 165–169. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Banzato, T.; Selleri, P.; Veladiano, I.A.; Zotti, A. Comparative Evaluation of the Cadaveric and Computed Tomographic Features of the Coelomic Cavity in the Green Iguana (*Iguana iguana*), Black and White Tegu (*Tupinambis merianae*) and Bearded Dragon

5.4.4. Empleo de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada para el conocimiento anatómico de animales exóticos

Comunicación	VI Congreso VetDoc 2022
Fecha de publicación	Junio 2022

Empleo de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada

PARA EL CONOCIMIENTO ANATÓMICO DE ANIMALES EXÓTICOS

Jaber, J. R. ; Ramtirez, A.S. ; Pérez, S. ; Suarez-Cabrera, F. ; Muñoz-Aznar Y. ; González, E. ; Rosales, R. ; Encinosa, M.

Morfología. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas
 Patología Animal, Producción Animal, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

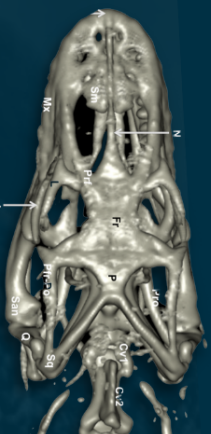


Imagen 3D dorsal del cráneo del *Varanus komodoensis*

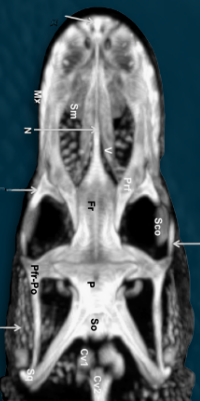


Imagen MIP dorsal del cráneo del *Varanus komodoensis*

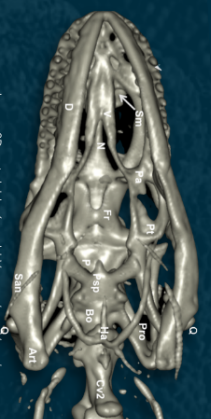


Imagen 3D ventral del cráneo del *Varanus komodoensis*

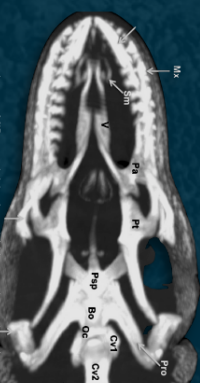


Imagen MIP ventral del cráneo del *Varanus komodoensis*



Imagen 3D lateral del cráneo de *Crocodylus crocodylus*

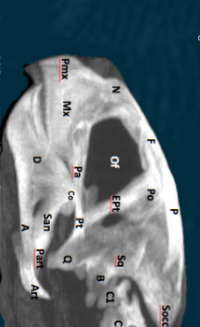


Imagen MIP lateral del cráneo de *Crocodylus crocodylus*

Existen diferentes opciones para mejorar la enseñanza y el aprendizaje anatómico de los estudiantes mediante el uso de técnicas de imagen modernas como la tomografía computarizada (TC) o la reconstrucción tridimensional (Zafra et al., 2012; Jaber et al., 2018). Sin embargo, la contribución de estas técnicas al conocimiento anatómico de especies exóticas y domésticas es limitada debido al alto coste de los equipos y la falta de un diseño y resolución adecuadas para estos animales. Este trabajo explica el uso de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada (3D-CT) como herramienta para la enseñanza y el conocimiento de la anatomía veterinaria de animales exóticos.

Con este propósito diferentes especies de animales exóticos normales y clínicamente anormales fueron evaluadas mediante TC en el Hospital Veterinario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las imágenes fueron obtenidas con un equipo de TC de tercera generación que posteriormente se transformaban en imágenes de reconstrucción 3D utilizando un formato DICOM 3D estándar.

Los alumnos informaron que las imágenes 3D-CT les proporcionaron una mejor comprensión de las secciones transversales anatómicas por TC. En conclusión, la 3D-CT facilita la enseñanza de la anatomía veterinaria a los estudiantes al permitir la visualización de estructuras de manera realista sin la superposición de otras estructuras, eliminando las dificultades para visualizar la extensión de diferentes tipos de lesiones.

Aquellos imágenes con mayor detalle de las estructuras anatómicas más relevantes fueron mostradas a seis grupos de 12 estudiantes, los cuales habían completado su formación básica en anatomía a través de material diseccionado, así como secciones transversales y sagitales, y simulaciones por ordenador.

REFERENCIAS

Jaber JR, Carrascosa C, Arenchiba A, Corbeira JA, Ramirez AS, Mellán C (2018). 3D computed tomography reconstruction: another tool to teach anatomy in the veterinary colleges. Iran J Vet Res. 2018;19(1):

Zafra R, Carrascosa C, Suarez-Bonnet A, Mellán C, Fernández T, Monzón M, Quesada O, Suarez F, Jaber, JR (2012). Three-dimensional reconstruction by computed tomography of an undifferentiated sarcoma in a dog. J Appl Anim Res. 40: 289-291.

Empleo de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada para el conocimiento anatómico de animales exóticos

Use of three-dimensional computed tomography reconstruction to the anatomic knowledge of exotic species

Jaber JR.; Ramírez AS.; Pérez S.; Suarez-Cabrera F; Muñoz-Aznar Y, Rosales R.; Encinosa M

Departamento de Morfología. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Muchas fuentes describen diferentes opciones para mejorar la enseñanza y el aprendizaje anatómico de los estudiantes mediante el uso de técnicas de imagen modernas como la tomografía computarizada (TC) o la reconstrucción tridimensional (Zafra *et al.*, 2012; Jaber *et al.*, 2018). Sin embargo, la contribución de estas técnicas al conocimiento anatómico de especies exóticas y domésticas es limitada debido al alto coste de los equipos y la falta de un diseño y resolución adecuadas para estos animales. Este trabajo explica el uso de la reconstrucción tridimensional por tomografía computarizada (3D-CT) como herramienta para la enseñanza y el conocimiento de la anatomía veterinaria de animales exóticos como reptiles grandes y pequeños, o grandes felinos. Con este propósito diferentes especies de animales exóticos normales y clínicamente anormales fueron evaluadas mediante un equipo de TC (Toshiba Astelion) en el Hospital Veterinario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las imágenes fueron obtenidas con un equipo de TC de tercera generación que posteriormente se transformaban en imágenes de reconstrucción 3D utilizando un formato DICOM 3D estándar.

Aquellas imágenes con mayor detalle de las estructuras anatómicas más relevantes fueron mostradas a seis grupos de 12 estudiantes, los cuales habían completado su formación básica en anatomía a través de material diseccionado, así como secciones transversales y sagitales, y simulaciones por ordenador. En estas sesiones, los estudiantes etiquetaban estructuras relevantes de diferentes regiones corporales de animales exóticos que podían ser visualizadas en diferentes planos. En función de los resultados obtenidos por las respuestas de los estudiantes a los señalamientos podemos afirmar que las imágenes obtenidas por 3D-CT complementaron una mejor comprensión de las secciones transversales anatómicas por TC. En conclusión, la 3D-CT facilita la enseñanza de la anatomía veterinaria a los estudiantes al permitir la visualización de estructuras de manera realista sin la superposición de otras estructuras, eliminando las dificultades para visualizar la extensión de diferentes tipos de lesiones. Las imágenes de tomografía computarizada pueden ser obtenidas en un breve período de tiempo y presentadas a los estudiantes para una mejor descripción de las estructuras anatómicas, lo cual podría ayudar a éstos a mejorar el aprendizaje y observar algunos trastornos anatómicos presentes en estos especímenes.

Referencias

- Jaber JR, Carrascosa C, Arencibia A, Corbera JA, Ramirez AS, Melian C (2018). 3-D computed tomography reconstruction: another tool to teach anatomy in the veterinary colleges. *Iran J Ve Res.* 2018;19(1):1-2.
- Zafra R, Carrascosa C, Suarez-Bonnet A, Melián C, Fernández T, Monzón M, Quesada O, Suarez F, Jaber, JR (2012). Three-dimensional reconstruction by computed tomography of an undifferentiated sarcoma in a dog. *J. Appl. Anim. Res.*, 40: 289-291.

Palabras clave

Anatomía, reconstrucción tridimensional, TC, animales exóticos

6. Discusión

Desde la aparición de la tomografía computarizada y con el comienzo de la adquisición de imágenes transversales, en primera instancia, hasta llegar a las actuales reconstrucciones tridimensionales y MIP, el conocimiento de la anatomía y la morfofisiología se han visto indudablemente ampliados. Estas técnicas han revolucionado la manera en la que los pacientes son explorados y diagnosticados. Este hecho se evidencia, entre otros, por el aumento de las contribuciones científicas de los últimos años en diagnóstico por imagen avanzado dentro de la medicina veterinaria.

La publicación de atlas de anatomía mediante TC (Assheuer y Sager, 1997, Ottesen y Moe, 1998, Fazarinc y Lorger, 1989) supuso un incremento en la calidad de la medicina veterinaria, que hasta la fecha ha seguido avanzando.

Las especies más estudiadas, han sido sin lugar a duda, aquellas que siempre han destacado en el estudio anatómico, como es el caso del caballo (Barbee, 1996, Zaruco y otros, 2006) y otras con las que, además, guardamos una relación más cercana como el perro (García Real y otros, 2004; Drees y otros, 2009) y el gato (Tyson y otros, 2005, Ohlerth y Scharf, 2007). Otras especies menos comunes, también se han visto beneficiadas como ocurre con el camello (Blanco y otros 2015), y todo parece apuntar a que, dentro de poco tiempo, serán técnicas rutinarias en cualquier especie que se englobe dentro de la medicina veterinaria.

En los últimos años, el uso de técnicas de diagnóstico por imagen en los reptiles, ha aumentado el conocimiento en la práctica clínica y en la investigación veterinaria (anatomía, fisiología...) (Arencibia y otros, 2006, Moreno y otros 2008, Banzato y otros 2012).

Dentro de los reptiles, los lagartos conforman el grupo más diverso, con una gran cantidad de adaptaciones morfofisiológicas y comportamentales que los hacen estar presentes en todos los continentes, excepto en la Antártida. No es de extrañar que, de las más de diez mil especies de reptiles con vida de la actualidad, seis mil doscientas sean lagartos (Uetz y otros, 2021).

La fantástica capacidad de adaptación que presentan estas especies, es lo que ha hecho que se hayan posicionado como animales de compañía en los últimos años, además de estar presentes en zoológicos a lo largo de todo el mundo.

Tradicionalmente, se ha clasificado a los lagartos y las serpientes como si se tratara de dos grupos distintos de animales, no obstante, existe una estrecha relación entre ellos. Comparten características esqueléticas, como un solo hueso premaxilar fusionado, y otras como que sus órganos reproductores están emparejados y en el caso de los machos forman hemipenes. Hay que considerar, por lo tanto, que las serpientes son lagartos carentes de extremidades (Vitt y Caldwell, 2009).

Los lagartos presentan una serie de características anatómicas que pueden llegar a dificultar su estudio. La piel queratinizada y gruesa, recubierta por escamas, es una de ellas (Hoppmann y Barron, 2007). Hablando de este detalle resulta importante destacar el dragón de Komodo cuyas escamas son mucho más prominentes que en otras especies y se conocen con el nombre de osteodermos. Estos huesos, llamados osteodermos cefálicos, varían en forma y complejidad, y sirven principalmente como sistema anatómico defensivo para proteger a los individuos durante enfrentamientos agresivos con otros especímenes. Curiosamente, estos elementos se identificaban con claridad en nuestro estudio mediante tomografía computarizada y en concreto a través de los cortes transversales obtenidos mediante ventana de tejido óseo y ventana de tejido blando, así como por proyecciones de máxima intensidad.

El cráneo de estos animales es cinético, esto quiere decir que tienen la capacidad de abrir sus mandíbulas con gran amplitud. Presentan una sínfisis mandibular fusionada, y gracias a la disposición de los músculos del cráneo, la mayoría de estos animales tienen la capacidad de cerrar sus mandíbulas de forma rápida y eficaz, lo que les da una ventaja evolutiva. Diferentes músculos del cráneo pudieron ser descritos en nuestro trabajo, como los músculos... Su columna vertebral está organizada de manera que les aporta una gran flexibilidad, a excepción de las regiones cervical y coccígea (O'Malley, 2005).

En el caso de las tortugas, englobadas dentro del grupo de los quelonios, hasta hace bien poco eran consideradas reptiles primitivos ya que se creía que su cráneo no presentaba fenestra temporal. Ahora, los quelonios son reconocidos como los reptiles más antiguos del mundo, cuya evolución se remonta a antes de la época de los dinosaurios (Bover y otros, 2015).

Tradicionalmente, la radiografía y la ecografía se han utilizado para obtener información sobre las estructuras óseas y los tejidos blandos principales de las diferentes regiones de los animales en estudio (Banzato y otros, 2013).

Las técnicas de imagen avanzada, como la tomografía computarizada, se han vuelto cada vez más comunes en la práctica clínica veterinaria (Banzato y otros, 2013). Los TC de tercera y cuarta generación ofrecen ventajas considerables sobre la radiografía tradicional: secciones corporales de diferentes planos tomográficos, buena resolución anatómica y sin superposición de los tejidos, además de una mayor diferenciación de las densidades tisulares, permiten un diagnóstico mucho más certero (George y otros 1996, Arencibia y otros 2006, Banzato y otros 2013). La correcta adquisición de las imágenes, es tan importante como la capacidad de interpretación de las mismas. Para que la técnica sea útil, la inmovilización de los pacientes debe ser perfecta, al igual que la selección de los parámetros de adquisición como el grosor de corte. Por otra parte, el uso de medios de contraste debe estar controlado, verificando en todo momento la velocidad de infusión de los mismos.

Cabe destacar que, en relación al estudio del cráneo, el posicionamiento más utilizado en medicina veterinaria siempre ha sido el decúbito esternal, mucho más protocolizado desde 2007 con las aportaciones de King y otros, Jimenez y otros y Mercier y otros. Al mismo tiempo, las ventanas más utilizadas en la región del cráneo, son las de tejido blando en su mayoría (Van Camp y otros, 2000, Dennler y otros, 2007, Nagel y otros, 2013, Banzato y otros, 2013, Pérez y otros, 2021) y tejido óseo cuando el objeto de estudio lo ha requerido (Kraft y otros, 1999, Couturier y otros, 2005, Rubin y otros 2013, Banzato y

otros, 2013, Pérez y otros, 2021). No hayamos autores que empleen otras ventanas para el estudio de dicha región anatómica.

El uso de medios de contraste iodados, siendo ya habitual en el estudio del cráneo de otras especies en medicina veterinaria (Kraft y Gavin, 1999, Bergman y otros, 2000, Van Camp y otros, 2000, Vernau y otros, 2001, Dennler y otros, 2007, Mercier y otros, 2007, Auriemma y otros, 2009, Martin Vaquero y otros, 2011, Oliveira y otros, 2012, Nagel y otros, 2013, Amory y otros, 2014) sigue siendo muy limitado en reptiles por la carencia de protocolos específicos por especie, volumen y velocidad de infusión.

El uso de la tomografía computarizada en medicina de reptiles aún es limitado debido al costo del equipo, la disponibilidad y los problemas asociados al manejo y a las particularidades anestésicas de estos animales (Arencibia y otros 2006, Banzato y otros 2013).

El cráneo del género *Varanus* es una compleja estructura que ha recibido cierta atención en estudios morfofuncionales, (Moreno y otros 2008, Wilken y otros 2019), quizás debido a la enorme disparidad en la forma que evolucionó entre los lagartos varánidos (Mertens, 1942). La cabeza de este icónico reptil es una estructura compleja, compuesta por varios tejidos con diferentes grados de atenuación en las imágenes radiográficas, lo que lo convierte en un objeto difícil de evaluar.

La visualización de imágenes mediante el uso de la ventana ósea, proporcionó una buena resolución para las estructuras esqueléticas, mientras que la ventana de tejidos blandos, nos permitió distinguir los ojos y estructuras nerviosas del resto de tejidos.

Los dos ajustes de ventana utilizados en este estudio de TC facilitaron la identificación de las principales estructuras de la cabeza, como los huesos del cráneo, la mandíbula, los músculos, las estructuras llenas de aire del sistema respiratorio y el digestivo, y otras estructuras asociadas.

Se describieron resultados similares en otros estudios realizados en reptiles (Arencibia y otros 2006, Banzato y otros 2011, Banzato y

otros 2012, Banzato y otros 2013). Se han informado varias causas para explicar la baja resolución de los tejidos blandos mostrada en este estudio (Banzato y otros 2001, Banzato y otros 2013), como el pequeño volumen de estas especies, la imposibilidad de reducir el campo de visión del escáner de TC y la presencia de huesos incrustados dentro de la piel. Estos huesos, llamados osteodermos cefálicos, varían en forma y complejidad, y sirven principalmente como sistema anatómico defensivo para proteger a los individuos durante enfrentamientos agresivos con otros especímenes (Maisano y otros, 2019). Para evitar esta baja resolución, algunas investigaciones informaron sobre el uso de escáneres micro – TC (Wilken y otros, 2019), aunque este equipo no suele estar disponible en las clínicas veterinarias (Banzato y otros, 2013).

Los micro- TC utilizan una fuente y un detector de rayos X para obtener imágenes en dos dimensiones, que, a su vez, se pueden combinar para generar reconstrucciones tridimensionales (Kotwaliwale y otros, 2011). Los rayos X son generados por un tubo de rayos x que contiene un microfoco, capaz de utilizar un haz de electrones acelerados con un voltaje de hasta 240 kV en un tubo de vacío, enfocándose en un tubo de tungsteno. La interacción que se genera entre los electrones, que se mueven rápidamente, y el metal hace que se generen rayos X (Singhal y otros, 2013). Los rayos X, que atraviesan al paciente, son recolectados por el detector obteniéndose una imagen de proyección (Singhal y otros, 2013). El detector se encarga de convertir la radiación generada en atenuada, y dando lugar a miles de píxeles. Así, se generan las imágenes. Después del escaneo, éstas pueden ser reconstruidas de forma tridimensional, mediante el uso de algoritmos de retroproyección filtrada (Lin y Miller, 2002). Después de ser reconstruidas, existen múltiples herramientas y softwares para la visualización y el análisis de los datos obtenidos.

La reconstrucción tridimensional por TC es un procedimiento de alto valor, que se aplica con poca frecuencia a la medicina veterinaria. Las ventajas de este procedimiento son que se pueden obtener imágenes de la superficie de las estructuras óseas con diferentes grados de rotación sin la superposición de los tejidos blandos. La información

que aportan los cortes transversales por si mismos, puede no ser suficiente para llegar a un diagnóstico o documentar debidamente algunos casos clínicos (Ramirez y González, 2013). Para generar una reconstrucción multiplanar, se apilan visualmente los cortes, siendo especialmente útil en la visualización de las estructuras óseas. La reconstrucción multiplanar permite adicionalmente seleccionar una posición anatómica en un plano y ver su correspondencia en los demás planos, dando una excelente percepción tridimensional de la estructura analizada (Ramirez y Gonzalez, 2013)

Como en otros lagartos, el cráneo es una estructura compleja compuesta por diferentes huesos, con una disparidad significativa entre especies. A diferencia de otros estudios (Banzato y otros 2011, Banzato y otros 2012), en los que se realizaron radiografías, el uso de TC en nuestro trabajo, evitó la superposición de las estructuras bilaterales del hocico y el neurocráneo para dar una excelente visualización de la unión entre los huesos que componen el cráneo.

Mediante la tomografía computarizada, pudimos visualizar completamente el cráneo en reconstrucciones tridimensionales e imágenes MIP. En cuanto al varánido, las imágenes reconstruidas mostraron un cráneo ancho, comprimido dorsoventralmente. La mandíbula estaba curvada y los dientes comprimidos lateralmente. Además, se observó una enorme variación de la órbita, especialmente a lo largo del margen posterior de la órbita, que está cerrada en las lagartijas o semicerrada en estos reptiles. En el caso de la iguana verde (*Iguana iguana*), aparece cerrada. Este hecho está determinado por la variación en la forma, el tamaño y la presencia del hueso yugal, y también en las variaciones de los huesos postorbitario y postfrontal (Evans, 2018). Además, en el lado lateral del neurocráneo se identifica el hueso proótico, que tiene forma cuadrada en la Iguana Verde, mientras que en el Dragón de Komodo es tubular.

Las imágenes MIP mostraron ser una herramienta útil para delinear huesos en imágenes renderizadas por volumen. Las imágenes obtenidas mediante proyecciones de máxima intensidad y volumen rendering para el estudio detallado de los cráneos la tortuga

boba resultó muy útiles para una adecuada comprensión de las estructuras anatómicas que componen la cabeza de estos animales. Con respecto a MIP, los resultados sugieren que este procedimiento es adecuado para la visualización de las estructuras óseas que forman parte de este estudio. Este procedimiento permite la visualización de estructuras muy pequeñas y con baja atenuación, como es el caso de las suturas craneales, las cuales fueron utilizadas en este estudio para distinguir con más claridad las zonas de transición entre las estructuras óseas que componen la bóveda del cráneo. No obstante, los artefactos de superposición, dificultaron la identificación de algunas de las estructuras objeto de estudio. Similares resultados han sido descritos en otros estudios realizados en reptiles (Perez y otros, 2021).

La reconstrucción tridimensional, evitando la superposición de estructuras circundantes, permitió la identificación de estructuras internas al poder visualizar una zona que sea objeto de estudio, como puede ser el hueso pterigoides, y sus proyecciones rostrales y dorsales, como el ectopterigoides y el epipterigoides, respectivamente.

Existe una gran variedad de síndromes clínicos en reptiles que pueden manifestar síntomas neurológicos. Desde lesiones traumáticas, hasta deficiencias nutricionales, pasando por neoplasias, pueden afectar al sistema nervioso de los pacientes. Desafortunadamente, hay muy poca información aún sobre estos cuadros clínicos neurológicos en medicina veterinaria de reptiles (Bennet, 2006). La manera que tiene una enfermedad de manifestarse, depende mucho de la neuroanatomía del paciente, y por tanto, de cada especie. Cabe destacar, que la posibilidad de hacer exámenes neurológicos a estos animales es muy limitada, con lo cual, las pruebas médicas se vuelven imprescindibles (Bennet, 2006). Del mismo modo, otros exámenes complementarios que sí se utilizan de manera frecuente en medicina veterinaria de mamíferos como la extracción de líquido cefalorraquídeo, pueden llegar a ser muy difíciles de realizar (Bennet, 2006).

El sistema nervioso central de los reptiles tiene una organización tubular (Wynekken, 2007). El encéfalo, limitado rostralmente por los cartílagos etmoidales, lateralmente por el hueso ótico, ventralmente

por el basiesfenoides y caudalmente por los huesos occipitales (Wynekken, 2007), cuenta con mucho espacio entre el cerebro, las paredes y el techo del cráneo, en gran cantidad de especies. Esta anatomía tan particular, ya ha sido definida por tomografía computarizada en tortugas marinas, serpientes y algunos lagartos (Jones y otros, 2012, Banzato y otros 2011, Banzato y otros, 2012). Una organización similar pudo ser observada en los animales de nuestro estudio (dragón de Komodo), donde además de lo anteriormente descrito, se observó que el parabasisfenoides y el ectotrigonoides con sus diferentes porciones, limitaban tanto ventral como lateralmente, respectivamente, al sistema nervioso central (Perez y otros, 2021).

Los reptiles no tienen ni surcos ni circunvoluciones cerebrales, es decir, son lisencefálicos, sin embargo, sí presentan corteza cerebral. De hecho, es el primer grupo animal donde se identifican dos hemisferios separados por una fisura mediana profunda (Naumann y otros, 2015). Estos hallazgos no pudieron ser detectados en nuestro trabajo, debido a la escasa densidad tisular del sistema nervioso central, lo cual impedía visualizar accidentes anatómicos detallados mediante tomografía axial computarizada. Indiscutiblemente, la aplicación de técnicas de imagen como la resonancia magnética nuclear o los micro tac, podrían resolver este problema y se han demostrado como elementos de diagnóstico clave en otras especies de animales exóticos (Banzato y otros, 2013).

El cerebro anterior guarda relación con el olfato y el gusto, el mesencéfalo con el procesamiento visual y la función neuroendocrina y el cerebro posterior con la función auditiva. El equilibrio y la homeostasis (MADERS). El cerebelo por su parte, se encarga de las relaciones posturales.

La mayoría de los reptiles cuentan con entre doce y trece pares craneales, a excepción de las serpientes que tienen de 11 a 12 (Bennet, 2006).

El sistema vestibulococlear tiene la función de procesar las vibraciones a través del aparato auditivo, cuyos nervios auditivos se proyectan hacia el techo auditivo (Bennet, 2006).

Con respecto a las meninges, encargadas de cubrir el cerebro y la médula espinal, presentan dos tipos. La duramadre, de situación más exterior está carente de vascularización. Los reptiles carecen de espacio subaracnoideo, hecho que dificulta la extracción de líquido cefalorraquídeo como prueba diagnóstica.

Así, las imágenes de TC obtenidas en este estudio, proporcionan una adecuada interpretación anatómica del cráneo de estas tres especies. Esta información podría usarse para diagnosticar trastornos que involucran a la cabeza de los lagartos, como abscesos, enfermedades metabólicas óseas, fracturas y neoplasias.

7. Resumen

La medicina veterinaria está cambiando. En los últimos años los avances tecnológicos han llevado a profesionalizar aún más el sector, equiparándolo cada vez más con la medicina humana. En el caso del diagnóstico por imagen, desde la aparición de la tomografía computarizada en 1971, se ha convertido en un referente como herramientas en los distintos campos. A día de hoy, su versatilidad permite obtener imágenes tridimensionales de cualquier área anatómica, por lo que se aplica en todas las especialidades médicas.

En la medicina de animales exóticos, el diagnóstico por imagen avanzado empieza a emplearse de manera rutinaria en centros especializados de todo el mundo, siendo indispensable para ofrecer una medicina veterinaria de calidad. En el caso de la investigación para el avance de la medicina veterinaria en reptiles, cada vez contamos con más estudios y publicaciones, que sirven a los clínicos para mejorar sus conocimientos, y llegar a diagnósticos y tratamientos certeros.

En el presente trabajo, se realiza un estudio mediante tomografía computarizada, a través de imágenes transversales, reconstrucciones tridimensionales por superficie y proyecciones de máxima intensidad, del cráneo de tres especies de reptiles especialmente en el dragón de Komodo, la iguana verde y la tortuga boba.

Estos estudios, fueron llevados a cabo con un equipo Toshiba Astelion (Toshiba Medical System, Madrid, España), helicoidal y de 16 cortes en el Hospital Clínico Veterinario de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Mediante la tomografía computarizada, pudimos visualizar completamente el cráneo en reconstrucciones virtuales e imágenes MIP en las tres especies fuente de estudio (*Varanus komodoensis*, *Iguana iguana* y *Caretta caretta*). Todos estos procedimientos mostraron ser una herramienta útil para delinear huesos y establecer las suturas óseas.

Los resultados obtenidos proporcionaron una adecuada interpretación de la cabeza y pueden ser empleadas para el diagnóstico de las enfermedades que involucran a la región de la cabeza como fracturas, desórdenes metabólicos o neoplasias, y aumentar el conocimiento anatómico de dicha región.

8. Summary

Veterinary medicine is changing. In recent years, technological advances have led to further professionalize the sector, equating it more and more with human medicine. In the case of diagnostic imaging, since the appearance of computed tomography in 1971, it has become a benchmark as tools in different fields.

Today, its versatility allows three- dimensional images of any anatomical area to be obtained, which is why it is applied in all medical specialties.

In exotic animal medicine, advanced diagnostic imaging is beginning to be used routinely in specialized centers around the world, being essential to offer quality veterinary medicine. In the case of research for the advancement of veterinary medicine in reptiles, we have more and more studies and publications, which serve clinicians to improve their knowledge, and arrive at accurate diagnoses and treatments.

In this thesis, a study is carried out by means of computed tomography, through transversal images, three-dimensional reconstructions by surface and projections of maximum intensity, of the skull of three species of reptiles, especially in the Komodo dragon, the green iguana and the loggerhead turtle

These studies were carried out with a Toshiba Astelion (Toshiba Medical System, Madrid, Spain), helical and 16-slice equipment at the Veterinary Clinical Hospital of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Las Palmas de Gran Canaria. Using computed tomography, we were able to fully visualize the skull in virtual reconstructions and MIP images in the three study source species (*Varanus komodoensis*, *Iguana iguana*, and *Caretta caretta*). All of these procedures proved to be a useful tool for delineating bones and establishing bony sutures.

The results obtained provided an adequate interpretation of the head and can be used for the diagnosis of diseases that involve the head region such as fractures, metabolic disorders or neoplasms, and increase the anatomical knowledge of said region

9. Conclusiones

1-. Las imágenes transversales, reconstrucciones tridimensionales de superficie y proyecciones de máxima intensidad (MIP) obtenidas en este estudio, proporcionaron una adecuada interpretación de las principales estructuras anatómicas que conforman la cabeza del *Varanus komodoensis*.

2-. Las imágenes reconstruidas por TC obtenidas en este estudio del dragón de Komodo y la iguana verde, facilitaron una adecuada evaluación de las principales diferencias que se presentan en la organización ósea de estos animales, sobre todo en las imágenes reconstruidas dorsal y lateralmente. En éstas se evidenció que la órbita aparece abierta en el dragón de Komodo y cerrada en la iguana verde, hecho determinado por las variaciones en el hueso yugal, postorbitario y postfrontal. Con respecto al hueso proótico, se concluye que tiene forma cuadrada en la iguana verde y forma tubular en el Dragón de Komodo.

3-. Con respecto al estudio de la cabeza de la tortuga boba o *Caretta caretta* y de la iguana verde (*Iguana iguana*), las imágenes MIP, permitieron la visualización de estructuras muy pequeñas como las suturas óseas, permitiendo definir los límites entre los distintos huesos. Aun así, los artefactos de superposición dificultaron la visualización de algunas estructuras objeto de estudio. Por el contrario, las imágenes VR y su reconstrucción tridimensional, evitaron la superposición de las estructuras favoreciendo la identificación del hueso pterigoideos y sus proyecciones rostrales y dorsales, el ectopterigoides y el epiterigoides.

4-. Esta información podría usarse para diagnosticar trastornos que involucran a la cabeza de los lagartos, como abscesos, enfermedades metabólicas óseas, fracturas y neoplasias.

Agradecimientos

A mi director de Tesis, el Profesor Dr. José Raduán Jaber Mohamed, porque sin él esta tesis no hubiera sido posible. Gracias Raduán, ha sido un proceso enriquecedor. Estoy agradecida por cada minuto que has dedicado a este trabajo, por tu generosidad y comprensión. Mi familia y yo estamos muy agradecidos por todo.

Al Profesor Dr. Manuel Morales Doreste. Manolito, gracias por enseñarme el camino. Un día me dijiste “vamos a coger todos los trenes que vengan, y ya después veremos como los manejamos”, y aquí estamos. Gracias por tu amistad, tu enseñanza, y las oportunidades que me has dado. Mi camino profesional no sería el mismo si no me hubiera pegado a ti cuando era una estudiante. Gracias también por ser un pilar en lo personal.

Al Profesor Dr. José Alberto Montoya Alonso, sin quién sin lugar a dudas, esta tesis no se habría defendido. Gracias por haber estado presente en la totalidad de mi crecimiento profesional desde que fuiste mi profesor en tercero. Gracias se queda corto.

A la Profesora Dra. Candelaria Juste de Santa Ana. Cande, eres fuente de inspiración en todo en la vida. Gracias por abrirme las puertas de tu laboratorio y ser mi primer contacto con la investigación. Voy a recordar toda mi vida los ratos tan maravillosos que pasamos dentro de aquellas cuatro paredes.

A Mario Encinoso, por su profesionalidad, por recibirme siempre con una sonrisa a pesar de estar continuamente desbordado de trabajo, y por sus infinitos conocimientos. ¡Ha sido un placer trabajar contigo!

Al Profesor Dr. Alberto Arencibia. Gracias por tus correcciones, por tu buen hacer y por compartir tantos conocimientos.

A Eligia, por tu compañerismo y tu generosidad.

A mis compañeros de trabajo, por ser mi equipo, por la paciencia, por soportar mi estrés y entender mis momentos de aislarme en el despacho para sacar la tesis adelante. Gracias por todos estos años de compañerismo infinito.

A Adriana, mi hija, que en el momento de depositar esta tesis tiene siete meses. Espero que cuando crezcas y leas esto, estés orgullosa de mí como yo ya lo estoy de ti. Eres nuestra luz. Te ríes y me recargas las pilas.

A Omar, por ser mi compañero de vida, por esperar paciente mientras yo trabajaba, por su predisposición a ayudarme y su incalculable ayuda, por la vida que hemos construido. Por esperarme de noche y tarde, por sacar a Hura (mi hogar, mi mejor terapia, mi lotería) mientras yo escribía, por su enorme paciencia todos los lunes miércoles y viernes que me iba a trabajar en la tesis. Y por tantas otras cosas que hemos vivido en el proceso de esta tesis.

A mis padres, por haberme permitido llegar hasta aquí, sin ellos no hubiera podido estudiar la carrera.

A mi hermana, por su paciencia y su calma con mis mensajes al final del día cuando ya estaba desbordada. Gracias por ayudarme a ver con mayor claridad, y aunque nada tenga que ver con esto, gracias siempre por Leo y Valentina.

A mi abuelo, que ya no está, pero siempre será fuente de inspiración del trabajo duro. Tus valores siguen aquí, quiero pensar que estarías orgulloso. Al igual que mi abuela.

A mi amiga Tara, porque iniciamos esto juntas y SIEMPRE será uno de mis sitios seguros, personal y profesionalmente.

A Juan, a Carmen, Gustavo y Melania, por ser de mis personas favoritas y siempre estar dispuestos a escuchar.

A mis amigos, no hace falta que los nombre, pero somos familia de corazón. Sin las terapias de grupo no sé si hubiera sido capaz de llegar al final.

A todos los que, de alguna manera, hay formado parte de este apasionante y enriquecedor camino.

REFERENCIAS

AMIEL, J. J., CHUA, B., WASSERSUG, R. J. & JOHNS, D. R. (2011) Temperature- dependent regulation of blood distribution in snakes. *Journal of Experimental Biology* 214, 1458-1462

AMORY, J.T., REETZ, J.A., SANCHEZ, M.D., BRADLEY, C.W., ALEXANDER, J.R., REITER, M. and W. MAI, 2014. Computed tomographic characteristics of odontogenic neoplasms in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 55 (2): 147-158.

ANDERSON, C. L., KABALKA, G. W., LAYNE, D. G., DYKE, J. P. & BURGHARDT, G. M. (2000) Noninvasive high field MRI brain imaging of the garter snake (*Tamnhophis sirtalis*). *Copeia* 1, 265-269

ARENCIBIA A, CORBERA JA, RAMÍREZ G, DÍAZ-BERTRANA ML, PITTI L, MORALES M, JABER JR. (2020) Anatomical assessment of the thorax in the neonatal foal using computed tomography angiography, sectional anatomy and gross dissections. *Animals*; 10(6): 1–17.

ARENCIBIA A, MELIAN A, OROS J.(2021) Anatomic interactive atlas of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) head. *Animals*; 11(11): 1–13.

ARENCIBIA, A.; RIVERO, M.; DE MIGUEL, I.; CONTRERAS, S.; CABRERO, A.; OROS, J. (2006) Computed tomographic anatomy of the head of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Res. Vet. Sci.*, 81, 165–169.

ARENSEN J. DATA COLLECTION STRATEGIES: GANTRIES AND DETECTORS. IN: GOLDMAN LW AND FOWLKES JB, (1995) eds. *Medical CT and Ultrasound: Current Technology and Applications*, Madison, WI: Advanced Medical Publishing: 329–47.

ASSHEUER, J. and M. SAGER, 1997. MRI and CT atlas of the dog. (Magnetic resonance imaging and computed tomography). *Blackwell Science*. Berlin and Oxford.

AURIEMMA, E., BARTHEZ, P.Y., VAN DER VLUGT MEIJER, R.H., VOORHOUT, G. and B.P. MEIJ, 2009. Computed tomography and low-field magnetic resonance imaging of the pituitary gland in dogs with pituitary-*dependent hyperadrenocorticism: 11 cases (2001-2003). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 235 (4): 409-414.

BANZATO T, RUSSO E, DI TOMA A, PALMISANO G, ZOTTI A. (2011) Anatomic imaging of the Boa constrictor head: a comparison between radiography, computed tomography and cadaver anatomy. *Am. J. Vet. Res.*; 72(12): 1592-1599.

BANZATO T, SELLERI P, VELADIANO IA, MARTIN A, ZANETTI E, ZOTTI A. (2012). Comparative evaluation of the cadaveric, radiographic and computed tomographic anatomy of the heads of green iguana (*Iguana iguana*), common tegu (*Tupinambis merianae*) and bearded dragon (*Pogona vitticeps*). *BMC Vet Res*; 8:53.

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

BANZATO, T., RUSSO, E., FINOTTI, L. & ZOTTI, A. (2012b) Development of a technique for contrast radiographic examination of the gastrointestinal tract in ball pythons (*Python regius*). *American Journal of Veterinary Research* 73, 996-1001

BANZATO, T., RUSSO, E., FINOTTI, L., MILAN, M. C., GIANESELLA, M. & ZOTTI, A. (2012a) Ultrasonographic anatomy of the coelomic organs of boid snakes (*Boa constrictor imperator*, *Python regius*, *Python molurus molurus* and *Python curtus*). *American Journal of Veterinary Research* 73, 634-645

BANZATO, T., SELLERI, P., VELADIANO, I. A. & ZOTTI, A. (2013) Comparative evaluation of the cadaveric and computed tomographic features of the coelomic cavity in the green iguana (*Iguana iguana*), black and white tegu (*Tupinambis merianae*) and bearded dragon (*Pogona vitticeps*).

BANZATO, T.; HELLEBUYCK, T.; VAN CAELENBERG, A.; SAUNDERS, J.H.; ZOTTI, A. (2013) A review of diagnostic imaging of snakes and lizards. *Vet. Rec.*, 173, 43–49.

BANZATO, T.; RUSSO, E.; DI TOMA, A.; PALMISANO, G.; ZOTTI, A. (2011) Anatomic imaging of the Boa constrictor head: A comparison between

radiography, computed tomography and cadaver anatomy. *Am. J. Vet. Res.* 72, 1592–1599.

BARBEE, 1993. Comparison of computed tomography with radiography as a noninvasive diagnostic technique for chronic nasal disease in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 202 (7): 1106-1110.

BARRETT JF, KEAT N.(2004) Artifacts in CT: recognition and avoidance. *RadioGraphics*; 24:1679-91.

BARTEN, S. L. (1980) Cardiomyopathy in a kingsnake (*Lampropeltis calligaster rhombomaculata*). *Veterinary Medicine, Small Animal Clinician* 75, 125-129

BELL C.J., MEAD J.I., SWIFT S.L. (2009). Cranial osteology of *Moloch horridus* (Reptilia: Squamata: Agamidae). *Rec. West. Aust. Mus.* 25:201-237.

BELLAIRS A.D'A. & KAMAL A.M. (1981). The chondrocranium and the development of the skull in recent reptiles, p.1-283. In: Gans C. & Parsons T.S.

BERGMAN, R., JONES, J., LANZ, O., INZANA, K., SHELL, L., MOON, M. and E. WRIGHT, 2000. Post-operative computed tomography in two dogs with cerebral meningioma. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 41 (5): 425-432.

BERTELSEN, M. F. (2007) Squamates (snakes and lizards). In *Zoo Animal and Wildlife Immobilization and Anesthesia*. Eds G. West, D. Heard, N. Caulkett. Wiley-Blackwell. pp 233-243

BERTOLINI, G., ROLLA, E. C., ZOTTI, A. & CALDIN, M.(2006) Three-dimensional multislice helical computed tomography techniques for canine extra-hepatic portosystemic shunt assessment. *Vet. Radiol. Ultrasound* 47, 439–443.

BEVER G.S., BELL C.J. & MAISANO J.A. (2005). The ossified braincase and cephalic osteoderms of *Shinisaurus crocodilurus* (Squamata, Shinisauridae). *Paleontol. Elect.* 8:1-36.

BLATT, F. J., 1991. Fundamentos de física (3a Edición). *Pearson Educación*. México.

BLODGETT TM, MELTZER CC (2007). CT: Form and Function. *Radiology*; 242:360-85.

BOEDEKER KL, COOPER VN, MCNITT-GRAY MF. (2007) Application of the noise power spectrum in modern diagnostic MDCT: part I. Measurement of noise power spectra and noise equivalent quanta. *Phys Med Biol* 52;4027–46.

BOEDEKER KL, MCNITT-GRAY MF (2007). Application of the noise power spectrum in modern diagnostic MDCT: part II. Noise power spectra and signal to noise. *Phys Med Biol*;52:4047-61.

BROECKHOVEN C, DIEDERICKS G, HUI C, ET AL.. 2016. Enemy at the gates: rapid defensive trait diversification in an adaptive radiation of lizards. *Evolution*; 70(11):2647–56.

BROECKHOVEN C, DU PLESSIS A, LE ROUX SG, ET AL.. 2017. Beauty is more than skin deep: a non-invasive protocol for in vivo anatomical study using micro-CT. *Methods Ecol Evol* ; in press.

BRUNKE O. 2010. High-resolution CT-based defect analysis and dimensional measurement. *Insight-Non-Destruct Testing Condition Monitor*;52(2):91–3.

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

BUZUG TM (2008). Computed Tomography: From Photon Statistics to Modern Cone-Beam CT. Berlín: Springer Verlag

CALHOUN, P. S., KUSZYK, B. S., HEATH, D. G., CARLEY, J. C. & FISHMAN, E. K. (1999). Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: Theory and method. *Radiographics* 19, 745–764.

CAMPOS Z. & DESBIEZ A.L.J. (2013). Structure of size and reproduction of green iguanas (*Iguana iguana*) in the Brazilian Pantanal. *IRCF Reptiles and Amphibians* 20: 53-56.

CANNY, C. (1998) Gross anatomy and imaging of the avian and reptilian urinary system. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 7, 72-80

CNUUDE V, BOONE MN. 2013. High-resolution x-ray computed tomography in geosciences: a review of the current technology and applications. *Earth-Sci Rev*;123:1–17.

COHNEN M, WITTSACK HJ, ASSADI S, MUSKALLA K, RINGELSTEIN A, POLL LW, ET AL. (2006) Radiation exposure of patients in comprehensive computed tomography of the head in acute stroke. *AJNR Am J Neuroradiol*;27:1741–5.

CONRAD J.L. (2004). Skull, mandible, and hyoid of *Shinisaurus crocodilurus* Ahl (Squamata, Anguimorpha). *Zool. J. Lin. Soc.* 141:399-434.

CONRAD J.L. & NORELL M.A. (2010). Cranial autapomorphies in two species of Iguana (Iguanidae: Squamata). *J. Herpetol.* 44:307-312.

COPELE, LUCAS LM, THOSTENSON JO, ET AL.. 2016. A collection of non-human primate computed tomography scans housed in MorphoSource, a repository for 3D data. *Scientific Data*:

COURSEY CA, NELSON RC, BOLL DT, PAULSON EK, HO LM, NEVILLE AM, ET AL.(2010) Dual-Energy Multidetector CT: How Does It Work, What Can It Tell Us, and When Can We Use It in Abdominopelvic Imaging? *RadioGraphics* ;30:1037-55.

COUTURIER, L., DEGUEURCE, C, RUEL, Y., DENNIS, R. and D. BEGON, 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.

COWAN, M. L., MONKS, D. J. & RAIDAL, S. R. (2011) Osteosarcoma in a woma python (*Aspidites ramsayi*). *Australian Veterinary Journal* 89, 520-523

CRAWFORD CR, KING KF. (1990) Computed tomography scanning with simultaneous patient translation. *Med Phys*; 17:967-82.

CRAWFORD, J.T., MANLEY, P.A. and W.M. ADAMS, 2003. Comparison of computed tomography, tangential view radiography, and conventional radiography in evaluation of canine pelvic trauma. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 44 (6): 619-628.

DAZA JD, BAUER AM. (2010) The Circumorbital Bones of the Gekkota (Reptilia: Squamata). *Anat Rec*; 293(3): 402–413.

DEEM, S.L. (2007) Role of the zoo veterinarian in the conservation of captive and free ranging wildlife. *Int. Zoo Yearb.*, 41, 3–11.

DENNLER, M., LANGE, E.M., SCHMIED, O. and B. KASER-HOTZ, 2007. Imaging diagnosis – metastatic hemangiosarcoma causing cerebral hemorrhage in a dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 48 (2): 138-140.

DONNINO R, JACOBS JE, DOSHI JV, HECHT EM, KIM DC, BABB JS, ET AL. (2009) Dual-source versus single-source cardiac CT angiography: comparison of diagnostic image quality. *AJR Am J Roentgenol*; 192:1051-6.

DREES, R., FORREST, L.J. and M.R. CHAPPELL, 2009. Comparison of computed tomography and magnetic resonance imaging for the evaluation of canine intranasal neoplasia. *The Journal of Small Animal Practice*, 50 (7): 334–340.

DULIU OG. 1999 Computer axial tomography in geosciences: an overview. *Earth-Sci Rev* ;48(4):265–81.

EARLS JP, BERMAN EL, URBAN BA, CURRY CA, LANE JL, JENNINGS RS, ET AL. (2008) Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology* ;246:742–53.

ETHERIDGE R. (1962). Skeletal variation in the Iguanidae lizard *Sator grandaevus*. *Copeia* 1962:613-619.

EVANS, S. (2008) The skull of lizards and Tuatara. *Biol. Reptil.* 20, 1–347.

Faulwetter S, Dailianis T, Vasileiadou K, et al.. 2014. Can micro-CT become an essential tool for the 21st century taxonomist? An evaluation using marine polychaetes. *Microscopy Anal*;28:S9–11.

FAULWETTER S, VASILEIADOU A, KOURATORAS M, ET AL.. 2013. Micro-computed tomography: introducing new dimensions to taxonomy. *ZooKeys* ;263:1

FAZARINC, G. and J. LORGER, 1989. Pictorial representation of canine anatomy using computerized tomography (CT). *Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani, Veterinarstvo*, 26 (1): 47-56.

FELDKAMP L, DAVIS L, KRESS J. 1984. Practical cone-beam algorithm. *J Opt Soc Am* 1;1(6):612–9.

FISHMAN EK, NEY DR, HEATH DG, CORL FM, HORTON KM, JOHNSON PT. (2006) Volume Rendering versus Maximum Intensity Projection in CT Angiography: What Works Best, When, and Why. *RadioGraphics*;26:905-22.

FISHMAN, E.K.; NEY, D.R.; HEATH, D.G.; CORL, F.M.; HORTON, K.M.; JOHNSON, P.T. (2006) Volume rendering versus maximum intensity projection in CT angiography: What works best, when, and why. *Radiographics*. 26, 905–922.

FITZGERALD, K. T. & VERA, R. (2005) Spinal osteopathy. In *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd edn. Ed D. R. Mader. Saunders. pp 906-912

FLOHR TG, MCCOLLOUGH CH, BRUDER H, PETERSILKA M, GRUBER K, SÜSS C, ET AL.(2006) First performance evaluation of a dual source CT (DSCT) system. *Eur Radiol* ;16:256-68.

F

LOHR TG, STIERSTORFER K, ULZHEIMER S, BRUDER H, PRIMAK AN, MCCOLLOUGH CH.(2005) Image reconstruction and image quality evaluation for a 64-slice CT scanner with z-flying focal spot. *Med Phys*;32:2536–47.

FOX, H. (1977) The urogenital system in reptiles. In *Biology of the Reptilia*. Vol 6. Eds C. Gans, T. S. Parsons. Academic Press. pp 1-157

FRANK, P., MAHAFFEY, M., EGGER, C. and K.K. CORNELL, 2003. Helical computed tomographic portography in ten normal dogs and ten dogs with a portosystemic shunt. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 44 (4): 392-400.

FRUSH DP, SLACK CC, HOLLINGSWORTH CL, BISSET GS, DONNELLY LF, HSIEH J, ET AL. (2002) Computer-Simulated Radiation Dose Reduction for Abdominal Multidetector CT of Pediatric Patients. *AJR Am J Radiol*;179:1107-13.

FUNAMA Y, AWAI K, NAKAYAMA Y, KAKE K, NAGASUE N, SHIMAMURA M, ET AL. (2005) Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multisection CT with a low-tube voltage technique: phantom study. *Radiology* ;237:905–10.

FUNK, R. S. (2002) Lizard reproductive medicine and surgery. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 5, 579-613

FUNK, R. S. (2005) Diarrhea. In *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd edn. Ed D. R. Mader. Saunders. pp 772-773

GÁL, J., JACAB, C., BALOGH, B., TOTH, T. & FARKAS, B. (2007) First occurrence of periosteal chondroma (juxtacortical chondroma) in *Uromastix maliensis* (Reptilia: Sauria: Agamidae). *Acta Veterinaria Hungarica* 55, 327-331

GARCIA-REAL, I., KASS P.H., STURGES B.K. and WISNER E.R., 2004. Morphometric analysis of the cranial cavity and caudal cranial fossa in the dog: a computer tomography study. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 45 (1): 38-45.

GARNER, M. M., HERNADEZ-DIVERS, S. M. & RAYMOND, J. T. (2004) Reptile neoplasia: a retrospective study of case submissions to a specialty diagnostic service. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 7, 653-671

GEORGE T.F. & SMALLWOOD J.E. (1992). Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: head and neck. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 33:217-240.

GEORGE, T.F., II; SMALLWOOD, J.E. (1992) Anatomic atlas for computed tomography in the mesaticephalic dog: Head and neck. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 33, 217–240.

GILBERT S.F., LOREDO G.A., BRUKMAN A. & BURKE A.C. (2001). Morphogenesis of the turtle shell: the development of novel structure in tetrapod evolution. *Evol. Dev.* 3:47-58.

GILMAN, C. A. & WOLF, B. O. (2007) Use of portable ultrasonography as a nondestructive method for estimating reproductive effort in lizards. *Journal of Experimental Biology* 210, 1859-1867

GNUDI, G., VOLTA, A., DI IANNI, F., BONAZZI, M., MANFREDI, S. & BERTONI, G. (2009) Use of ultrasonography and contrast radiography for snake gender determination. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 50, 309-311

GOLDMAN L. (2000) Principles of CT and evolution of CT technology. Goldman LW, Fowlkes JB, eds. *Categorical Course in Diagnostic Radiology Physics: CT and US Cross-Sectional Imaging*. Oak Brook, IL: Radiological Society of North America; 2000:33–52.

GREER, L. L., DANIEL, G. B., SHEARN-BOCHSLER, V. I. & RAMSAY, E. C. (2005) Evaluation of the use of technetium Tc 99m diethylenetriamine pentaacetic acid and technetium Tc 99m dimercaptosuccinic acid for scintigraphic imaging of the kidneys in green iguanas (*Iguana iguana*). *American Journal of Veterinary Research* 66, 87-92

GUMPENBERGER M. (2017) Diagnostic Imaging of Reproductive Tract Disorders in Reptiles. *Vet Clin North Am Exot Pet*; 20(2): 327-343.

HANSEN, K., PEDERSEN, P. B. M., PEDERSEN, M. & WANG, T. (2013) Magnetic resonance imaging volumetry for noninvasive measures of phenotypic flexibility during digestion in Burmese pythons. *Physiological and Biochemical Zoology* 86, 149-158

HATHCOCK J.T & R.L STICKLE, 1993. Principles and concepts of computed tomography. *The Veterinary Clinics of North America, Small Animal Practice*, 23 (2): 399-416.

HERNADEZ-DIVERS, S. J. & GARNER, M. M. (2003) Neoplasia of reptiles with an emphasis on lizards. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 6, 251-273

HERNÁNDEZ C, PELOSO PL, BOLÍVAR W, DAZA JD. (2019) Skull Morphology of the Lizard *Ptychoglossus vallensis* (Squamata:Alopoglossidae) With Comments on the Variation Within Gymnophthalmoidea. *Anat Rec*; 302(7): 1074–1092.

HERNANDEZ-DIVERS, S. J. (2003) Green iguana nephrology: a review of diagnostic techniques. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 6, 233-250

HERNANDEZ-DIVERS, S. J. & INNIS, C. J. (2005) Renal diseases in reptiles: diagnosis and clinical management. In *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd edn. Ed D. R. Mader. Saunders. pp 878-892

HERNÁNDEZ, C.; PELOSO, P.L.; BOLÍVAR, W.; DAZA, J.D. (2019) Skull Morphology of the Lizard *Ptychoglossus vallensis* (Squamata: Alopoglossidae) with Comments on the Variation within Gymnophthalmoidea. *Anat. Rec.* 302, 1074–1092.

HERREL A., SCHAERLAEKEN C., MEYERS J.J., METZGER K.A. & ROSS C.F. (2007). The evolution of cranial design and performance in squamates: Consequences of skull-bone reduction on feeding behavior. *Integr. Comp. Biol.* 47:107-117.

HO, J. L. ET AL. (2020). Comparative analysis of three-dimensional volume rendering and maximum intensity projection for preoperative planning in liver cancer. *Eur. J. Radiol. Open* 7, 100259.

HOFFMANN, I. (2010) Eye. In *Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles*. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 354-357

HOLLAND, M. F., HERNANDEZ-DIVERS, S. J. & FRANK, P. M. (2008) Ultrasonographic appearance of the coelomic cavity in healthy green

iguanas. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 233, 590-596

HOLLIDAY CM, TSAI HP, SKILJAN RJ, GEORGE ID, PATHAN S.(2013) A 3D Interactive Model and Atlas of the Jaw Musculature of Alligator mississippiensis. PLoS ONE; 8(6): e62806.

HOLLINGSWORTH, S. R., HOLMBERG, B. J., STRUNK, A., OAKLEY, A. D., SICKAFOOSE, L. M. & KAAS, P. H. (2007) Comparison of ophthalmic measurements obtained via high frequency ultrasound imaging in four species of snakes. *American Journal of Veterinary Research* 68, 1111-1114

HSIEH J. (2009) Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances. Second edition. Bellingham: SPIE Press Book.

ISAZA, R., ACKERMAN, N. & JACOBSON, E. R. (1993a) Ultrasound imaging of the coelomic structures in the Boa constrictor (*Boa constrictor*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 34, 445-450

ISAZA, R., ACKERMAN, N. & JACOBSON, E. R. (1993b) Ultrasound-guided percutaneous liver biopsy in snakes. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 34, 452-454

IUCN/SSC. IUCN Red List of Threatened Species. 2002. Available online: www.redlist.org (accessed on 1 December 2020).

JABER JR, CARRASCOSA C, ARENCIBIA A, CORBERA JA, RAMIREZ AS, MELIAN C.(2018) 3-D computed tomography reconstruction: another tool to teach anatomy in the veterinary colleges. *Iran J Vet Res*; 19(1): 1-2.

JACOBSON, E. R. (2007) Infectious Diseases and Pathology of Reptiles: Color Atlas and Text. CRC Press JACOBSON, E. R., HOMER, B. & ADAMS, W. (1991) Endocarditis and congestive heart failure in a Burmese python (*Python molurus bivittatus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 22, 245-248

JENSEN, B. & WANG, T. (2009) Hemodynamic consequences of cardiac malformations in two juvenile ball pythons (*Python regius*). *Journal of*

Zoo and Wildlife Medicine 40, 752-756

JIMÉNEZ, D.A., CLIFFORD, R.B., FERRELL, E.A., GRAHAM, J.O., 2007. Imaging diagnosis – choanal atresia in a dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 48 (2): 135-137.

JOEMAI RM, GELEIJNS J, VELDKAMP WJ.(2010) Development and validation of a low dose simulator for computed tomography. *Eur Radiol* ;20:958-66.

JOLIE M.T. (1960). The head skeleton of the lizard. *Acta Zool.* 41:1-64.

KAK AC, SLANEY M. (1998). Principles of Computerized Tomographic Imaging, IEEE Press.

KAK AC, SLANEY M. 1988. *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. New York: IEEE Press;.

KALENDER WA. 2006. X-ray computed tomography. *Phys Med Biol*;51(13):29–43.

KALRA MK, MAHER MM, TOTH TL, SCHMIDT B, WESTERMAN BL, MORGAN HT, ET AL. (2004) Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT. *Radiology*; 233:649-57.

KEARNEY M., MAISANO J.A. & ROWE T. (2005). Cranial anatomy of the extinct Amphisbeanian *Rhineura hatcherii* (Quamata, Amphisbaenia) Based on High-Resolution X-Ray Computed Tomography. *J. Morphol.* 264:1-33.

KHOSRAVANI A., RASTEGAR-POUYANI N. & ORAIE H. (2011). Comparative skull osteology of the lacertid lizards *Eremias persica* and *Mesalina watsonana* (Sauria: Lacertidae). *Iran. J. Ani. Biosyst.* 7:99-117.

KIEFER, I. & PEES, M. (2010a) Computed tomography. In *Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles*. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. pp 358-367

KIEFER, I. & PEES, M. (2010b) Genital tract. In *Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds. Small Mammals. Reptiles*. Eds M. E. Krautwald-

Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 420-429

KIK, M. J. L. & MITCHELL, M. A. (2005) Reptile cardiology: A review of anatomy and physiology, diagnostic approaches, and clinical diseases. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 14, 52-60

KING, A.M., WEINRAUCH, S.A., DOUST, R., HAMMOND, G., YAM, P.S. and M. SULLIVAN. 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.

KLAPHAKE, E. (2010) A fresh look at metabolic bone diseases in reptiles and amphibians. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 13, 375-392

KLEIN, W. (2003) Role of the post-hepatic septum on breathing and locomotion in *Tupinambis merianae* (Reptilia: Teiidae). *Journal of Experimental Biology* 206, 2135-2143

KLINGEBIEL R, SIEBERT E, DIEKMANN S, WIENER E, MASUHR F, WAGNER M, ET AL. (2009) 4-D imaging in cerebrovascular disorders by using 320-slice CT: feasibility and preliminary clinical experience. *Acad Radiol*;16:123–9.

KNIPE FM. (2007) Principles of neurological imaging of exotic animal species. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*; 10(3): 893–907.

KNIPE, F.M. (2007) Principles of neurological imaging of exotic animal species. *Vet. Clin. N. Am. Exot. Anim. Pract.* 10, 893–907.

KOTWALIWALE N, SINGH K, KALNE A, ET AL.. 2011. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *J Food Sci Technol* ;51(1):1–15.

KRAFT, S.L. and P.R. GAVIN, 1999. Intracranial neoplasia. *Clinical Techniques of Small Animal Practice*, 14 (2): 112-123.

KUSZYK, B. S., HEATH, D. G., BLISS, D. F. & FISHMAN, E. K (1996). Skeletal 3-D CT: Advantages of volume rendering over surface rendering. *Skeletal Radiol.* 25, 207–214.

KYRIAKOU Y, KACHELRIEB M, KNAUP M, KRAUSE J, KALENDER WA.(2006) Impact of the z-flying focal spot on resolution and artefact behaviour for a 64-slice spiral CT scanner. *Eur Radiol*;16:1206-15.

LANDIS EN, KEANE DT. 2010. X-ray microtomography. *Materials Characterization*;61(12):1305–16.

LAURIDSEN H, HANSEN K, WANG T, AGGER P, ANDERSEN JL, KNUDSEN PS, ET AL (2011): Inside Out: Modern Imaging Techniques to Reveal Animal Anatomy. *PLoS ONE*; 6(3): e17879.

LAURIDSEN, H., HANSEN, K., WANG, T., AGGER, P., ANDERSEN, J. L., KNUDSEN, P. S. & OTHERS (2011) Inside out: modern imaging techniques to reveal animal anatomy. *PLoS ONE* 6, e17879

LIN C, MILLER J. 2002. Cone beam x-ray microtomography—a new facility for three-dimensional analysis of multiphase materials. *Minerals Metallurgical Processing* ;19(2):65–71.

LOVE, N. E., DOUGLASS, J. P., LEWBART, G. & STOSKOPF, M. (1996) Radiographic and ultrasonographic evaluation of egg retention and peritonitis in two green iguanas (*Iguana iguana*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 37, 68-73

LUDEWIG, E. W. & PEES, M. (2010) Magnetic resonance imaging. In *Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles*. Eds M. E. Krautwald- Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 368-377

MADER, D. R. (2005) Radiographic anatomy. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 1097-1102

MADER, D. R. (2005) *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd edn. Saunders. MADER, D. R. (2005b) Metabolic bone disease. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 841-852

MAIRE E, WITHERS PJ. 2014. Quantitative x-ray tomography. *Int Materials Rev*;59(1):1–43.

MAISANO, J.A.; LADUC, T.J.; BELL, C.J.; BARBER, D. (2019) The Cephalic Osteoderms of *Varanus komodoensis* Revealed by High-Resolution X-ray Computed Tomography. *Anat. Rec.* 302, 1675–1680.

MAISANO, J.A.; RIEPPEL, O. (2007) The skull of the Round Island boa, *Casarea dussumieri schlegel*, based on high-resolution X-ray computed tomography. *J. Morphol.* 268, 371–384.

MAJDANI O, THEWS K, BARTLING S, LEINUNG M, DALCHOW C, LABADIE R, ET AL. (2009) Temporal Bone Imaging: Comparison of Flat Panel Volume CT and Multisection CT. *AJNR Am J Neuroradiol* ;30:1419 –24.

MARIANI, C. L. (2007) The neurologic examination and neurodiagnostic techniques for reptiles. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 10, 855-891

MARTÍ-CLIMENT JM, PRIETO E, GARCÍA-VELLOSO MJ.(2009)Equipos híbridos en medicina nuclear. *Rev Fis Med*;10:11-26.

MARTIN-VAQUERO, P., MOORE, S.A., WOLK, K.E. and M.J. OGLESBEE, 2011. Cerebral vascular hamartoma in a geriatric cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 13 (4): 286-290.

MARTÍNEZ-TORRES, M., GUZMÁN-RODRÍGUEZ, R., CÁRDENAS-LEÓN, M. & BRUNNER-REYNALDO, N. (2006) Follicular development and ovulation determined by ultrasound imaging in the viviparous lizard *Barisa Imbricata* (Reptilia: Anguinae). *Southwestern Naturalist* 51, 401-406

MEHLER, S. J., ROSENSTEIN, D. S. & PATTERSON, J. S. (2002) Imaging diagnosis follicular torsion in a green iguana (*Iguana iguana*) with involvement of the left adrenal gland. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 43, 343-345

MERCIER, M., BARNES-HELLER, H.L., BISCHOFF, M.G., LOOPER, J. and C.X. BACMEISTER, 2007. Imaging diagnosis-hyperostosis associated with meningioma in a dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 48 (5): 421-423.

METSCHER BD. 2009. MicroCT for developmental biology: a versatile tool for high-contrast 3D imaging at histological resolutions. *Dev Dynam* ;238(3):632–40.

MITCHELL, M. A. (2002) Diagnosis and management of reptile orthopedic injuries. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 5, 97-114

MITCHELL, M. A. & DIAZ-FIGUEROA, O. (2005) Clinical reptile gastroenterology. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 8, 277-298

MIZUTANI R, SUZUKI Y. 2012. X-ray microtomography in biology. *Micron*; 43(2):104–15.

MORENO, K.; WROE, S.; CLAUSEN, P.; MCHENRY, C.; D' AMORE, D.C.; RAYFIELD, E.J.; CUNNINGHAM, E. (2008). Cranial performance in the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) as revealed by high-resolution 3-D finite element analysis. *J. Anat.* 212, 736–746.

MORI I. (1986) Computerized tomographic apparatus utilizing a radiation source. US Patent No. 4630202.

MORRIS, P. J. & ALBERTS, A. C. (1996) Determination of sex in white-throated moni- tors (*Varanus albigularis*), gila monsters (*Heloderma suspectum*), and bearded lizards (*H horridum*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 27, 371-377

MOSELHY AA, MAHDY, E. (2019). Comparative three dimensional computed tomography (CT) scans and anatomical investigation of rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and cat (*Felis domestica*) skull. *Slov Vet Res*; 56 (Suppl 22): 365–79.

MURRAY, M. J. (2005) Pneumonia and lower respiratory tract diseases. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 865-877

NAGEL, C., SILVER, T. and B. GRAHN, 2013. Optic chiasm B-cell lymphoma in a 20 month-old Mastiff dog. *Veterinary Ophthalmology*, 16 (suppl 1): 164-167.

NAPEL S, RUBIN GD, JEFFREY RB, JR. (1993) STS-MIP: a new reconstruction technique for CT of the chest. *J Comput Assist Tomogr*;17:832-8.

NUYTS J, DE MAN B, DUPONT P, DEFRISE M, SUETENS P, MORTELMANS L. (1998) Iterative reconstruction for helical CT: a simulation study. *Phys Med Biol*;43:729–37.

O'CONNOR MK, KEMP BJ. (2006) Single-photon emission computed tomography/computed tomography: basic instrumentation and innovations. *Semin Nucl Med* ;36:258-66.

O'Connor PM, Sertich JJ, Stevens NJ, et al.. 2010. The evolution of mammal-like crocodyliforms in the Cretaceous Period of Gondwana. *Nature* ;466(7307):748–51.

OHLERTH, S. and G. SCHARF, 2007. Computed tomography in small animals. – basic principles and state of the art applications. *The Veterinary Journal*, 173 (2): 254–271.

OLIVEIRA, C.R., O'BRIEN, R.T., MATHESON, J.S. and I. CARRERA, 2012. Computed tomographic features of feline nasopharyngeal polyps. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 53 (4): 406-411.

OTTESEN, N. and L. MOE, 1998. An introduction to computed tomography (CT) in the dog. *European Journal of Companion Animal Practice*, 8 (1): 29-36

PAN X, SIEWERDSEN J, LA RIVIERE PJ, KALENDER WA (2008). Development of x-ray computed tomography: The role of Medical Physics and AAPM from the 1970s to present. *Med Phys*; 35:3728-39.

PAUWELS E, VAN LOO D, CORNILLIE P, ET AL.. 2013An exploratory study of contrast agents for soft tissue visualization by means of high resolution x-ray computed tomography imaging. *J Microscopy* ;250(1):21–31.

PEES M. (2011). Reptiles. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets. Edited by Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S, Tully T. Hannover: Schlutersche Verlagsgesellschaft mbH & Co; 310–459.

PEES, M. (2010) Radiographic investigation. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 310-333

PEES, M. (2010b) Ultrasonography. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 334-356

PEES, M. (2010c) Gastrointestinal tract. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 354-357

PEES, M. (2010d) Skeletal system. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 378-393

PEES, M. & KOSTKA, V. (2010) Liver. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald-Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 407-413

PEES, M. & KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E (2010) Urinary tract. In Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds, Small Mammals, Reptiles. Eds M. E. Krautwald- Junghanns, M. Pees, S. Reese, T. Tully. Schluetersche Verlagsgesellschaft mbH & Co KG. pp 414-419

PEES, M., KIEFER, I., LUDEWIG, E. W., SCHUMACHER, J. P., KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E. & OECHTINGER, G. (2007) Computed tomography of the lungs of Indian pythons (*Python molurus*). *American Journal of Veterinary Research* 68, 428-434

PEES, M., KIEFER, I., LUDEWIG, E., WESTPHAL, S., SCHMIDT, V., KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E. & OECHTERING, G. (2006) Comparative

use of modern imaging techniques for the diagnosis of pneumonia in three Indian pythons (*Python molurus*). *Tierärztliche Praxis Ausgabe Kleintiere Heimtiere* 34, 275-282

PEES, M., KIEFER, I., OECHTINGER, G. & KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E. (2008a) Computed tomography for the diagnosis and treatment monitoring of bacterial pneumonia in Indian pythons (*Python molurus*). *Veterinary Record* 163, 152-156

PEES, M., KIEFER, I., THIELEBEIN, J., OECHTINGER, G. & KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E. (2008) Computed tomography of the lungs of healthy snakes of the species *Python regius*, *Boa constrictor*, *Python reticulatus*, *Morelia viridis*, *Epicrates cenchria*, and *Morelia spilota*. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 50, 487-491

PEES, M.; KIEFER, I.; THIELEBEIN, J.; OECHTINGER, G.; KRAUTWALD-JUNGHANS, M.E. (2009) Computed tomography of the lung of healthy snakes of the species *Python regius*, *Boa constrictor*, *Python reticulatus*, *Morelia viridis*, *Epicrates cenchria* and *Morelia spilota*. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 50, 487–491.

PELC N.(2008) Dual energy CT: physics principles. *Med Phys*; 35:2861.

PIZZI, R., MARTINEZ PEREIRA, Y., FELTNER RAMBAUD, Y., STRIKE, T., FLACH, E., RENDLE, M. & ROUTH, A. (2009) Secundum atrial septal defect in a Komodo dragon (*Varanus komodoensis*). *Veterinary Record* 164, 472-473

PLESSIS A, LE ROUX SG, GUELPA A. 2016. The CT Scanner Facility at Stellenbosch University: an open access x-ray computed tomography laboratory. *Nuclear Instruments Methods Phys Res Section B* ;384:42–49.

PREZIOSI, R., DIANA, A., FLORIO, D., GUSTINELLI, A. & NARDINI, G. (2007) Osteitis deformans (Paget's disease) in a Burmese python (*Python molurus bivittatus*) – A case report. *Veterinary Journal* 174, 669-672

RAHAL, S. C., TEIXEIRA, C. R., VULCANO, L. C. & AGUIAR, A. J. A. (2011) Use of an osteoconductive compound as an aid in the management of a mandibular fracture in a *Boa constrictor*. *Canadian Veterinary Journal* 52, 300-302

RISHNIW, M. & CARMEL, B. P. (2008) Atrioventricular valvular insufficiency and congestive heart failure in a carpet python. *Australian Veterinary Journal* 77, 580-583

RITMAN, E. L. (2004) Micro-computed tomography – current status and developments. *Annual Review of Biomedical Engineering* 6, 185-208

RUBIN, J.A., KIM, S.E. and BACON, N.J., 2013. Traumatic tympanic bulla fracture. *The Journal of Small Animal Practice*, 54 (11): 605-609.

RYBICKI FJ, OTERO HJ, STEIGNER ML, VOROBIOF G, NALLAMSHETTY L, MITSOURAS D, ET AL (2008). Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*; 24:535-6.

SAGARA Y, HARA AK, PAVLICEK W, SILVA AC, PADEN RG, WU Q. (2010) Abdominal CT: Comparison of Low-Dose CT With Adaptive Statistical Iterative Reconstruction and Routine-Dose CT With Filtered Back Projection in 53 Patients. *AJR Am J Roentgenol*;195:713-9

SAINSBURY, A. W. & GILI, C. (1991) Ultrasonographic anatomy and scanning techniques of the bosc monitor (*Varanus exanthematicus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 22, 421-433

SALOMON EJ, BARFETT J, WILLEMS PWA, GEIBPRASERT S, BACIGALUPPI S, KRINGS T. (2009) Dynamic CT Angiography and CT Perfusion employing a 320-Detector Row CT. Protocol and Current Clinical Applications. *Clin Neuroradiol*;19:187–96.

SCHARDT P, DEURINGER J, FREUDENBERGER J, HELL E, KNUEPFER W, MATTERN D, SCHILD M. (2004) New X-ray tube performance in computed tomography by introducing the rotating envelope tube technology. *Med Phys*;31:2699–706.

SCHARF, G., DEPLAZES, P., KASER-HOTZ, B., BORER, L., HASLER, A., HALLER, M. and M. FLÜCKIGER, 2004. Radiographic, ultrasonographic, and computed tomographic appearance of alveolar echinococcosis in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 45 (5): 411- 418.

SCHILLINGER, L., TESSIER, D. & POUCHELON, J. L. (2006) Proposed standardization of the two-dimensional echocardiographic examination in snakes. *Journal of Herpetological Medicine and Surgery* 16, 90-102

SCHILLINGER, L., THERIOU-SECHI, E., PETIT, A. M. P., MISBACH, C. & CHETBOUL, V. (2010) Double valvular insufficiency in a Burmese python (*Python molurus bivittatus*, Linnaeus, 1758) suffering from concomitant bacterial pneumonia. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41, 742-744

SCHILLINGER, L., VANDERSTYLEN, D., PIÉTRAIN, J. & CHETBOUL, V. (2003) Granulomatous myocarditis and coelomic effusion due to *Salmonella enterica* Arizonae in a Madagascar Dumeril's boa (*Acanthophis dumerili*, Jan, 1860). *Journal of Veterinary Cardiology* 5, 43-45

SCHOEMAN L, WILLIAMS P, DU PLESSIS A, ET AL.. 2016. X-ray micro-computed tomography (μ CT) for non-destructive characterisation of food microstructure. *Trends Food Sci Technol* ;47:10–24.

SCHONBAUER, M., LOUPAL, G. & SCHONBAUER-LANGLE, A. (1982) Osteoid sarcoma in a desert monitor (*Varanus griseus*). *Berliner und Munchener tierarztliche Wochenschrift* 95, 193-194

SCHROFF, S., SCHMIDT, V., KIEFER, I., KRAUTWALD-JUNGHANS, M. E. & PEES, M. (2010) Ultrasonographic diagnosis of endocarditis valvularis in a Burmese python (*Python molurus bivittatus*) with pneumonia. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41, 721-724

SCHUMACHER, J. (2003) Reptile respiratory medicine. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 6, 213-231

SCHUMACHER, J. & TOAL, R. L. (2001) Advanced radiography and ultrasonography in reptiles. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 10, 162-168

SCHUMACHER, J. & YELEN, T. (2005) Anesthesia and analgesia. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 442-452

SELLERI, P. & HERNANDEZ-DIVERS, S. J. (2006) Renal diseases of reptiles. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 9, 161–174

SILVERMAN, S. (2005) Diagnostic imaging. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 471-489

SINGHAL A, GRANDE JC, ZHOU Z. 2013 Micro/nano CT for visualization of internal structures. *Microscopy Today* ;21(02):16–22.

SMITH, D., DOBSON, H. & SPENCE, E. (2001) Gastrointestinal studies in the green iguana: technique and reference values. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 42, 515-520

SNYDER, P. S., SHAW, N. G. & HEARD, D. J. (1999) Two-dimensional echocardiographic anatomy of the snake heart (*Python molurus bivittatus*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 40, 66-72

SOSA JM, HUBER DE, WELK B, ET AL.. 2014. Development and application of MIPAR™: a novel software package for two-and three-dimensional microstructural characterization. *Integrat Materials Manufacturing Innovat* ;3(1):10

SOYER P, HEATH D, BLUEMKE DA, CHOTI MA, KUHLMAN JE, REICHLER R, ET AL. (1996) Three-dimensional helical CT of intrahepatic venous structures: comparison of three rendering techniques. *J Comput Assist Tomogr*;20:122-7.

STACY, B. A., VIDAL, J. D., OSOFSKY, A., TERIO, K., KOSKI, M. & DE COCK, H. E. (2004) Ovarian papillary cystadenocarcinomas in a green iguana. *Journal of Comparative Pathology* 130, 223-228

STAHL, S. J. (2002) Veterinary management of snake reproduction. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 5, 615-636

STAHLSCHMIDT, Z., BRASHEARS, J. & DENARO, D. (2011) The use of ultrasonography to assess reproductive investment and output in pythons. *Biological Journal of the Linnean Society* 103, 772-778

STARCK, J. M. (2009) Functional morphology and patterns of blood flow in the heart of *Python regius*. *Journal of Morphology* 270, 673-687

STARCK. J. M. & WIMMER. C. (2005) Patterns of blood flow during the

post-prandial response in ball pythons, *Python regius*. *Journal of Experimental Biology* 208, 881-889

SWANSON P.L. (2004). The iguana: *Iguana iguana iguana*. *Iguana* 11:179-182.

SYKES, J. M., SCHUMACHER, J., AVENELL, J., RAMSAY, E. & DANIEL, G. B. (2006) Preliminary evaluation of 99m Technetium diethylenetriamine pentaacetic acid, 99m Technetium dimercaptosuccinic acid, and 99m Technetium mercaptoacetyltriglycine for renal scintigraphy in corn snakes (*Elaphe guttata guttata*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 47, 222-227

TACK D, DE MV, PETIT W, SCILLIA P, MULLER P, SUESS C, GEVENOIS PA. (2005) Multi-detector row CT pulmonary angiography: comparison of standard dose and simulated low-dose techniques. *Radiology*;236:318–25.

TARAZONA O.A., FABREZI M. & RAMÍREZ-PINILLA M.P. (2008). Cranial morphology of *Bachia bicolor* (Squamata: Gymnophthalmidae) and its postnatal development. *Zool. J. Lin. Soc.* 152:775-792.

THIBAUT JB, SAUER KD, BOUMAN CA, HSIEH J.(2007) A threedimensional statistical approach to improved image quality for multislice helical CT. *Med Phys* ;34:4526–44.

THRALL, D. (2012). *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*.

TORRES-CARVAJAL O. (2003). Cranial Osteology of the Andean Lizard *Stenocercus guentheri* (Squamata: Tropiduridae) and Its Postembryonic Development. *J. Morphol.* 255:94-113.

TYSON, R., GRAHAN, J.P., BERMINNGHAM, E., RANDALL, S. And BERRY, C.R., 2005. Dynamic computed tomography of the normal feline hypophysis cerebri. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 46 (1): 33-38.

VAN CAMP, S., FISHER, P. and D. THRALL, 2000. Dynamic CT measurement of contrast medium washin kinetics in canine nasal tumors. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 41 (5): 403-408.

VAN GELDER RE, VENEMA HW, SERLIE IW, NIO CY, DETERMANN RM, TIPKER CA, ET AL. (2002) CT colonography at different radiation dose levels: feasibility of dose reduction. *Radiology*; 224:25–33.

VAN OOIJEN PMA, HO KY, DORGELO J, OUDKERK M. (2003) Coronary Artery Imaging with Multidetector CT: Visualization Issues. *RadioGraphics*; 23:e16.

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.

WANG G, YU H, DE MAN B.(2008) An outlook on x-ray CT research and development. *Med Phys*;35:1051-64.

WEBB S. (1992) Historical experiments predating commercially available computed tomography. *Br J Radiol*;65:835–7.

WILKEN, A.T.; MIDDLETON, K.M.; SELLERS, K.C.; COST, I.N.; HOLLIDAY, C.M. (2019)The roles of joint tissues and jaw muscles in palatal biomechanics of the savannah monitor (*Varanus exanthematicus*) and their significance for cranial kinesis. *J. Exp. Biol.*, 222

WILLIAMS, J. (2002) Orthopedic radiography in exotic animal practice. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 5, 1-22

WYNEKEN, J. (2005) Computed tomography and magnetic resonance imaging anatomy of reptiles. In *Reptile Medicine and Surgery*. Ed D. R. Mader. 2nd edn. Saunders. pp 1088-1096

YANAGA Y, AWAI K, FUNAMA Y, NAKAURA T, HIRAI T, ROUX S, ET AL. (2009) Low-Dose MDCT Urography: Feasibility Study of Low-Tube-Voltage Technique and Adaptive Noise Reduction Filter. *AJR Am J Roentgenol*;193:W220–9.

YE YB, WANG G (2005). Filtered backprojection formula for exact image reconstruction from cone-beam data along a general scanning curve. *Med Phys*;32:42–48.

ZAFRA R, CARRASCOSA C, SUAREZ-BONNET A, MELIAN C, FERNANDEZ T, MONZON M, QUESADA O, SUAREZ F, JABER JR. (2012) Three-dimensional reconstruction by computed tomography of an undifferentiated sarcoma in a dog. *J Appl Anim Res*; 47: 289-291.

ZARUCO, L., WISNER, E.R, SWANSTROM, M.D. and S.M. STOVER, 2006. Image fusion of computed tomographic and magnetic resonance images for the development of a three- dimensional musculoskeletal model of the equine forelimb. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 47 (6): 553-562.

ZIMMERMAN, D. M., DOUGLASS, M., SOUTHERLAND-SMITH, M., AGUILAR, R., SCHAFTENAAR, W. & SHORES, A. (2009) Compressive myelopathy of the cervical spine in Komodo dragons (*Varanus Komodoensis*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 40, 207-210

ZOTTI, A., SELLERI, P., CARNIER, P., MORGANTE, M. & BERNARDINI, D. (2004) Relationship between metabolic bone disease and bone mineral density measured by dual-energy X-ray absorbometry in the green iguana (*Iguana iguana*). *Veterinary Radiology & Ultrasound* 45, 10-16