

UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

**Estudio Anatómico y Técnicas de Diagnostico por Imagen
de la Articulación del Codo en la Especie Canina
(*Canis lupus familiaris*, L.)**

D. Aquilino Alexander Villamonte Chevalier

2015

**UNIVERSIDAD DE
MURCIA**



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

**“ESTUDIO ANATÓMICO Y POR TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR
IMAGEN DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO EN LA ESPECIE
CANINA (*Canis lupus familiaris, L.*)”**

**“ANATOMICAL AND DIAGNOSTIC IMAGING STUDY OF THE
ELBOW JOINT OF THE CANINE SPECIES (*Canis lupus familiaris, L.*)”**

Aquilino Alexander Villamonte-Chevalier

2015

TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES

1. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Latorre R. Anatomical study of fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. *Vet Rec.* (2012); 171: 596.
2. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Gielen I, Latorre R. Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow joint. *Vet Surg.* (2015); 44: 485–493.
3. Villamonte-Chevalier A, van Bree H, Broeckx B, Dingemanse W, Van Ryssen B, Gielen I. Assessment of medial coronoid disease in 180 canine lame elbow joints: a sensitivity and specificity comparison of radiographic, computed tomographic and arthroscopic findings. *BMC Vet Res.* (2015); 11: 243



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D^a. Marta Soler, Profesora Titular de Universidad del Área de Medicina y Cirugía Animal en el Departamento de Medicina y Cirugía Animal, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Estudio anatómico y por técnicas de diagnóstico por imagen de la articulación del codo en la especie canina (*canis lupus familiaris*, L.)", realizada por D. Aquilino Villamonte, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 23 de Octubre de 2015



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Rafael Latorre Reviriego, Catedrático de Universidad del Área de Anatomía y Embriología en el Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Estudio anatómico y por técnicas de diagnóstico por imagen de la articulación del codo en la especie canina (*canis lupus familiaris*, L.)", realizada por D. Aquilino Villamonte Chevalier, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 23 de Octubre de 2015



Dña. Ingrid Gielen, Jefa del servicio clínico de técnicas axiales de diagnóstico por imagen del departamento de Diagnóstico por imagen y Ortopedia de pequeños animales de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Gante, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada “Estudio Anatómico y de técnicas de diagnóstico por imagen de la articulación del codo en la especie canina (*Canis lupus familiaris*, L.)”, realizada por D. Aquilino Alexander Villamonte Chevalier, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Gante, Belgium, a 26 de Octubre de 2015

Dr. I. Gielen, DVM, PhD, MSc

Clinic head CT and MRI at Department of Medical Imaging and Small Animal Orthopedics

Faculty of Veterinary Medicine
Ghent University
Salisburylaan 133
9820 Merelbeke
Belgium



Dr Kees H. de Jong
Academisch Medisch Centrum,
Department of Anatomy & Embryology
Meibergdreef 15
1105 AZ Amsterdam, Nederland
Tel: +31 20 5669111 tracer 58844

Amsterdam, 27-10-2015

Dr. Kees H. de Jong,
Academic Medical Center,
Departamento de Anatomía y Embriología, 1105 AZ Amsterdam, Holanda.
Tel: +31 20 5669111 tracer 58844

Inform:

The Project of Doctoral Thesis entitled: “**Anatomic and Diagnostic Imaging study of the elbow joint in the dog (*Canis lupus familiaris*, L.)**” presented by **Aquilino Villamonte Chevalier** under the research supervision of Dr. Rafael Latorre Reviriego (Department of Anatomy and Comparative Pathology. University of Murcia), Dr. Marta Soler Laguía (Animal Medicine and Surgery Department. University of Murcia) and Dr. Ingrid Gielen (University of Ghent), is evaluated positively for the next public defence and evaluation by a jury to obtain the academic degree of Doctor by the University of Murcia with the mention “European Doctorate”.

Informa:

El proyecto de Tesis Doctoral titulada: “**Estudio Anatómico y de técnicas de diagnóstico por imagen de la articulación del codo en la especie canina (*Canis lupus familiaris*, L.)**” presentado por **Aquilino Villamonte Chevalier** bajo la dirección de la Dr. Rafael Latorre Reviriego (Department of Anatomy and Comparative Pathology. University of Murcia), Dr. Marta Soler Laguía (Animal Medicine and Surgery Department. University of Murcia) and Dr. Ingrid Gielen (University of Ghent) es evaluado positivamente para ser defendido en acto público ante un tribunal para obtener el grado académico de Doctor por la Universidad de Murcia con mención de “Doctorado Europeo”.

In Amsterdam, october 27th, 2015

En Amsterdam, 27 de octubre de 2015

Dr Kees H. de Jong

**Evaluation of the Doctoral thesis by
Aquilino Villamonte Chevalier**

Tel: +43-1- 4277 611-50 (Office), 611 51 (Lab)
Fax: +43-1- 4277 611 70
Email: mircea-constantin.sora@meduniwien.ac.at

Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora, Center for Anatomy and Cell Biology, Medical University of Vienna, Währingerstr.13, 1090 Vienna, Austria. Phone: +43 1 4277 61150, Fax: + 43 1 4277 61170.

Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora, Centro de Anatomía y Biología Celular, Universidad de Medicina de Viena, Währingerstr.13, 1090 Viena, Austria. Phone: +43 1 4277 61150, Fax: + 43 1 4277 61170.

Inform

The project of Doctoral Thesis entitled: “**Anatomic and Diagnostic Imaging study of the elbow joint in the dog (Canis lupus familiaris, L.)**” presented by **Aquilino Villamonte Chevalier** under the research supervision Dr. Rafael Latorre Reviriego (Department of Anatomy and Comparative Pathology. University of Murcia), Dr. Marta Soler Laguía (Animal Medicine and Surgery Department. University of Murcia) and Dr. Ingrid Gielen (University of Ghent) *is evaluated positively* for the next public defense and evaluation by a jury to obtain the academic degree of Doctor by the University of Murcia with the mention “European Doctorate”

Informa:

El proyecto de tesis doctoral titulada: “**Estudio Anatómico y de técnicas de diagnóstico por imagen de la articulación del codo en la especie canina (Canis lupus familiaris, L.)**” presentado por **Aquilino Villamonte Chevalier** bajo la dirección de la Dr. Rafael Latorre Reviriego (Department of Anatomy and Comparative Pathology. University of Murcia), Dr. Marta Soler Laguía (Animal Medicine and Surgery Department. University of Murcia) and Dr. Ingrid Gielen (University of Ghent) *es evaluado positivamente*, para ser defendido en acto público ante un tribunal para obtener el grado académico de Doctor por la Universidad de Murcia con mención de “Doctorado Europeo”

In Vienna, october 25th, 2015

En Viena, 25 de octubre de 2025



Univ. Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora

E-mail

Henri.vanbree@ugent.be

Date

26 October 2015

Tel. and fax

T +32 9 264 76 50

F +32 9 264 77 93

To whom it may concern:

Externship at University of Ghent, Belgium, Department of Veterinary Medical Imaging and Small Animal Orthopaedics: Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier.

(June 1 to June 30 of 2013 and September 1 2013 to January 31 2014 – 7 months)

During his stay Mr. Aquilino Villamonte Chevalier visited the Department of small animal diagnostic imaging and orthopaedics and was instructed by the imaging and research team under the supervision of Dr. Ingrid Gielen. Apart from his occupation in veterinarian diagnostic imaging, Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier took part in scientific projects at our department. Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier was a valuable member of our scientific team, taking part in research projects, especially those relate to computed tomography imaging. Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier has acquired a solid knowledge concerning axial imaging techniques and can very efficiently handle clinical questions. His main focus during his stay in Ghent was the diagnostic imaging of the canine elbow joint.

Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier distinguishes himself by great commitment, precision and accuracy in his work. He always completed his tasks to the full satisfaction of his supervisors. It is also a pleasure to work with Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier as he is hard working, reliable, honest and modest.

I strongly believe that, on the grounds of his personal and professional qualities, he will be accepted as a valuable member of any team. Mr. Aquilino Villamonte-Chevalier has clearly demonstrated his ability to complete tasks on time and work independently with minimum supervision.

We know Mr. Aquilino Villamonte Chevalier as a committed and friendly colleague and were always satisfied with his work. For this reason we have no hesitation recommending him to continue his education.



Prof. Dr. H. van Bree

Prof. Dr. H. van Bree, DVM, PhD, Diplomate ECVS, Diplomate ECVDI
Department of Medical Imaging and Small Animal Orthopedics
Faculty of Veterinary Medicine
Ghent University, Salisburylaan 133, 9820 Merelbeke, Belgium

*A mis padres y hermana,
por apoyarme en cada paso,
por dejarme soñar sin límites.*

*A Sofie,
por acompañarme en cada aventura.*

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis doctoral es el resultado del esfuerzo de un equipo de trabajo excepcional, formado por personal del departamento de Medicina y Cirugía Animal; de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas de la Universidad de Murcia; y de Diagnóstico por Imagen y Traumatología en Pequeños Animales de la Universidad de Gante.

En primer lugar quiero agradecer a los directores de esta tesis doctoral; Marta Soler, Ingrid Gielen y Rafael Latorre, por todo su apoyo, infinita paciencia y dedicación durante estos años. Los conocimientos que me han transmitido en el ámbito de la investigación y docencia son invaluable. Ha sido un orgullo para mí trabajar junto a excelentes profesionales y grandes personas. Les agradezco la confianza depositada en mí para desarrollar este trabajo.

Agradecer a todo el personal del Departamento de Medicina y Cirugía Animal, especialmente a los miembros del grupo de investigación de Diagnóstico por Imagen haciendo mención especial a la Dra. Amalia Agut Catedrática del Departamento de Cirugía Animal, quien me dio la oportunidad de acceder al programa de doctorado, y a lo largo del tiempo, ha sido parte indispensable de mi formación investigadora. A todas mis compañeras del departamento, el día a día no habría sido lo mismo sin ustedes; en especial a la Dra. Paulina Haro, mi compañera de mil batallas. Gracias también a Silvia, Agustina, Miriam, Amaya y Ayesha su apoyo y palabras de aliento lo llevaré siempre conmigo.

Al personal del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas, quienes desde el primer día ofrecieron su apoyo. A los doctores María Dolores Ayala, Gregorio Ramírez; Octavio López, Francisco Gil, Cayetano Sánchez y Francisco Gomariz; gracias por su apoyo desinteresado y por esas dosis de conocimiento que sin saberlo me han dado. Al personal técnico Mariano Orenes y José Albarracín, por toda la ayuda ofrecida durante la fase experimental. Al Dr. Ricardo Sarriá, por su ayuda y colaboración durante el proceso

experimental de este trabajo. A los futuros doctores Ester Párraga, y Hugo Gutiérrez, gracias por los buenos momentos y las grandes ideas.

A los miembros del departamento de Diagnóstico por Imagen y Traumatología en Pequeños Animales de la Universidad de Gante. Al Dr. Henri van Bree, por recibirme en su departamento y ayudar en mi formación como investigador. A los miembros del equipo de investigación de imagen axial Kaatje Kromhout, Casper Crijns, Walter Dingenmanse, Billy Dries y Annemie Van Caelenberg por hacer de mi estancia, una gran experiencia.

Por último a todas aquellas personas que haya olvidado nombrar y que de alguna manera hayan participado en la elaboración de esta Tesis.

A todos y cada uno, muchas gracias.

RELACIÓN ALFABÉTICA DE ABREVIATURAS

ESPAÑOL:

EACM: enfermedad de la apófisis coronoidea medial

LCL: ligamento colateral lateral

LCM: ligamento colateral medial

LO: ligamento oblicuo

RM: resonancia magnética

TC: tomografía computarizada

INGLÉS:

CT: computed tomography

LCL: lateral collateral ligament

MCD: medial coronoid disease

MCL: medial collateral ligament

MR: magnetic resonance

OL: oblique ligament

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	9
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
<u>3.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA ARTICULACIÓN</u>	
<u>DEL CODO CANINO.....</u>	15
3.1.1 SUPERFICIES ARTICULARES.....	15
3.1.2 CARTÍLAGO ARTICULAR.....	17
3.1.3 CÁPSULA ARTICULAR.....	17
3.1.4 LIGAMENTOS ARTICULARES.....	18
3.1.5 COMPONENTES VASCULARES.....	20
3.1.6 COMPONENTES NERVIOSOS.....	22
3.1.7 COMPONENTES MUSCULARES.....	23
<u>3.2 ASPECTOS BÁSICOS DE LA ECOGRAFÍA DE LA ARTICULACIÓN</u>	
<u>DEL CODO CANINO.....</u>	24
3.2.1 PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN ECOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO.....	24
3.2.2 APARIENCIA ECOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO.....	27
<u>3.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LA RADIOGRAFÍA DE LA ARTICULACIÓN</u>	
<u>DEL CODO CANINO.....</u>	28
3.3.1 APARIENCIA RADIOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO.....	30
<u>3.4 ASPECTOS BÁSICOS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA</u>	
<u>DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO.....</u>	27
3.4.1 APARIENCIA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA.....	32
<u>3.5 ASPECTOS BÁSICOS DE LA RESONANCIA MAGNETICA DE</u>	
<u>LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO.....</u>	35
3.5.1 APARIENCIA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO EN RESONANCIA MAGNÉTICA.....	35

<u>3.6 ASPECTOS BÁSICOS DE LA PLASTINACIÓN DE</u>	
<u>SECCIONES ANATÓMICAS CON LA TÉCNICA E-12</u>	37
4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS	39
<u>4.1 ARTÍCULO 1</u>	43
<u>4.2 ARTÍCULO 2</u>	45
<u>4.3 ARTÍCULO 3</u>	47
5. CONCLUSIONES	49
6. RESUMEN GENERAL	53
7. EXTENDED SUMMARY	81
8. BIBLIOGRAFÍA	107
9. APÉNDICE	121

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Las alteraciones de la articulación del codo son la causa más frecuente de cojera del miembro torácico en la especie canina (Cook, 2001; Scott and Witte, 2011). Entre las patologías más comunes se incluyen: displasia de codo, luxación congénita del codo, osificación incompleta del cóndilo del húmero (Scott and Witte, 2011) y entesio patía de los músculos flexores (de Bakker et al., 2013a). La patología más frecuentemente diagnosticada es la displasia de codo, que comprende cuatro alteraciones primarias: la no unión de la apófisis ancónea, la osteocondrosis del cóndilo medial del húmero, la incongruencia articular y la fragmentación de la apófisis coronoidea medial (Kirberger and Fourie, 1998; Scott and Witte, 2011). Estas alteraciones se pueden presentar de manera aislada o de forma simultánea en una misma articulación del codo.

Recientemente se han introducido los términos enfermedad del compartimento medial y enfermedad de la apófisis coronoidea medial (EACM). El primero hace referencia a las lesiones del cartílago articular que pueden sufrir cualquiera de las superficies articulares del aspecto medial de la articulación del codo (Kramer et al., 2006; Vermote et al., 2010); mientras que la EACM incluye las lesiones óseas y cartilaginosas propias de esta estructura ósea (Fitzpatrick et al., 2009).

La anatomía de la articulación del codo canino ha sido ampliamente descrita en tratados de anatomía clásicos (Robert Barone, 1980; R. Nickel, 1986; Evans, 1993), aunque las teorías de la etiología de la displasia de codo, que sugieren una influencia de tendones y ligamentos sobre las estructuras óseas (Schaaf et al., 2009; Hulse et al., 2010), reclaman estudios en detalle de las estructuras ligamentosas del aspecto medial de la articulación.

La evaluación radiográfica de la articulación del codo es la técnica de diagnóstico por imagen de primera elección (Cook and Cook, 2009; Rau et al., 2011), especialmente cuando

es realizada por un observador experimentado (Rau et al., 2011). De acuerdo con la International Elbow Working Group (IEWG) las proyecciones radiográficas estándar que se deben utilizar para la evaluación completa de la articulación del codo canino son: medio-lateral en extensión, cráneo-caudal, medio-lateral en máxima flexión, medio-lateral en extensión con supinación, craneolateral-caudo-medial a 15⁰ en pronación, craneomedial-caudolateral a 45⁰ en supinación, y distomedial-proximolateral oblicua (Chanoit et al., 2010; Kirberger, 2014). Los detalles de tejidos blandos no son visibles a través de esta técnica aunque se puede inferir su existencia a partir de cambios radiológicos óseos (Hornof et al., 2000; Fitzpatrick et al., 2009; Smith et al., 2009; Lappalainen, 2014; Lau et al., 2014).

Otras técnicas de imagen utilizadas para la evaluación de la articulación del codo canino son la ecografía (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005; Seyrek-Intas et al., 2009), la tomografía computarizada (TC) (Reichle et al., 2000; Gemmill et al., 2005; Carrera et al., 2008; de Bakker et al., 2014b), la resonancia magnética (RM) (Baeumlin et al., 2010; Piola et al., 2012; de Bakker et al., 2014a), la escintigrafía (Schwarz et al., 2004; de Bakker et al., 2013b; Debruyne et al., 2013). Recientemente nuevas modalidades como la TC de emisión monofotónica (de Bakker et al., 2013b; Peremans et al., 2011,2013) o la tecnología infrarroja (McGowan et al., 2015) se han empleado para la detección de alteraciones de la articulación.

La artroscopia se considera como una técnica mínimamente invasiva y fiable que permite una inspección exhaustiva de la articulación del codo (Van Ryssen and van Bree, 1997; Langhann et al., 2003; Jardel et al., 2010), en especial la superficie articular (Moore et al., 2008). Las principales desventajas de la artroscopia son la necesidad de anestesia general, la limitada accesibilidad al equipo necesario para la realización de una artroscopia y la falta de experiencia en esta técnica (Farrell et al., 2014). Los veterinarios en general poseen mayor contacto y experiencia con equipos radiográficos (Farrell et al., 2014).

La ecografía de alta frecuencia es una técnica de imagen ampliamente utilizada en medicina humana para la evaluación de alteraciones músculo esqueléticas (Radunovic et al., 2012; Konin et al., 2013). Esta técnica se puede utilizar como un complemento para la radiografía en la evaluación clínica de la articulación del codo canino, ya que, la información que se obtiene de la radiografía tiene limitaciones debido a la estrecha relación que hay entre las estructuras anatómicas y su superposición (Burton et al, 2007; Wagner et al, 2007; Burton et al, 2008; Moores et al, 2008). Hoy en día existen pocos estudios que describan la anatomía ecográfica de la articulación del codo canino y que establezcan un protocolo de abordaje para su evaluación clínica (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). Ninguno de estos estudios utiliza técnicas de plastinación de tejidos, como se ha hecho para la articulación de la rodilla en el perro (Soler et al., 2007), el tarso equino (Latorre et al., 2006) o la articulación temporomandibular equina (Rodríguez et al., 2010).

La TC es una técnica de imagen no invasiva que crea imágenes seccionales de estructuras anatómicas. Si se compara con la radiografía, la TC tiene una mayor sensibilidad y especificidad (Reichle and Snaps, 1999; Lappalainen et al., 2009; Rau et al., 2011; Lau et al., 2015); sin embargo, la artroscopia se considera a día de hoy como la técnica indicada para el diagnóstico definitivo de las alteraciones de la articulación del codo (Moores et al., 2008). Una publicación (Wagner et al., 2007) sugiere que para el diagnóstico de la incongruencia articular la TC posee un valor diagnóstico similar al de la artroscopia.

La resonancia magnética (RM) es una técnica que al igual que la TC nos permite obtener imágenes seccionales en múltiples planos anatómicos. En medicina humana es utilizada para la evaluación de las estructuras músculo esqueléticas y nerviosas de la articulación del codo (Kijowski et al., 2004a, 2004b; Ayromlou et al., 2012; Wang et al., 2012; Xu et al., 2012; Sampath et al., 2013). De forma similar en medicina veterinaria ha sido utilizado para la evaluación de la apariencia normal de la articulación del codo (Snaps et al.,

1998; Baeumlin et al., 2010; Adamiak et al., 2011), la demostración de alteraciones del cartílago articular (Probst et al., 2008; Wucherer et al., 2012; Rycke et al., 2015) o presentar imágenes características de alteraciones como la osificación incompleta del cóndilo del húmero (Gabriel et al., 2009; Piola et al., 2012), incongruencia articular (Janach et al., 2006), y la entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo (de Bakker et al., 2014a).

Así, planteamos como primer objetivo evaluar de forma detallada la morfología de los ligamentos y músculos del aspecto medial del codo canino mediante técnicas de disección y secciones anatómicas transparentes plastinadas. Esta información nos permitirá conocer la posible relación entre la conformación de estas estructuras y las alteraciones de la apófisis coronoidea medial (artículo 1). Por otra parte, y tal como se ha expuesto, existe la necesidad de profundizar en el uso de la ecografía en el diagnóstico de la articulación del codo, empleando para ello técnicas de plastinación. Por ello nos planteamos como segundo objetivo evaluar las diferentes ventanas acústicas para examinar las estructuras anatómicas que conforman la articulación del codo y correlacionar las imágenes ecográficas obtenidas a partir del protocolo establecido con secciones anatómicas plastinadas (artículo 2). El avance de la tecnología en las técnicas diagnósticas de imagen axial (TC y RM) y la posibilidad de comparar estas imágenes de alta calidad con secciones anatómicas transparentes plastinadas, llama a la presentación de un estudio que haga referencia a la visualización de las estructuras ligamentosas, musculares y óseas de la articulación del codo canino (artículo en apéndice, pendiente de publicación).

Por último teniendo en cuenta las desventajas que presenta la evaluación de la articulación del codo canino a través de la artroscopia, procuramos presentar la TC como una técnica de referencia igualmente eficaz que la artroscopia, para el diagnóstico de las alteraciones de la apófisis coronoidea medial. Así pues, el tercer objetivo que nos hemos planteado consiste en comparar los valores de sensibilidad y especificidad de la TC para la

evaluación de la articulación del codo canino, utilizando como técnica de referencia la artroscopia (artículo 3).

2. OBJETIVOS

Esta tesis doctoral se plantea con los siguientes objetivos:

1. Evaluar de forma detallada la morfología de los ligamentos y músculos del aspecto medial del codo canino, a través de disección anatómica y la elaboración de secciones anatómicas plastinadas (artículo 1).
2. Evaluar las diferentes ventanas acústicas para examinar las estructuras anatómicas que conforman la articulación del codo del perro y correlacionar las imágenes ecográficas obtenidas a partir del protocolo establecido con secciones anatómicas plastinadas (artículo 2).
3. Comparar los valores de sensibilidad y especificidad de la tomografía computarizada en la evaluación clínica de la articulación del codo canino utilizando como técnica de referencia la artroscopia; y evaluar los valores de sensibilidad y especificidad de la radiografía utilizando como técnica de referencia la tomografía computarizada (artículo 3).

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

La articulación del codo canino es una articulación sinovial de tipo condilar, similar a una bisagra o polea (König, 2004), comprende las subunidades articulares humero-radial y humero-cubital (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004), que están formadas por los cóndilos del húmero y las extremidades proximales del radio y el cúbito, donde la tróclea del húmero se articula con la escotadura troclear del cúbito y con la fóvea de la cabeza del radio (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004).

Se cataloga como una articulación mono-axial debido a las crestas y hendiduras de la tróclea y al profundo hundimiento del olécranon dentro de la fosa del olécranon del húmero, que impiden los movimientos laterales y permiten solamente los movimientos de flexión y extensión con un ángulo, entre los 100° y 140° , según la raza (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004). Un grado moderado de supinación y pronación es posible debido a que el cúbito y el radio no están fusionados y permiten la rotación del radio sobre el cúbito (Nickel, 1986; Sandoval, 1998).

3.1.1 SUPERFICIES ARTICULARES

Las superficies articulares están localizadas en el cóndilo del humero y los segmentos proximales del radio y el cúbito.

El cóndilo del húmero está provisto de una superficie transversal para la articulación con el radio y el cúbito, formada por la tróclea en el aspecto medial y por el capitulum en el aspecto lateral (Getty, 1982); tiene una forma redondeada en el plano sagital (Evans, 1993). La superficie del húmero es convexa en el aspecto craneal y caudal y más estrecha en el área de flexión del codo (Barone, 1980).

La tróclea es amplia y es cruzada por un surco sagital en su aspecto craneal, el cual describe la fosa sinovial que se extiende hasta llegar a la fosa del olécranon (Getty, 1982). Esta sección se articulará con la escotadura troclear del cúbito (Getty, 1982).

En el aspecto lateral está el capitulum situado más caudal y distal, lo que le da una apariencia oblicua (Getty, 1982). El capitulum se articulará con la cabeza del radio (Evans, 1993).

La fosa del olécranon se encuentra entre los epicóndilos del humero en el aspecto caudal del hueso, es una excavación profunda que recibe a la apófisis ancónea durante la extensión del codo (Getty, 1982; Evans, 1993).

La fosa radial, conocida también como fosa coronoidea en otras especies, recibe al radio durante la flexión del codo; esta fosa se comunica con la fosa del olécranon a través del foramen supratroclear (Evans, 1993).

La cabeza del radio tiene forma ovoide con superficie irregular, es cóncava en la fóvea articular donde se articula con el capitulum del húmero (Evans, 1993); la circunferencia articular es una banda lisa localizada en el aspecto caudal del radio, que se articula con la escotadura radial del cúbito (Getty, 1982; Evans, 1993).

El cúbito se articula con el húmero a través de la escotadura troclear y con la circunferencia articular del radio a través de la escotadura radial (Evans, 1993).

La escotadura troclear es cóncava y lisa con forma de media luna, está dividida por un relieve en su aspecto sagital; articula con la tróclea del húmero utilizando toda su superficie articular (Evans, 1993).

La apófisis ancónea es una estructura ósea con una suave forma puntiaguda que sobresale de la escotadura troclear (Getty, 1982); esta encaja en la fosa del olécranon del húmero cuando el codo está extendido (Evans, 1993).

Las apófisis coronoides están localizadas distalmente a la escotadura troclear, la apófisis coronoidea medial es prominente y la coronoidea lateral más pequeña y situada hacia lateral (Evans, 1993). Estas estructuras aumentan la superficie de la articulación de la articulación del codo (Evans, 1993)

3.1.2 CARTÍLAGO ARTICULAR

El cartílago hialino de la articulación del codo canino es una superficie lisa de color blanco 1 mm de grosor aproximadamente; bajo la superficie del cartílago articular se encuentra una zona calcificada unida al hueso subcondral adyacente (Probst et al., 2008). En animales jóvenes el cartílago es traslúcido con un brillo azulado o rosáceo, que pasa a un color amarillo al envejecer; este cambio se atribuye a la pérdida de elasticidad del cartílago articular (Probst et al., 2008).

A pesar que los textos indican la presencia de cartílago sobre toda la superficie articular, se han descrito con el nombre de fosas sinoviales a las interrupciones de la continuidad del cartílago en varias especies incluyendo la humana y la canina. Esto se observa especialmente a nivel de la escotadura troclear donde se encuentra discontinuidad del cartílago, sin presentar ninguna alteración ni sintomatología patológica (Wolschrijn et al., 2003; Probst et al., 2008).

3.1.3 CÁPSULA ARTICULAR

La cápsula articular de la articulación del codo canino cubre las subunidades articulares humero-cubital y humero-radial, así como la articulación radio-cubital proximal (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009). Está

formada por una membrana sinovial íntimamente relacionada con una capa fibrosa, esta última solamente se encuentra en el aspecto craneal de la articulación del codo (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

Se proyecta por debajo del músculo bíceps braquial adherida al húmero proximalmente a la fosa radial y al foramen supratroclear para luego adherirse distalmente a la cabeza del radio después de haberse fusionado con el ligamento anular; lateral y medialmente tiene sus límites a nivel de los ligamentos colaterales (Constantinescu and Constantinescu, 2009). En la cara flexora de la articulación, la cápsula esta reforzada por fibras oblicuas con dirección medio-distal, esta estructura de refuerzo se corresponde con el ligamento oblicuo (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009).

Es una cápsula articular estrecha con recesos articulares en el aspecto craneal y en el aspecto caudal (Nickel, 1986), los recesos aparecen durante la flexión y extensión de la articulación y se comunican entre sí (Constantinescu and Constantinescu, 2009). En el aspecto craneal un receso se encuentra a nivel de la fosa radial, que a su vez delega otro receso medial a nivel de la inserción del músculo bíceps braquial y otro pequeño receso bajo los tendones de origen de los músculos extensor carpo-radial y el extensor digital común. En el aspecto caudal hay un receso en la fosa del olécranon cubierto por el ligamento del olécranon, este receso produce otro receso más pequeño bajo el epicóndilo medial del húmero (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

3.1.4 LIGAMENTOS ARTICULARES

Los ligamentos colaterales de la articulación son los principales medios de unión de los huesos implicados en la articulación del codo, aseguran la estabilidad y dirigen los

movimientos de flexión y extensión (Sandoval, 1998); son considerados como engrosamiento de la cápsula articular fibrosa (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

El ligamento colateral lateral (LCL) se fija proximalmente en el epicóndilo lateral del húmero, luego se divide en dos ramas: una craneal más fuerte y otra rama caudal más débil (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009); la rama craneal se une al ligamento anular y a menudo presenta un hueso sesamoideo (Constantinescu and Constantinescu, 2009), luego se adhiere a la tuberosidad proximal del radio (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009); la rama caudal se adhiere al cúbito (Nickel, 1986; Sandoval, 1998; König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009) sobre sus tuberosidades (Nickel, 1986). El LCL es mucho más fuerte que el ligamento colateral medial (LCM) (Getty, 1982).

El LCM se fija proximalmente en el epicóndilo medial del húmero, para luego bifurcarse en las ramas craneal y caudal. (Constantinescu and Constantinescu, 2009; König, 2004). Estas ramas se adhieren a la tuberosidad del radio y caudalmente al cúbito (König, 2004); otros textos describen la porción caudal del LCM como más larga y estrecha, con un recorrido que penetra el espacio interóseo, donde se adhiere a la superficie caudolateral proximal del radio, caudalmente a la inserción de la rama craneal del LCL (Oliveira et al., 2003).

El ligamento oblicuo de la articulación del codo canino es parte del refuerzo fibroso de la cara flexora de la cápsula articular (König, 2004; Oliveria 2003), este se adhiere proximalmente en el aspecto lateral de la fosa radial y distalmente en el lado medial del cuello del radio; está bifurcado en su porción distal para permitir el paso de los tendones de los músculos braquial y bíceps braquial (Constantinescu and Constantinescu, 2009). La

porción craneal se adhiere al borde proximal del radio; mientras que la porción caudal se fusiona con la porción craneal del LCM (Oliveira et al., 2003).

El ligamento del olécranon es una banda elástica que tiene como función tensar la cápsula articular (König, 2004), éste se adhiere desde la el aspecto medial del epicóndilo medial del húmero a nivel de la fosa del olécranon hasta llegar justo distalmente a la tuberosidad del olécranon en su aspecto medial (König, 2004; Constantinescu and Constantinescu, 2009).

El ligamento anular cruza la parte craneal del extremo proximal del radio (Getty, 1982) sobre la articulación radio-cubital, a este nivel une sus fibras a las de la cápsula articular fibrosa, luego es cubierto por los ligamentos colaterales, para posteriormente adherirse a las hendiduras radiales del cúbito medial y lateral (Constantinescu and Constantinescu, 2009). Otros autores no describen la inserción del ligamento en el aspecto medial, describen una unión al LCM (Getty, 1982).

3.1.5 COMPONENTES VASCULARES

A nivel superficial del codo canino es irrigado en su parte craneal por las ramas cutáneas de la arteria circunfleja humeral caudal; caudo-lateral y caudomedialmente están las ramas de la arteria toracodorsal; y en el aspecto cráneo-lateral y cráneo-medial están las ramas de la arteria braquial superficial (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

El drenaje del codo a nivel superficial es realizado en el aspecto caudal por las ramas de la vena colateral cubital; en el aspecto craneal por las ramas de la vena cefálica; en el aspecto medial por las ramas de la vena mediana y por el aspecto lateral por las ramas de la vena colateral media y colateral radial (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

La arteria braquial es la continuación de la arteria axilar a nivel del brazo, transcurre caudal al nervio musculocutáneo y el músculo bíceps braquial y medial al húmero y craneal

al nervio mediano; hace un recorrido oblicuo hacia distal a nivel de del húmero distal para terminar pasando bajo del músculo pronador redondo (Evans, 1993; Getty, 1982).

La arteria colateral radial surge como rama de la arteria circunfleja humeral caudal, en su posición caudal al húmero produce la arteria nutricia del humero y la arteria colateral media, esta última recorre la fosa del olécranon y participa en la formación de la red articular cubital (Nickel, 1986).

La arteria colateral media es una rama de la arteria radial, esta arteria puede estar presente o no en la especie canina, de estar presente forma parte de la red articular del codo (Schaller, 1996).

La arteria colateral cubital discurre sobre el aspecto caudal del miembro y se ramifica a nivel del olécranon a nivel del nervio cubital (Schaller, 1996). A partir de esta arteria surge una rama proximalmente a la articulación del codo que discurre bajo la cabeza medial del músculo tríceps braquial y el músculo ancóneo y se introduce en la fosa del olécranon; desde allí irriga la grasa y el receso articular de la cápsula articular (Evans, 1993). Posteriormente en su recorrido distal se ramifica e irriga las partes proximales de los músculos flexores del antebrazo (Nickel, 1986; Evans, 1993).

La arteria interósea recurrente tiene un recorrido hacia proximal en la cara lateral de la articulación del codo para formar parte de la red articular del codo (Schaller, 1996).

La arteria cubital recurrente es una arteria pequeña con un recorrido con dirección hacia proximal y hacia caudal a lo largo de la cara medial del olécranon con dirección hacia el epicóndilo medial del húmero para luego unirse a la red articular del codo (Getty, 1982; Schaller, 1996). En ocasiones pueden existir dos arterias cubitales recurrentes (Getty, 1982); irriga el músculo pronador redondo, flexor carpo-radial, flexor carpo-cubital, flexor digital superficial y las cabezas humeral y cubital del flexor digital profundo; y se anastomosa con la

arteria colateral cubital a nivel del epicóndilo medial del húmero (Getty, 1982; Evans, 1993; Schaller, 1996).

La arteria transversa del codo es pequeña y cursa la articulación por su aspecto lateral sobre la superficie de flexión del codo entre los músculo bíceps braquial, braquial y el húmero (Getty, 1982) para luego discurrir por debajo del músculo pronador redondo (Evans, 1993); se ramifica e irriga a la articulación del codo y a los músculos braquial, supinador y los extensores del carpo y dedo (Getty, 1982).

La arteria braquial superficial es una continuación de la arteria braquial tiene un recorrido cráneo-distal y cruza la porción más distal del músculo bíceps braquial sobre el aspecto flexor de la articulación del codo (Nickel, 1986; Evans, 1993; Schaller, 1996). Se continúa luego como arteria antebraquial superficial se bifurca proximalmente al músculo extensor carpo-radial en dos ramas que discurren hacia distal. (Nickel, 1986).

Las venas que drenan la articulación acompañan las arterias correspondientes (Schaller, 1992).

3.1.6 COMPONENTES NERVIOSOS

La inervación del codo canino corre a cargo los nervios axilar, radial, musculocutáneo y cubital (Constantinescu and Constantinescu, 2009). El nervio cutáneo craneal del antebrazo, ramo del nervio axilar, recorre el aspecto craneal del codo muy cerca del nervio cutáneo lateral del antebrazo que es un ramo del nervio radial, se divide en dos ramos uno lateral que inerva el aspecto cráneo-lateral del codo; y un ramo medial que inerva el aspecto cráneo-medial del codo.

Del nervio musculocutáneo se desprende el nervio cutáneo medial del antebrazo que inerva el aspecto cráneo-medial del codo junto con el nervio cutáneo lateral del antebrazo (Constantinescu and Constantinescu, 2009). El nervio cubital participa con el ramo cutáneo

caudal del antebrazo, que inerva los aspectos caudo-lateral y caudo-medial (Constantinescu and Constantinescu, 2009).

Los nervios mediano y cubital inervan los músculos flexores del antebrazo a través de sus ramos musculares (Schaller, 1996).

En su recorrido por la articulación del codo el nervio radial deja uno o dos ramos craneolateralmente y un ramo cranealmente que inervan la cápsula articular (Yilmaz and Bahadir, 2009). Por otra parte el nervio mediano deja un ramo que inerva la cápsula articular ya sea por el aspecto craneal, cráneo-medial o medial (Yilmaz and Bahadir, 2009).

El nervio cubital deja un o dos ramos nerviosos que se abren paso hacia la cápsula articular entre el epicóndilo medial y el olécranon, estos ramos abordan la cápsula articular por el aspecto caudal, medial o caudo-medial (Yilmaz and Bahadir, 2009).

El nervio musculocutáneo se divide en varios ramos articulares finos en el tercio distal del húmero, de tres a cuatro de estos ramos inervan la cápsula articular desde su aspecto dorso-medial (Yilmaz and Bahadir, 2009).

3.1.7 COMPONENTES MUSCULARES

Los puntos de origen e inserción de los músculos adyacentes a la articulación del codo son estructuras que contribuyen a la unión y estabilidad de la articulación del codo (Barone, 1980).

Los músculos que rodean la articulación del codo pueden agruparse en aquellos que pertenecen a la región del brazo y aquellos que pertenecen a la región del antebrazo. Del grupo de músculos del brazo, en el aspecto craneal se encuentran los músculos bíceps braquial y braquial; sobre el aspecto lateral se encuentran el músculo tríceps braquial, específicamente sus cabezas lateral y larga, y el músculo ancóneo; en el aspecto medial están

la cabeza media del músculo tríceps braquial y el músculo tensor de la fascia antebraquial. (Schaller, 1996; Constantinescu and Constantinescu, 2009)

El grupo de músculos del antebrazo en el aspecto cráneo-lateral incluye el músculo extensor carpo-radial, el extensor digital común, el extensor digital lateral, el extensor carpo-cubital y el supinador; por otra parte en el aspecto caudo-medial incluye el músculo pronador redondo, flexor carpo-radial, flexor digital superficial, flexor carpo-cubital y flexor digital profundo (Evans, 1993; Schaller, 1996; Sandoval, 1998).

3.2 ASPECTOS BÁSICOS DE LA ECOGRAFÍA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

La ecografía de la articulación del codo está considerada en medicina humana como un procedimiento útil que ofrece información valiosa sobre el espacio sinovial, superficies articulares, tendones, ligamentos y estructuras nerviosas (Radunovic et al., 2012). Es utilizada para el diagnóstico de epicondilitis, alteraciones de ligamentos y tendones, enfermedades musculares o roturas músculo tendinosas de la porción distal del músculo tríceps braquial o el músculo bíceps braquial (Konin et al., 2013). Esta técnica es dependiente de la experiencia y habilidad en la interpretación del operador, de manera tal que los informes y diagnósticos sean acertados (Radunovic et al., 2012). Su principal ventaja frente a otras técnicas son el menor tiempo que requiere para su realización, su bajo coste, la mayor resolución espacial que ofrece, la posibilidad de un examen dinámico (Radunovic et al., 2012; Konin et al., 2013) y realizar procedimientos intervencionistas (Konin et al., 2013).

3.2.1 PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN ECOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

El uso de transductores de alta frecuencia y banda ancha de 8-13 MHz (Lamb and Wong, 2005; Seyrek-Intas et al., 2009) ha permitido una evaluación más exacta de las estructuras que forman la articulación del codo canino.

En medicina veterinaria existen pocas publicaciones que describen el protocolo ecográfico para de la articulación del codo canino (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). Los protocolos de evaluación ecográfica de articulaciones de equinos y bovinos han servido de ejemplo para el establecimiento de nuevos protocolos para la especie canina (Knox et al., 2003).

Las superficies articulares y apariencias ecográficas de estructuras óseas y musculares involucradas en la articulación; y también la apariencia ecográfica de las estructuras blandas de la articulación del codo canino, es decir, ligamentos y tendones han sido descritas en algunas publicaciones (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

Estos estudios utilizaron marcadores anatómicos como los epicóndilos del húmero y las tuberosidades del olécranon; el LCL y los tendones del músculo tríceps braquial y el músculo bíceps braquial, para establecer un protocolo ecográfico que pudiera ser repetido (Knox et al., 2003; Lamb et al., 2005).

El protocolo se puede iniciar ya sea sobre el aspecto medial (Knox et al., 2003) o sobre el aspecto lateral (Lamb and Wong, 2005). Para algunos autores fue necesaria la flexión de la articulación para la evaluación de estructuras del aspecto caudal como la apófisis ancónea y el ligamento del olécranon (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005); y/o para evaluar la apófisis coronoidea medial (Lamb and Wong, 2005) aunque otros autores evalúan la apófisis coronoidea medial con el miembro en posición neutral (Knox et al., 2003; Seyrek-Intas et al., 2009).

Aspecto medial: se inicia con la articulación del codo extendida (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005) localizando las estructuras anatómicas de referencia epicóndilo medial del húmero (Knox et al., 2003) y el tendón del músculo bíceps braquial (Lamb and Wong, 2005). Se continúa al colocar el transductor directamente sobre el tendón sobre su eje transversal y se desliza el transductor hacia distal en su punto de inserción en el cúbito, donde se desliza hacia lateral para observar en detalle su tendón de inserción (Lamb and Wong, 2005).

Posteriormente se coloca el transductor en un plano longitudinal sobre epicóndilo medial del húmero (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005) donde se evalúa la estructura ósea de referencia y el LCM, se desliza y angula el transductor hacia distal para observar y evaluar la inserción del LCM (Lamb and Wong, 2005).

Al rotar el transductor sobre un plano transversal se puede observar también la apófisis coronoidea medial y el origen y cuerpo del LCM (Knox et al., 2003). Otro autor (Lamb and Wong, 2005) sugiere a este nivel la flexión a 90° de la articulación para evaluar la apófisis coronoidea medial y obtener otras imágenes oblicuas de la apófisis coronoidea desde el aspecto craneal de la articulación del codo.

Con la articulación del codo en una posición de flexión, se coloca el transductor sobre el aspecto caudo-medial del epicóndilo medial humeral, y se evalúan el olécranon, la apófisis ancónea y la parte caudal de la articulación humero-cubital (Knox et al., 2003).

Aspecto caudal: se utilizan como marcadores anatómicos los procesos cráneo-medial y cráneo lateral del olécranon y el tendón de inserción del músculo tríceps braquial para colocar el transductor en posición longitudinal al codo (Lamb and Wong, 2005). Con la articulación en flexión a unos 80° se obtienen imágenes del músculo tríceps braquial sobre los planos dorsal y transversal (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

También desde el eje longitudinal se puede evaluar el ligamento del olécranon al angular ligeramente el transductor hacia medial (Lamb and Wong, 2005). Para la evaluación de la apófisis ancónea el transductor se coloca en el borde lateral del olécranon y se desliza hacia medial (Lamb and Wong, 2005), y para una evaluación de la apófisis ancónea en plano transversal, se coloca el transductor entre el olécranon y el húmero distal lo que nos permite observar a la vez la fosa del olécranon (Lamb and Wong, 2005).

Aspecto lateral: extendiendo la articulación se localizan mediante palpación el epicóndilo lateral del húmero (Knox et al., 2003) o el LCL (Lamb and Wong, 2005) para considerarlos como marcador anatómico.

Colocando el transductor sobre el plano dorsal en el aspecto lateral de la articulación justo sobre los mencionados marcadores anatómicos, es posible observar la porción proximal del LCL, las superficies óseas del epicóndilo lateral del húmero, la porción lateral de la cabeza del radio y el espacio intraarticular humero-radial (Lamb and Wong, 2005).

La parte distal del LCL se observa al deslizar el transductor hacia distal a lo largo del aspecto lateral del radio (Lamb and Wong, 2005).

También es posible evaluar el espacio articular humero-cubital, desde el plano dorsal y desde el plano transversal (Knox et al., 2003), desde este último plano se observa también la cabeza del radio y su cartílago, el LCL y el músculo supinador y su tendón (Knox et al., 2003).

3.2.2 APARIENCIA ECOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

La apariencia ecográfica de la articulación del codo canino ha sido estudiada previamente en dos artículos (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005) que describen la apariencia de los huesos, músculos, tendones, ligamentos y estructuras más relevantes de la articulación del codo canino (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

En el aspecto medial de la articulación el tendón del músculo bíceps braquial en un corte longitudinal, se describe como una estructura con líneas hiperecogénicas paralelas y en un corte transversal como una estructura ovalada de ecogenicidad media con un punteado hiperecogénico en su interior (Lamb and Wong, 2005). En el LCM se distinguen dos porciones, una porción más proximal que se visualiza como una estructura con un patrón de líneas hiperecogénicas, y una porción más distal que se describe como una estructura hipoecogénica lineal debido a la oblicuidad del haz de ultrasonidos que lo inciden (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). La apófisis coronoidea medial es una estructura similar a un apófisis angular en la cara medial del cúbito (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

En la parte caudal, el olécranon y la apófisis ancónea se observan como estructuras lineales hiperecogénicas bien definidas con sombra acústica (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005); el tendón del tríceps en un corte longitudinal se visualiza como una estructura hiperecogénica con múltiples líneas hiperecogénicas paralelas, mientras que en un corte transversal se observa como una estructura ovoide con abundante punteado hiperecogénico en su interior (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

En el aspecto lateral el LCL, se visualiza en su porción proximal como una estructura con múltiples líneas paralelas hiperecogénicas que se corresponden con las líneas de colágeno y en su porción distal, se presenta como una estructura hipoecogénica cuando el haz de ultrasonidos no está dirigido perpendicularmente sobre las líneas de colágeno (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

El epicóndilo lateral del húmero y el aspecto lateral de la cabeza del radio se observan como márgenes hiperecogénicos bien definidos con sombra acústica (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

El espacio articular humero-radial se describe con una apariencia de anecógena a hipocogénica delineada por las superficies óseas (Lamb and Wong, 2005).

El origen del músculo supinador consiste en una estructura hiperecogénica ancha y plana, con un cartílago visualizado como una región hipocogénica entre 5-10 mm, éste puede estar mineralizado y observarse como una estructura linear hiperecogénica sin sombra acústica (Knox et al., 2003).

3.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LA RADIOGRAFÍA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

Al igual que sucede en medicina humana (Kane et al., 2014) la radiografía es la técnica por imagen que los veterinarios emplean de manera rutinaria para la evaluación de la articulación del codo canino (Cook and Cook, 2009; Chanoit et al., 2010; Kirberger, 2014). Para equipos de radiología convencional se sugiere el uso de pantallas lentas y técnicas de alto contraste, sin utilizar la rejilla; por otra parte para la radiología digital, se recomienda simplemente utilizar los principios básicos de exposición. Para ambos tipos de radiología es esencial la adecuada colimación de la articulación. (Kirberger, 2014)

Para la evaluación adecuada de la articulación del codo canino han sido descritas cinco (Chanoit et al., 2010) proyecciones radiográficas: medio-lateral en extensión, medio-lateral en flexión, cráneo-caudal, medio-lateral extendida en supinación a 75° y cráneo-lateral-caudomedial oblicua en pronación a 15° . La International Elbow Working Group (IEWG), recomienda siete proyecciones que incluyen las cinco anteriormente mencionadas y sugieren incluir una proyección cráneo-medial-caudolateral oblicua en supinación a 45° y otra proyección distomedial-proximolateral oblicua con el antebrazo elevado 35° y supinación a 40° (Kirberger, 2014). Las proyecciones cráneo-lateral-caudomedial oblicua en pronación a

15° y la proyección cráneo-caudal están indicadas para la visualización de la osteocondritis disecante (Chanoit et al., 2010). Por otra parte las proyecciones medio-lateral extendida en supinación a 75° y medio-lateral en extensión son recomendadas para la evaluación de la apófisis coronoidea medial (Kirberger, 2014; Tellhelm B. et al., 2014). Las proyecciones más comúnmente utilizadas para el estudio de la articulación del codo canina son las medio-lateral en extensión y en flexión y la proyección cráneo-caudal (Cook, 2001; Fitzpatrick et al., 2009; Vermote et al., 2010; de Bakker et al., 2013a;) La tabla resume las ventajas que ofrece cada proyección para la visualización de la articulación del codo canino.

PROYECCIÓN RADIOGRÁFICA	INDICACIÓN
Medio-lateral en extensión	Incongruencia articular Osteofitos a nivel del aspecto craneal de la articulación y la cresta del epicóndilo lateral Apófisis coronoidea medial superpuesta a la cabeza del radio
Medio-lateral en flexión	Osteofitos en la apófisis ancónea No unión de la apófisis ancónea Entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo
Cráneo-caudal	Alteraciones del epicóndilo y del cóndilo medial del húmero Diferenciación del hueso sesamoideo del músculo supinador de un fragmento de la apófisis coronoidea medial
Medio-lateral extendida supinación a 75°	Visualizar el borde craneal de la apófisis coronoidea medial (fragmentos)
Cráneolateral-caudomedial oblicua en pronación a 15°	Alteraciones del cóndilo medial del húmero Incongruencia articular (menos fiable que la proyección medio-lateral) Apófisis coronoidea medial (fragmentos)
Cráneomedial-caudolateral oblicua en supinación a 45°	Visualización del cóndilo lateral del húmero Diferenciación del hueso sesamoideo del músculo supinador de un fragmento de la apófisis coronoidea medial Osificación incompleta del cóndilo del humero
Distomedial-proximolateral oblicua	Visualización de la apófisis coronoidea medial

Tabla 1. Ventajas de cada una de las proyecciones radiográficas empleadas para evaluar la articulación del codo canino (Kirberger, 2014)

3.3.1 APARIENCIA RADIOGRÁFICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

Los hallazgos radiográficos encontrados en la articulación del codo canino dependen de la patología que afecta la articulación, y aun cuando sean inespecíficos sirven de orientación para la ejecución de otras técnicas de diagnóstico.

Los hallazgos radiográficos en caso de osteocondritis disecante incluyen un defecto radiotransparente a nivel del hueso subcondral del aspecto medial del cóndilo medial del húmero, esclerosis asociada al defecto radiotransparente, alteración de los bordes del epicóndilo medial y un grado variable de osteoartritis (Kippenes and Johnston, 1998; Chanoit et al., 2010). En el caso de entesio patía de los músculos flexores del antebrazo los hallazgos incluyen un borde irregular del epicóndilo medial, presencia de osteofitos o mineralizaciones, o una combinación de todas las anteriores (De Bakker et al., 2013).

El diagnóstico de la displasia de codo se basa en observar una alteración primaria o en visualizar las lesiones secundarias causadas por una alteración primaria (Tellhelm B. et al., 2014). La lesión más común de la articulación del codo es la EACM y su diagnóstico radiológico es complicado debido a la superposición de las estructuras óseas (Cook and Cook, 2009; Michelsen, 2013). Un aspecto borroso del aspecto craneal de la apófisis coronoidea medial, presencia de osteoartrosis y de esclerosis son los principales hallazgos secundarios de alteración patológica de la apófisis. La osteoartrosis se caracteriza por la visualización de neoformaciones óseas en los bordes óseos de la articulación o a nivel de la cápsula articular (Hazewinkel, 2014). La esclerosis consiste en un aumento de la opacidad ósea a nivel caudal y proximal de la apófisis coronoidea medial con pérdida de la estructura trabecular (Hazewinkel, 2014), un signo radiográfico conocido como la esclerosis de la escotadura troclear del cúbito. Varios estudios (Burton et al., 2007,2008; Smith et al., 2009)

han relacionado la esclerosis de la escotadura troclear del cúbito con la presencia de alteraciones de la apófisis coronoidea medial.

Debido a la complejidad de la articulación del codo, que provoca una apariencia muy variable, y a la no visualización de lesiones del cartílago articular; no es posible diagnosticar las patologías de la articulación del codo basados solamente en la radiografía (Cook and Cook, 2009) y por lo tanto otras técnicas de diagnóstico por imagen deben ser utilizadas para alcanzar un diagnóstico definitivo (Cook, 2001).

3.4 ASPECTOS BÁSICOS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

La TC es una técnica de diagnóstico por imagen que ofrece ventajas sobre otras técnicas, ya que ofrece la posibilidad de visualizar la articulación en múltiples planos, eliminando las opacidades causadas por la superposición de estructuras encontrada en la radiografía (Hoskinson and Tucker, 2001a; Cook and Cook, 2009); además la TC ofrece un alto contraste y resolución de las estructuras óseas, lo que se traduce en una mejor visualización de estas estructuras (Hoskinson and Tucker, 2001a). La TC nos ofrece la libertad de modificar los niveles de ventana y evaluar la articulación para diferentes patologías en un mismo estudio (Tromblee et al., 2007), y esta técnica también nos ofrece la posibilidad de realizar reconstrucciones tridimensionales que permiten obtener más información de la articulación (Cook and Cook, 2009). Sus desventajas son la necesidad de anestesia del paciente, el elevado coste del equipo y de su mantenimiento, y la exposición a la radiación ionizante (Cook and Cook, 2009).

El uso de la TC para la evaluación de la articulación del codo canino ha sido descrita tanto en articulaciones sanas (Reichle and Snaps, 1999; De Rycke et al., 2002; Samii et al.,

2002), como en articulaciones patológicas (Carpenter et al., 1993; Kippenes and Johnston, 1998; Reichle et al., 2000).

3.4.1 APARIENCIA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Las patologías de la articulación del codo que han sido objeto de estudio a través de la TC son la entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo (de Bakker et al., 2014b), la osificación incompleta del cóndilo del húmero (Robin and Marcellin-Little, 2001; Carrera et al., 2008; Martin et al., 2010; Moores et al., 2012), y la displasia de codo.

Las patologías que forman parte de la displasia de codo han sido evaluadas de forma independiente entre sí por diferentes autores: así la osteocondrosis (Kippenes and Johnston, 1998), la incongruencia articular (Gemmill et al., 2005; Kramer et al., 2006; Samoy et al., 2012), la no unión de la apófisis ancónea (Gasch et al., 2012) y la EACM (Moores et al., 2008; Groth et al., 2009; Lappalainen et al., 2009; Vermote et al., 2010).

Para la evaluación de las superficies articulares, la artrografía a través de TC ha sido realizada y comparada con la artrografía por resonancia magnética, demostrándose que obtienen resultados similares al detectar eficazmente alteraciones a nivel del cartílago articular (Waldt et al., 2005).

Esta tabla presenta los hallazgos por TC de las diferentes patologías de la articulación del codo canino.

PATOLOGÍA	HALLAZGOS
<p>Entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bordes irregulares, corteza esclerótica y/o engrosada del epicóndilo medial del húmero • Visualización de calcificaciones adyacentes al epicóndilo medial del húmero • Aumento de tamaño del grupo muscular

	<p>flexor y pérdida de densidad alrededor de los mismos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la captación de contraste en la zona de los músculos flexores
Osificación incompleta del cóndilo del húmero	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización de una línea hipoatenuada que se extiende desde la superficie articular hasta el foramen supratroclear • Visualización de un área hipoatenuada entre los cóndilos del húmero • Visualización de esclerosis alrededor de la zona hipoatenuada
DISPLASIA DE CODO	
No unión de la apófisis ancónea	<ul style="list-style-type: none"> • Completa: cuando en la imagen sagital la línea de fractura transcurre desde la corteza dista a la proximal • Incompleta: cuando en la imagen sagital solamente una corteza ósea está interrumpida por la línea de fractura • Presencia de quistes óseos y/o esclerosis
Incongruencia articular	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización en imágenes del plano sagital: desplazamiento del cúbito hacia proximal con respecto al radio y ensanchamiento del espacio humero-cubital; desplazamiento hacia craneal del cóndilo del humero • Visualización en imágenes del plano dorsal: ensanchamiento del espacio humero-cubital y humero-radial;
Osteocondrosis Osteocondritis disecante	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización a nivel del cóndilo medial del húmero de zonas hipoatenuadas y aplanadas con esclerosis “kissing lesión” (difícil de diferenciar entre osteocondrosis u osteocondritis) • La artrografía permite la visualización la distribución del contraste e identificar defectos en la superficie, defectos que alteran parte o la totalidad del cartílago articular, defectos que alcanzan a alterar el hueso subcondral.
	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización de osteofitos en los márgenes de la articulación • Identificación de una línea hipoatenuada: completa (de corteza a corteza) en caso de fragmentación de la apófisis coronoidea medial, incompleta:

Enfermedad de la apófisis coronoidea medial	<p>en caso de una fisura (desde la base hacia el ápice generalmente)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visualización de una apófisis coronoidea medial totalmente esclerótica o con el ápice hipoatenuado y el cuerpo y base escleróticos • Observación de una superficie irregular de la incisura radial del cúbito • Apariencia esclerótica o presencia de un defecto subcondral en el cóndilo medial del húmero • Incongruencia articular
--	---

Tabla 2. Hallazgos en tomografía computarizada de las principales alteraciones de la articulación del codo canino (Reichle et al., 2000; Gemmill et al., 2006; Kramer et al., 2006; Carrera et al., 2008; Groth et al., 2009; Gasch et al., 2012; de Bakker et al., 2014b)

3.5 ASPECTOS BÁSICOS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO

La resonancia magnética (RM) es una técnica de diagnóstico por imagen que permite obtener imágenes en múltiples planos anatómicos y ofrece la posibilidad de resaltar una estructura o tejido al modificar los parámetros de adquisición de la imagen. En medicina humana se utiliza a menudo para la evaluación de alteraciones músculo esqueléticas (Xu et al., 2012; Saleh Elessawy et al., 2013; Yoon and Jeong, 2013); la articulación del codo se considera como compleja y debe ser abordada de manera sistemática (Sampath et al., 2013). La apariencia normal de la articulación del codo humano (Kijowski et al., 2004a) y sus alteraciones (Kijowski et al., 2004b) han sido presentadas. En medicina veterinaria la apariencia de la articulación del codo canino ha sido objeto de estudio (Snaps et al., 1998), las diferencias de morfología entre razas (Janach et al., 2006) y la apariencia normal han sido presentadas (Baeumlin et al., 2010). Se han presentado trabajos de la apariencia de las alteraciones patológicas de los tejidos blandos de la articulación; estas son: osificación

incompleta del cóndilo del húmero (Gabriel et al., 2009; Piola et al., 2012), entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo (de Bakker et al., 2014a) y evaluación del cartílago articular (Probst et al., 2008; Wucherer et al., 2012). Las desventajas de esta técnica son similares a las de la TC, ya que el paciente debe estar bajo anestesia general y el coste del equipo y su mantenimiento es elevado.

3.5.1 APARIENCIA DE LA ARTICULACIÓN DEL CODO CANINO EN RESONANCIA MAGNÉTICA

La apariencia de las alteraciones de la articulación del codo canino, se resumen en la siguiente tabla.

PATOLOGÍA	HALLAZGOS
Osificación incompleta del cóndilo del húmero	<ul style="list-style-type: none"> • Señal anormal en la zona media del cóndilo del húmero hipointensa en secuencia GRE e hiperintensa en secuencia STIR (planos transversal y dorsal)
Entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo	<ul style="list-style-type: none"> • Engrosamiento de los músculos flexores del antebrazo, hiperintensos en secuencias T2 y STIR (planos transversal y dorsal) • Aumento de fluido hiperintenso en secuencia T2 • Bordes irregulares del epicóndilo medial del húmero en todas las secuencias • Edema óseo (no muy común)
Alteración del cartílago articular	<ul style="list-style-type: none"> • Cartílago normal es isointenso • Engrosamiento del cartílago articular del cóndilo medial del húmero • Aplanamiento de la superficie del cóndilo medial del húmero

- Irregularidad de la superficie del cartílago articular, generalmente asociada a alteraciones del hueso subcondral.
- Secuencias T1, T2 ,GE (planos sagital y dorsal)
- 3D-SGE (sólo perros medianos y grandes)

Tabla 3. Apariencia de las alteraciones principales para las patologías que afectan la articulación del codo canino. (Cook and Cook, 2009; Piola et al., 2012; de Bakker et al., 2014a)

3.6 ASPECTOS BÁSICOS DE LA PLASTINACIÓN DE SECCIONES ANATÓMICAS CON LA TÉCNICA E-12

Las técnicas de plastinación de especímenes anatómicos surgen en 1977 cuando el Dr. G. von Hagens, tras años de investigación sobre cómo aplicar polímeros en la conservación de material biológico, decidió emplear el término “PLASTINATION” para denominar este nuevo método de preservación. Después de primeras publicaciones a finales de la década de los setenta y principios de los ochenta se produjo una rápida expansión de estas técnicas, que dio lugar a la creación de numerosos laboratorios de plastinación, situados principalmente en las Facultades de Medicina y de Veterinaria.

La técnica E12 se ha posicionado como la mejor opción para el aprendizaje de la anatomía seccional como base para el diagnóstico por imagen (Cook, 1997), la principal aplicación es en la investigación anatómica. El bajo índice de refracción de la resina epoxy E12 junto a su mínima retracción durante la polimerización la convierte en la técnica de elección para estudiar diferentes tejidos, en diferentes planos del corte, desde un nivel macroscópico hasta microscópico. La ausencia de manipulación y descalcificación hace que

la topografía de las estructuras anatómicas no se vea afectada. La eliminación del tejido graso permite que el tejido conectivo, vasos sanguíneos y nervios se identifiquen con toda claridad sin sufrir manipulación.

En el área del diagnóstico por imagen esta técnica ha sido ampliamente utilizada para la interpretación macro y microscópica de estructuras anatómicas en cortes obtenidos en los mismos planos que las técnicas de imagen, como por ejemplo en las articulaciones temporomandibular (Rodríguez et al., 2010; Arredondo et al., 2013;) y del tarso (Latorre et al., 2006) y de la rodilla (Soler et al., 2007), al igual que para la identificación de paquetes neuromusculares en la planificación de abordajes artroscópicos en el tarso (Sora et al., 2004, 2008) o en el carpo (Sora and Genser-Strobl, 2005), o para la evaluación patologías clínicas en modelos animales (Párraga et al., 2013).

4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS

1. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Latorre R: Anatomical study of fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. *Vet Rec.* 2012; 171: 596.

2. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Gielen I, Latorre R: Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow joint. *Vet Surg.* 2015; 44: 485–493.

3. Villamonte-Chevalier A, van Bree H, Broeckx B, Dingemanse W, Van Ryssen B, Gielen I. Assessment of medial coronoid disease in 180 canine lame elbow joints: a sensitivity and specificity comparison of radiographic, computed tomographic and arthroscopic findings. *BMC Vet Res.* (2015); 11: 243



4.1 ARTÍCULO 1

The Veterinary record

Author(s): British Veterinary Association

NLM Title Abbreviation: Vet Rec

ISO Abbreviation: Vet. Rec.

Title(s): The Veterinary record.

Other Title(s): VET REC; Vet. Rec., Lond.

Publication Start Year: 1988

ISSN: 0042-4900 (Print)

2042-7670 (Electronic)

0042-4900 (Linking)

Electronic Links:

<http://veterinaryrecord.bmj.com/>

Abstract

Forces exerted by fibrous structures on the medial aspect of the canine elbow joint have been reported to be involved in elbow pathology. The purpose of this paper is to assess the relationships of the ligamentous and muscular structures of this region of the canine elbow joint, and how they relate to the medial coronoid process. Six cadavers of adult German shepherd cross-breed dogs were used in this study to make intra-articular and vascular injections of this region. Some joints were dissected and some were frozen to saw sagittal or dorsal cryosections to assess the relationships of the myotendinous structures. The brachialis muscle tendon passed through the division of the bicipital tendon of insertion which formed a fibrous tendon sheath that was reinforced by the oblique ligament. The biceps' brachii's main insertion is the radial tuberosity where it inserts along with the cranial branch of the oblique ligament and the cranial branch of the medial collateral ligament. Rotational and compression forces exerted by the insertion of the biceps brachii-brachialis tendon complex onto the ulna might influence medial coronoid disease. Therefore, sectioning these tendons could be considered as a treatment for medial coronoid disease.

Publicado en: <http://veterinaryrecord.bmj.com/content/171/23/596.long>



4.2 ARTÍCULO 2

Veterinary surgery : VS

Author(s): American College of Veterinary Surgeons; European College of Veterinary Surgeons

NLM Title Abbreviation: Vet Surg

ISO Abbreviation: Vet Surg

Title(s): Veterinary surgery : VS.

Other Title(s): VS; VET SURG

Publication Start Year: 1978

ISSN: 0161-3499 (Print)

1532-950X (Electronic)

0161-3499 (Linking)

Electronic Links:

[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1532-950X](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1532-950X)

Abstract

OBJECTIVE: To (1) assess the canine elbow joint using a high frequency transducer (18 MHz); (2) describe the echogenicity and echo texture of the joint; and (3) correlate the ultrasonographic images with transparent plastinated anatomic sections.

DESIGN:

Descriptive study.

SAMPLE POPULATION: German Shepherd cross-breed dogs (cadavers, n = 10; live dogs, n = 5).

METHODS: Elbow joints of 10 adult German Shepherd cross-breed dog cadavers were examined by ultrasonography and then 5 cadavers were selected for use in an anatomic study, in which 2 mm thick sections were obtained in the same planes as in the ultrasonographic protocol. Sections were plastinated using the E-12 plastination method and correlated to the corresponding ultrasonographic images. The elbow joints of 5 German Shepherd adult dogs were assessed by ultrasonography for comparison with cadaver images.

RESULTS: Good correspondence of soft tissue and bone structures was obtained between ultrasound images and anatomic sections. There was no difference in the ultrasonographic appearance of elbows of cadavers and live dogs in which the muscular, ligamentous, and bone components of the joints were evaluated.

CONCLUSION: This study presents a descriptive comparison of anatomic and ultrasonographic images, which will offer clinicians a more comprehensive understanding of the anatomic structures of the canine elbow joint and serve as reference for further imaging diagnostic studies because of the precise correspondence between anatomic plastinated sections and ultrasonographic images.

Publicado en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1532-950X.2014.12249.x/abstract>



4.3 ARTÍCULO 3

BMC veterinary research**Author(s):** BioMed Central Ltd**NLM Title Abbreviation:** BMC
Vet Res**ISO Abbreviation:** BMC Vet.
Res.**Title(s):** BMC veterinary research
[electronic resource]**Other Title(s):** Veterinary research**Publication Start Year:** 2005**ISSN:** 1746-6148 (Electronic)
1746-6148 (Linking)**Electronic Links:**<http://www.biomedcentral.com/bmcvetres/>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/tocrender.fcgi?journal=327>**Abstract**

BACKGROUND: Diagnostic imaging is essential to assess the lame patient; lesions of the elbow joint have traditionally been evaluated radiographically, however computed tomography (CT) has been suggested as a useful technique to diagnose various elbow pathologies. The primary objective of this study was to determine the sensitivity and specificity of CT to assess medial coronoid disease (MCD), using arthroscopy as gold standard. The secondary objective was to ascertain the radiographic sensitivity and specificity for MCD compared with CT.

METHODS:For this study 180 elbow joints were assessed, of which 141 had been examined with radiography, CT and arthroscopy; and 39 joints, had radiographic and CT assessment. Sensitivity and specificity were calculated for CT and radiographic findings using available statistical software.

RESULTS: Sensitivity and specificity of CT using arthroscopy as gold standard resulted in high values for sensitivity (100 %) and specificity (93 %) for the assessment of MCD. For the radiographic evaluation, a sensitivity of 98 % and specificity of 64 - 69 % using CT as the technique of reference, were found.

DISCUSSION: These results suggest that in case of doubt during radiographic assessment, CT could be used as a non-invasive technique to assess the presence of MCD.

CONCLUSION: Based on the high sensitivity and specificity obtained in this study it has been considered that CT, rather than arthroscopy, is the preferred noninvasive technique to assess MCD lesions of the canine elbow joint.

Publicado en: <http://www.biomedcentral.com/1746-6148/11/243>

5. CONCLUSIONES

1.- El estudio anatómico de la articulación del codo (artículo 1) ha permitido demostrar la importancia de los fuertes ligamentos colaterales y del ligamento anular como agentes estabilizadores, y en especial la inserción del músculo bíceps braquial, junto con porción craneal del ligamento colateral medial en la tuberosidad del radio. En este sentido se plantea que las fuerzas de rotación y compresión sobre la apófisis coronoidea medial, causantes del daño del hueso subcondral y eventualmente de la fractura del mismo, podrían ser aliviadas con la tenotomía del tendón de inserción del músculo braquial sin que ello suponga pérdida de estabilidad en la articulación.

2.- Los resultados de este estudio (artículo 2) al correlacionar las imágenes ecográficas y las secciones anatómicas plastinadas transparentes obtenidas sobre los mismos planos, proporcionan información detallada y descriptiva de las estructuras anatómicas que conforman la articulación del codo canino sano. Estos resultados servirán como referencia para la evaluación clínica del codo canino por ultrasonografía, permitiendo la evaluación de tejidos blandos, determinar la progresión y extensión de una alteración, para planificar o evaluar tratamientos quirúrgicos o para la elección adecuada de otras técnicas diagnósticas.

3.- El tercer artículo demuestra las ventajas de la tomografía computarizada, sobre la artroscopia para la evaluación de la enfermedad de la apófisis coronoidea medial del codo canino. La alta sensibilidad y especificidad obtenidas con la tomografía computarizada contrasta con el hecho de que la artroscopia no es capaz de identificar todas las alteraciones de la apófisis coronoidea medial, en especial los fragmentos no desplazados. Estos resultados sugieren que ante la presencia de signos radiográficos poco claros la tomografía computarizada podría ser utilizada como una técnica no invasiva para la valoración de la apófisis coronoidea medial.

6. RESUMEN GENERAL

INTRODUCCIÓN

Las alteraciones de la articulación del codo canino son la causa más frecuente de cojera del miembro torácico, una de las más comunes es la displasia de codo (Kirberger and Fourie, 1998; Scott and Witte, 2011). La técnica de diagnóstico de primera elección para la articulación del codo es la evaluación radiográfica (Cook and Cook, 2009; Rau et al., 2011). Sin embargo, la radiografía tiene limitaciones debido a la estrecha relación entre las estructuras anatómicas y a su superposición (Burton et al, 2007; Wagner et al, 2007; Burton et al, 2008; Moores et al, 2008), por lo que en muchas ocasiones es necesario recurrir a otras técnicas de imagen para alcanzar un diagnóstico.

La ecografía de alta frecuencia es una técnica de imagen ampliamente utilizada en medicina humana para la evaluación de alteraciones músculo esqueléticas (Radunovic et al., 2012; Konin et al., 2013). En veterinaria existen pocos estudios que describan la anatomía ecográfica de la articulación del codo canino y que establezcan un protocolo de abordaje para su evaluación clínica (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). La tomografía computarizada (TC) es una técnica de imagen no invasiva que crea imágenes seccionales de estructuras anatómicas. En comparación con la radiografía, la TC tiene una mayor sensibilidad y especificidad (Reichle and Snaps, 1999; Lappalainen et al., 2009; Rau et al., 2011; Lau et al., 2015). La resonancia magnética (RM) es una técnica que al igual que la TC nos permite obtener imágenes seccionales en múltiples planos anatómicos. En medicina veterinaria ha sido utilizado para la evaluación de la apariencia normal de la articulación del codo (Adamiak et al., 2011; Baeumlin et al., 2010; Snaps et al., 1998), la demostración de alteraciones del cartílago articular (De Rycke et al., 2015; Probst et al., 2008; Wucherer et al., 2012) o presentar imágenes características de alteraciones como la osificación incompleta del cóndilo del húmero (Gabriel et al., 2009; Piola et al., 2012), incongruencia articular (Janach

et al., 2006), y la entesiopatía de los músculos flexores del antebrazo (de Bakker et al., 2014a).

La artroscopia se considera como una técnica mínimamente invasiva y fiable que permite una inspección exhaustiva de la articulación del codo (Van Ryssen and van Bree, 1997; Langhann et al., 2003; Jardel et al., 2010), en especial la superficie articular (Moores et al., 2008).

A día de hoy hay autores que afirman que la artroscopia es la técnica indicada para el diagnóstico definitivo de las alteraciones de la articulación del codo (Moores et al., 2008). Sin embargo, una publicación previa (Wagner et al., 2007) sugiere que para el diagnóstico de la incongruencia articular la tomografía computarizada posee un valor diagnóstico similar al de la artroscopia.

La anatomía de la articulación del codo canino ha sido ampliamente descrita en tratados de anatomía, sin embargo, las teorías de la etiología de la displasia de codo, que sugieren una influencia de tendones y ligamentos sobre las estructuras óseas (Schaaf et al., 2009; Hulse et al., 2010), reclaman estudios en detalle de las estructuras ligamentosas del aspecto medial de la articulación. De igual forma son necesarios estudios de anatomía ultrasonográfica de alta definición basados en la correlación de imágenes ecográficas con secciones plastinadas transparentes de la articulación del codo, tal y como se ha realizado para articulaciones como la rodilla en el perro (Soler et al., 2007), la articulación del tarso (Latorre et al., 2006) y temporomandibular equina (Rodríguez et al., 2010).

Por todo ello se plantearon los siguientes objetivos, base de la presente tesis doctoral:

1. Evaluar de forma detallada la morfología de los ligamentos y músculos del aspecto medial del codo canino, a través de disección anatómica y la elaboración de secciones anatómicas transparentes plastinadas (artículo 1).

2. Evaluar las diferentes ventanas acústicas para examinar las estructuras anatómicas que conforman la articulación del codo y correlacionar las imágenes ecográficas obtenidas a partir del protocolo establecido con secciones anatómicas plastinadas (artículo 2).
3. Comparar los valores de sensibilidad y especificidad de la tomografía computarizada en la evaluación clínica de la articulación del codo canino utilizando como técnica de referencia la artroscopia; y evaluar los valores de sensibilidad y especificidad de la radiografía utilizando como técnica de referencia la tomografía computarizada (artículo 3).

MATERIAL Y MÉTODOS

El manejo y/o sacrificio de los animales empleados fue acorde a la normativa de protección animal según la Directiva del Consejo de la Comunidad Europea (86/609/EEC). El diseño de la tesis se fundamenta en una fase experimental (artículos 1 y 2; artículo en apéndice) y una fase clínica retrospectiva (artículo 3).

Para la fase experimental se utilizaron un total de 10 cadáveres de perro procedentes del servicio de animales de laboratorio (animalario) de la Universidad de Murcia. La eutanasia de los perros, por sobredosis de pentobarbital sódico, no estuvo relacionada con enfermedades músculo esqueléticas (artículos 1 y 2; artículo en apéndice).

Para la fase experimental *in vivo*, se emplearon un total de 5 animales del hospital clínico veterinario de la Universidad de Murcia, referidos para la realización de una ecografía abdominal. Con la autorización del propietario se realizaron las exploraciones ecográficas (artículo 2), de TC y de RM (artículo pendiente de publicación) de la articulación del codo.

Para el estudio clínico retrospectivo, se recolectaron un total de 90 casos de la base de datos del Departamento de Diagnóstico por Imagen y Ortopedia de Pequeños Animales de la Universidad de Gante (artículo 3).

En la fase experimental se utilizó un equipo de radiografía computarizada (Digitalizador CR 30-X Agfa, Mortsel, Bélgica); y para los exámenes ecográficos se empleó una sonda lineal de 18 MHz (MyLab 70 Esaote, Genova, Italia). Las evaluaciones de TC se realizaron con un equipo de dos cortes (LightSpeed, General Electric Medical systems, Milwaukee, WI) con parámetros de 120 kVp, 140 mA y un campo de visión de 25 cm. Para los exámenes de RM se utilizó un escáner de alta intensidad de campo (HF MRI) con un campo magnético de 1.5 T. (Signa Excite 1.5 T MR, General Electric medical systems, Milwaukee, WI).

Todos los exámenes radiográficos, ecográficos, por TC y RM *in vitro* se realizaron inmediatamente después de la eutanasia.

En la fase clínica retrospectiva las radiografías se realizaron con un equipo de radiografía digital EDR6 (digital radio-graphic system) EKLIN de Canon (Canon Medical Systems); la TC se llevó a cabo con un equipo de cuatro cortes LightSpeed, (GE Medical systems), con parámetros de 120 kVp, 140 mA y un campo de visión de 25 cm.

Artículo 1

Para el estudio anatómico de la articulación del codo canino se utilizaron los miembros torácicos de seis cadáveres de perros adultos mezcla de pastor alemán con una media de peso de 24 Kg (rango 22-30 Kg). En seis miembros se realizaron inyecciones de látex rojo a través de la arteria braquial (5 ml), y de látex verde intraarticular (10 ml) a través del receso articular caudal. Los miembros fueron refrigerados durante 24 horas a 5°C. La

disección anatómica se realizó empleando como referencias anatómicas el epicóndilo medial del húmero y el aspecto más caudal de olecranon. Para una disección más detallada de la superficie y estructuras profundas de la articulación se utilizó un estereoscopio.

Otros seis miembros fueron inyectados a través de la arteria braquial con una mezcla de resina “epoxi” roja, refrigeradas durante 24 horas a 5°C y luego congelados primero a -20°C, y más tarde a -70°C durante una semana. Con una sierra de banda de alta velocidad, se obtuvieron secciones anatómicas de 2 mm de grosor en el plano sagital oblicuo y dorsal oblicuo. Estas secciones anatómicas fueron plastinadas a través del método E-12 (von Hagens et al., 1987; Latorre et al., 2003).

Artículo 2

Para realizar la evaluación ecográfica de la articulación del codo *in vitro*, se utilizaron 10 cadáveres de perros adultos mezcla de pastor alemán con una media de peso de 24 Kg (rango 22-30 Kg). Para descartar la presencia de alteraciones de la articulación del codo, se tomaron imágenes radiográficas en las proyecciones medio-lateral y cráneo-caudal.

Cinco cadáveres fueron elegidos al azar para la evaluación ecográfica bilateral de la articulación del codo; y luego utilizados para el estudio anatómico. Para la evaluación ecográfica *in vivo* de la articulación del codo, se utilizaron cinco perros adultos mezcla de pastor alemán. A efectos de mantener una misma orientación en todas las imágenes ecográficas obtenidas de las articulaciones en las fases *in vitro* e *in vivo*, la marca del transductor se colocó siempre hacia los aspectos proximal o craneal.

La articulación fue abordada desde el aspecto medial, caudal y lateral; desde los cuales se obtuvieron imágenes en el plano sagital, dorsal, transversal y planos oblicuos.

El aspecto medial estaba delimitado por el límite cráneo-medial de los músculos bíceps braquial y pronador redondo hasta el borde caudo-medial del cúbito; el aspecto lateral estaba limitado desde el borde cráneo-lateral de los músculos cleidobraquial y carporadial hasta el borde caudo-lateral del cubito. Los límites del aspecto caudal fueron los bordes medial y lateral del músculo tríceps braquial.

En todas las articulaciones se describió la apariencia de las superficies óseas, la ecogenicidad y ecotextura de los músculos, tendones, ligamentos y nervios. Para diferenciar entre estructuras nerviosas y vasculares, durante el examen ecográfico *in vivo* se utilizó la ecografía Doppler color.

Los miembros destinados al estudio anatómico fueron inyectados a través de la arteria braquial con una mezcla de resina “epoxi” roja, refrigeradas durante 24 horas a 5°C y luego congeladas primero a -20°C, y después a -70°C durante una semana. Con una sierra de banda de alta velocidad, se obtuvieron secciones anatómicas de 2 mm de grosor en el plano sagital oblicuo y dorsal oblicuo, similares a los planos de las imágenes ecográficas. Estas secciones anatómicas fueron plastinadas a través del método E-12 (Latorre et al., 2003; von Hagens et al., 1987).

Para establecer si las estructuras anatómicas visualizadas durante la ecografía se correspondían con las observadas en las secciones anatómicas plastinadas, las imágenes y secciones anatómicas fueron analizadas y correlacionadas por cuatro observadores en consenso.

Artículo pendiente de publicación - en apéndice

En el estudio anatómico, por TC y RM de la articulación del codo canino se utilizaron en la fase *in vitro* diez miembros torácicos de cinco cadáveres de perros adultos mezcla de pastor alemán con una media de peso de 24 Kg (rango 22-30 Kg). En la fase *in vivo* se

incluyeron 5 animales adultos pastor alemán a los que se les realizaron estudios por TC y RM de la articulación del codo.

Para descartar la presencia de alteraciones de la articulación del codo, se tomaron imágenes radiográficas en las proyecciones medio-lateral y cráneo-caudal a todas los miembros torácicos.

Durante la evaluación por TC los perros fueron posicionados en decúbito esternal con ambos miembros torácicos extendidos simétricamente hacia craneal y la cabeza colocada hacia caudal y lateral. Se obtuvieron imágenes continuas transversales de 1 mm de grosor en algoritmo de hueso y tejidos blandos, desde el aspecto proximal del olécranon hasta 2 cm hacia distal de la articulación del codo.

El examen por RM se realizó con el animal en decúbito lateral izquierdo con el miembro torácico izquierdo extendido hacia craneal y la cabeza tirada hacia caudal. La articulación del codo se colocó dentro de una bobina volumétrica, con un diámetro interno de aproximadamente 20 cm. Se obtuvieron imágenes sagitales, dorsales oblicuas y transversales oblicuas de 3 mm y 4 mm de grosor, desde la diáfisis del húmero hasta 10 cm distal a la articulación del codo. Se utilizaron secuencias potenciadas en T1 y T2 [T1-weighted; 3D T1 FSPGR (Fast spoiled gradient echo); T2-weighted FSE (Fast spin echo); FAT SAT and STIR entre otras].

Los miembros destinados al estudio anatómico fueron inyectados a través de la arteria braquial con una mezcla de resina “epoxi” roja, refrigeradas durante 24 horas a 5°C y luego congeladas primero a -20°C, y después a -70°C durante una semana. Con una sierra de banda de alta velocidad, se obtuvieron secciones anatómicas de 2 mm de grosor en múltiples planos.

Estas secciones anatómicas fueron plastinadas a través del método E-12 (Latorre et al., 2003; von Hagens et al., 1987).

Para establecer si las estructuras anatómicas visualizadas durante la TC y la RM se correspondían con las observadas en las secciones anatómicas plastinadas, las imágenes y secciones anatómicas fueron analizadas y correlacionadas.

Artículo 3

Para comparar los resultados de sensibilidad y especificidad de TC a los de la artroscopia en el diagnóstico de EACM, se tomaron de la base de datos del Departamento de Diagnóstico por Imagen Veterinario y Traumatología de pequeños animales de la Universidad de Gante, datos de pacientes entre enero de 2010 y diciembre de 2011. Los criterios de inclusión establecidos fueron, evaluación radiográfica y por TC bilateral de la articulación del codo y, en caso de que se hubiera realizado, los datos de la evaluación artroscópica de la articulación del codo.

El examen radiográfico de cada articulación se llevó a cabo con un equipo de radiografía digital EDR6 (digital radio- graphic system) EKLIN de Canon (Canon Medical Systems); éste consistió de tres proyecciones radiográficas: medio-lateral en extensión, medio-lateral en flexión y una cráneomedial-caudolateral a 15°.

Para el examen por TC los animales fueron anestesiados con propofol (Rapinivet, Schering-Plough) en bolo a una dosis de 2 mg/kg e intubados. La anestesia fue mantenida con isoflurano (IsoFlo, Abbott Laboratories) y oxígeno al 100 %. La TC se llevó a cabo con un equipo de cuatro cortes LightSpeed, (GE Medical systems) con parámetros de 120 kVp, 140 mA y 25 cm FOV. Los animales fueron posicionados en decúbito lateral con ambos miembros torácicos extendidos simétricamente hacia craneal, con la cabeza posicionada fuera

del “gantry” hacia caudal. Se tomaron imágenes de 1.3 mm de grosor desde el aspecto proximal del olécranon hasta 2 cm distal de la articulación del codo, en ventana de hueso. El análisis de estas imágenes se hizo utilizando una estación de trabajo (eFilm, Merge, Merge eMed).

La artroscopia se realizó con los animales bajo anestesia general, utilizando un artroscopio de 2.4 mm a 25° de angulación (Richard Wolf GmbH) y un abordaje desde el aspecto medial de la articulación del codo. Todos los animales recibieron el tratamiento adecuado de AINES para el tratamiento del dolor peri- y postoperatorio.

Las articulaciones fueron clasificadas de acuerdo a los hallazgos de cada técnica diagnóstica. Se clasificaron como normales cuando la apófisis coronoidea medial se visualizó sin alteraciones en la artroscopia, la TC y las radiografías.

En la evaluación artroscópica la articulación se clasificaba como patológica cuando la apófisis coronoidea medial presentaba una fisura, un fragmento o condromalacia. En TC la articulación era patológica cuando se visualizaron cambios en la forma, atenuación, fragmentación o fisura de la apófisis coronoidea medial; también cuando existía incongruencia articular o en presencia de esclerosis de la escotadura troclear del cubito. Durante el examen radiográfico las articulaciones eran consideradas patológicas cuando el borde de la apófisis coronoidea medial estaba alterado o cuando ésta presentaba cambios en la forma o densidad radiológica; o cuando se observaba esclerosis de la escotadura troclear del cubito.

Esta clasificación fue realizada por dos observadores experimentados en consenso y sin conocimiento de la identidad del paciente o de los hallazgos artroscópicos. Posteriormente los hallazgos de diagnóstico por imagen fueron comparados con los hallazgos artroscópicos.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando R (R Core Team, 2013). Se calcularon la sensibilidad y especificidad para la TC y la radiografía comparada con la artroscopia como prueba de referencia. También se realizaron cálculos de sensibilidad y especificidad para las pruebas diagnósticas utilizando la TC como prueba de referencia. La reproducibilidad entre las técnicas se determinó utilizando un test Cohen's Kappa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Artículo 1

La disección y las secciones anatómicas permitieron la descripción en detalle de la anatomía y situación de los elementos ligamentosos de la articulación del codo canino. Se demostró la estrecha relación que existe entre las estructuras musculares y ligamentosas del aspecto medial de la articulación canina, especialmente entre el ligamento oblicuo (LO), el ligamento colateral medial (LCM) y los tendones de inserción de los músculos bíceps braquial y braquial.

La cápsula articular se describió en su porción proximal como una estructura fibrosa recubierta por grasa; en cambio la porción distal estaba formada por una membrana sinovial que pasaba por encima del ligamento anular. Esta descripción difiere de lo presentado en publicaciones anteriores (Barone 1980, Nickel, 1986, Getty, 1982) en la que se considera que la cápsula articular está totalmente formada por membrana sinovial.

El LO identificado en las disecciones no aparece oficialmente en la nómina anatómica veterinaria, aunque se menciona en algunos artículos (Oliveira et al., 2003, 2007). En este estudio se dividía en una porción caudal, corta y frágil, que se relaciona con la porción caudal del LCM; y en una porción craneal larga que rodeaba los tendones de inserción de los músculos bíceps braquial y braquial reforzando la vaina fibrosa, para finalmente insertarse en la tuberosidad radial junto con el tendón de inserción radial del músculo bíceps braquial y la porción craneal de LCM.

Nuestros resultados demostraron que el LCM se bifurca a nivel de la tróclea del húmero dando origen a una porción craneal y una porción caudal. La porción craneal se inserta a nivel de la tuberosidad del radio junto con el LO y la porción craneal del tendón de

inserción del músculo bíceps braquial. La porción caudal sigue su recorrido hacia distal en el espacio interóseo donde se inserta principalmente en el aspecto caudal del radio muy cerca del punto de inserción de la porción craneal del LCL; y a través de una pequeña porción del ligamento en el aspecto craneal del cubito.

La descripción de la porción caudal del LCM es similar a la descrita en otra publicación (Oliveira et al., 2003), pero difiere a lo descrito en otras (Barone 1980, Nickel, 1986, Evans, 1993, Sisson and Grossman 2002 Constantinescu and Constantinescu 2009) que sugieren que esta porción caudal se inserta principalmente al cubito. En humana el LCM se inserta en el cubito (Williams and Warwick, 1986; Feneis and Dauber, 2006; de Haan et al., 2011), esta comparación explicaría el menor rango de pronación y supinación del perro, esto como consecuencia de la restricción del movimiento del radio sobre el cubito, ejercido por las inserciones en el radio de las porciones craneal y caudal del LCM.

Se ha sugerido que la luxación de codo puede estar causada por fuerzas ejercidas por el músculo supinador en conjunto con un mal desarrollo o laxitud de los ligamentos colaterales y del ligamento anular (Temwichitr et al., 2010); basados en nuestros hallazgos concurrimos con esta hipótesis debido a la característica fibrosa y firme del LCM. Sin embargo consideramos que aunque los ligamentos colaterales sean los principales estabilizadores de la articulación, la laxitud del ligamento anular puede conducir a una inestabilidad radio-cubital y alterar las superficies de contacto de la articulación.

La disección de la inserción del músculo bíceps braquial demostró que se inserta a través de una porción radial y una cubital; estas forman alrededor del tendón de inserción del músculo braquial una vaina fibrosa reforzada por el LOy el LCM. Finalmente la porción radial se inserta a nivel de la tuberosidad del radio, mientras que la porción cubital se inserta en el cubito. El músculo braquial se inserta en el cubito pasando entre las porciones radial y

cubital del músculo bíceps braquial. Esta descripción es similar a la descrita en para humana, en la cual la inserción del músculo bíceps braquial ocurre a nivel del radio, y la inserción del músculo braquial a nivel del cubito y la apófisis coronoidea (Williams and Warwick 1986, Feneis and Dauber 2006).

Se ha hipotetizado que la fragmentación de la apófisis coronoidea medial o el daño microscópico de la apófisis en animales adultos, puede estar causada por la sobrecarga mecánica asociada a la contracción de los músculos bíceps braquial y braquial (Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010) ya que el aspecto cráneo-lateral de la apófisis coronoidea medial pivota contra la cabeza del radio. Teniendo estas fuerzas de rotación y compresión en cuenta, se realizó una tenotomía del músculo braquial a 0.5 cm de su punto de inserción a nivel de la base de la apófisis coronoidea medial en dos articulaciones, se evaluó el rango de rotación de la articulación y la función dinámica del músculo. Encontramos un aumento en la pronación sin alterar la estabilidad de la articulación, la cual sería mantenida por la fuerte inserción radial del músculo bíceps braquial. La tenotomía disminuiría las fuerzas de tracción y rotación ejercidas por las inserciones musculares sobre la apófisis coronoidea medial.

Estos hallazgos pueden ser utilizados en estudios futuros que investiguen la participación de las estructuras musculares y tendinosas en patologías de la articulación del codo, y para evaluar tratamientos alternativos para dichas patologías.

Artículo 2

La ecografía tiene como ventajas la posibilidad de evaluar los tejidos blandos que no se pueden visualizar en las radiografías, la ausencia de radiación ionizante, y la posibilidad de evaluar los movimientos y función articular en tiempo real.

En este estudio se utilizó un equipo de ecografía de alta frecuencia (18 MHz), para obtener imágenes de alta calidad de las estructuras anatómicas de la articulación del codo canina, para luego ser comparadas con secciones anatómicas transparentes plastinadas con la técnica E12. En la siguiente tabla se encuentra la apariencia ecográfica de las estructuras estudiadas de la articulación del codo canino:

Estructura	Apariencia ecográfica
Músculo bíceps braquial (vista longitudinal)	Estructura hipoecogénica delineada por dos líneas hiperecogénicas. En su interior: líneas oblicuas hiperecogénicas que convergen en una línea hiperecogénica central
Músculo bíceps braquial (vista transversal)	Estructura oval hipoecogénica con líneas hiperecogénicas paralelas convergentes al centro de la estructura
Tendón de inserción de los músculos bíceps braquial y braquial	Dos estructuras hiperecogénicas alargadas y adyacentes, formadas por líneas cortas y puntos hiperecogénicos que concluyen en el cubito
Ligamento colateral medial	Estructura lineal hipoecogénica con líneas y puntos hiperecogénicos en su interior
Músculos flexores del antebrazo	Estructuras alargadas hipoecogénicas con líneas hiperecogénicas en su interior y delimitadas por dos líneas hiperecogénicas
Apófisis coronoidea medial	Línea angulada hiperecogénica con sombra acústica
Nervio mediano (vista longitudinal)	Estructura hipoecogénica con líneas cortas hiperecogénicas en su interior, delimitado por dos líneas hiperecogénicas
Nervio mediano y arteria braquial (vista transversal)	Estructuras circulares hipoecogénicas delimitadas por un halo hiperecogénico. En animales vivos la arteria es de mayor tamaño y situada cranealmente al nervio mediano
Inserción proximal del ligamento colateral lateral	Estructura gruesa hipoecogénica con múltiples líneas hiperecogénicas en su interior
Porción distal e inserción del ligamento colateral lateral	Grupo de líneas oblicuas hiperecogénicas que se insertan en el radio en forma de abanico abierto
Apófisis ancónea	Línea oblicua hiperecogénica con sombra acústica, situada entre la línea hiperecogénica del olecranon y el límite medial de la fosa del olecranon del húmero
Músculo tríceps braquial	Estructura triangular hipoecogénica con líneas paralelas y oblicuas hiperecogénicas en su interior
Tendón de inserción del músculo tríceps	Estructura gruesa de forma oval hiperecogénica

braquial (vista transversal)	compuesta por puntos hiperecogénicos
Bursa subtendinosa del músculo tríceps braquial	Espacio hipoeecogénico entre el tendón de inserción del músculo y el olecranon

Tabla 3. Apariencia ecográfica de las estructuras de la articulación del codo canino

La correlación de las imágenes ecográficas con las secciones anatómicas transparentes plastinadas, nos permitió identificar el recorrido y extensión de estructuras de difícil interpretación durante el examen ecográfico como son: los tendones de inserción de los músculos bíceps braquial y braquial, los tendones de origen de los músculos flexores del antebrazo, los ligamentos colaterales, y el nervio mediano.

El protocolo utilizado en este estudio se diseñó teniendo en cuenta protocolos descritos anteriormente (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). Nuestro protocolo difiere de los que previamente se han empleado en que la articulación fue flexionada solamente para la evaluación del aspecto caudal. El transductor de alta frecuencia de 18MHz no fue efectivo en el plano caudal debido a una penetración insuficiente del haz de ultrasonidos, en perros grandes o con un desarrollo muscular elevado, por lo que el ligamento del olécranon o el proceso ancóneo no pudieron ser evaluados en todas las articulaciones. Para evaluar estas articulaciones sugerimos el uso de transductores de menor frecuencia con una mayor capacidad de penetración del haz de ultrasonidos y de superficie semi-convexa.

La diferenciación ecográfica entre los tendones de inserción de los músculos bíceps braquial y braquial descritos en este estudio, no había sido presentada anteriormente. Consideramos que esto se debe al uso de un transductor de alta frecuencia (18MHz) en combinación con una referencia anatómica en el mismo plano. La evaluación de la inserción distal de estos músculos puede ser de utilidad durante el seguimiento de un paciente al que se le realiza una tenotomía para aliviar las fuerzas ejercidas sobre la apófisis coronoidea medial y así tratar de disminuir o eliminar los síntomas de la enfermedad.

La ventana ecográfica utilizada para la evaluación de la porción proximal del LCM, permite examinar de manera fácil y en detalle el origen de los músculos flexores del antebrazo y el epicóndilo medial del húmero. Por ello esta ventana acústica puede ser de utilidad al establecer el pronóstico de la entesio patía de los músculos flexores del antebrazo.

La lesión del nervio mediano puede producirse por traumatismo o de manera iatrogénica tras una intervención quirúrgica como la artroscopia, en la cual los portales de acceso a la articulación están cerca de las estructuras nerviosas (Jardel et al., 2010). A través del protocolo establecido en este estudio el nervio mediano fue identificado en todas las articulaciones y durante la exploración ecográfica *in vivo* se utilizó ecografía Doppler color para diferenciar el nervio de la arteria y vena braquial, lo cual permitirá la evaluación de la apariencia ecográfica de este nervio en aquellos casos en los que el animal presente una disfunción del mismo.

En medicina humana la ecografía es particularmente útil en el diagnóstico de fracturas de la diáfisis ósea, siendo menos efectiva como herramienta de diagnóstico cerca de las articulaciones o en fracturas de menos de 1 mm (Rabiner et al., 2013). En este estudio la cortical ósea se visualizó fácilmente durante el protocolo ecográfico propuesto, sin embargo debido a la sombra acústica que produce, las estructuras óseas subyacentes no se pudieron evaluar. Basados en lo anterior consideramos que la ecografía sería útil para la visualización de osteofitos, fracturas o en el crecimiento anormal de la cortical ósea; sin embargo, consideramos que la ecografía es de mayor utilidad para el diagnóstico de alteraciones de estructuras blandas como ha sido propuesto previamente (Seyrek-Intas et al., 2009).

La ecografía puede ser utilizada como una herramienta diagnóstica en las alteraciones que involucren los ligamentos colaterales, como puede ser la luxación o subluxación. Ésta implica que exista laxitud o una ruptura del LCL (Bongartz et al., 2008). Una lesión a nivel

de estos ligamentos sería fácilmente detectada a partir de un cambio en la ecogenicidad durante el examen ecográfico.

En base a los resultados de nuestro estudio consideramos que una vez el examinador se ha familiarizado con la anatomía normal de la articulación del codo canino, la ecografía se puede considerar como una técnica de diagnóstico por imagen capaz de demostrar la presencia de alteraciones relacionadas con tejidos blandos y determinar su naturaleza y extensión. También puede ser útil para establecer un pronóstico, seguir la evolución de una patología o su curación, planear cirugías o terapias, y para sugerir otras técnicas diagnósticas.

Los resultados obtenidos permiten asegurar que el protocolo utilizado ofrece un mejor entendimiento de la articulación del codo canino para el examen ecográfico. La información presentada en este estudio puede servir de referencia para futuros estudios, debido al alto grado de correlación encontrado entre las imágenes ecográficas y las secciones anatómicas plastinadas.

Artículo pendiente de publicación - en apéndice

Se consiguió una buena correspondencia entre las secciones anatómicas transparentes plastinadas y las imágenes de TC y RM. Nuestros hallazgos son similares a los de otras publicaciones (Baeumlin et al., 2010; Reichle and Snaps, 1999). Esta es la primera publicación que combina la TC, la RM y secciones anatómicas transparentes plastinadas de la articulación del codo en un único estudio descriptivo. Esto permitió una mejor comprensión de las estructuras músculo esqueléticas de la articulación del codo canino.

Las imágenes de RM se obtuvieron en los planos dorsal, dorsal oblicuo, sagital y transversal oblicuo, con el objetivo de lograr los mismos planos que el de las secciones

anatómicas transparentes plastinadas. En caso de que esto no fuera posible el plano correcto se consiguió a través de la secuencia 3D T1 FSPGR, la cual permite obtener imágenes en múltiples planos de una sola secuencia. Las imágenes de tomografía en los planos de las secciones anatómicas transparentes plastinadas, se obtuvieron al utilizar la herramienta de reconstrucción multiplanar.

Los principales hallazgos son resumidos en la siguiente tabla.

ESTRUCTURA	HALLAZGOS	
	TC	RM
Ligamento colateral medial	No se observó claramente	Estructura lineal hipointensa
Ligamento colateral lateral	No se observó claramente	Estructura lineal hipointensa
Tendones de inserción de músculos bíceps braquial y braquial	Estructuras lineales hiperatenuadas poco definidas	Estructura lineal hiper/hipointensa
Vaina fibrosa	Estructura ovalada hiperatenuada poco definida	Estructura elíptica hipointensa con el tendón hiperintenso del músculo braquial en su interior
Músculo tríceps braquial	Estructura triangular isoatenuada	Estructura isointensa triangular en T1 e hiperintensa en T2
Tendón de inserción del músculo tríceps braquial	Estructuras lineales hiperatenuadas poco definidas	Estructura lineal ancha iso/hipointensa
Bursa sinovial del tendón del tendón de inserción del músculo tríceps braquial	No visible	Estructura hiperintensa con forma de cuña
Músculos flexores del antebrazo	Estructuras isoatenuadas alargadas	Estructuras isointensas alargadas
Tendones de inserción de los músculos flexores del antebrazo	No se observó claramente	Estructuras lineales hiper/hipointensas
Apófisis coronoidea medial	Estructura hiperatenuada triangular o rectangular con un borde hiperatenuado	Estructura hipointensa triangular o rectangular
Apófisis coronoidea lateral	Estructura hiperatenuada triangular con ápice redondeado	Estructura hipointensa triangular con ápice redondeado
Arteria braquial	No se observó claramente	Estructura hipo/hiperintensa lineal o redondeada
Nervio mediano	No se observó claramente	Estructura isointensa lineal o redondeada

Tabla 4. Apariencia de las estructuras de la articulación del codo canino por tomografía computarizada y resonancia magnética.

En las imágenes de TC fue posible visualizar el hueso subcondral, pero no el cartílago articular, lo cual difiere de lo descrito otra publicación (Kramer et al., 2006) en la que visualizaron el cartílago articular. Una publicación reciente (Gendler et al., 2015) presentó la artrografía por TC como una técnica viable para la evaluación del cartílago articular, al obtener un buen delineamiento y precisión en la medición del cartílago articular sin verse alterado por el plano de la imagen.

En medicina humana la RM se utiliza para la detección de alteraciones temprana del cartílago articular, siendo capaz de evaluarlo cuantitativamente sin invadir la articulación (Wang et al., 2012). En nuestro estudio el cartílago articular se visualizó en las imágenes de RM en la secuencia potenciada en T1, este hallazgo es similar al de otras publicaciones (Janach et al., 2006; Snaps et al., 1998).

En este estudio fue posible observar el recorrido completo del LCM en imágenes de RM, a diferencia de una publicación previa (Baeumlin et al., 2010) que describió una parte de este. También se pudieron describir otras estructuras ligamentosas como el LCL y la relación de la vaina fibrosa de los músculos bíceps braquial y braquial con otras estructuras adyacentes.

Los ligamentos y tendones de la articulación del codo canino fueron observados con mayor facilidad y acierto en secuencias potenciadas en T1 como ha sido descrito en medicina humana (Kijowski et al., 2004a) y en la especie canina (De Rycke et al., 2015) en un estudio en el que se evaluó el hombro del perro. En este estudio estas estructuras se visualizaron hipointensas y con una forma lineal, sin embargo debido a la variación en la orientación de los tendones y ligamentos en su recorrido por la articulación un aumento de señal se pudo apreciar en las inserciones distales de los ligamentos colaterales y en los puntos de inserción de los tendones de los músculos bíceps braquial y braquial. Asimismo la inserción proximal

de los tendones de los músculos flexores del antebrazo presentó un patrón mixto de intensidad. A esta variación de intensidad se le conoce como artefacto de “ángulo mágico”, el cual aparece cuando el ángulo de la estructura tendinosa se acerca a los 55° con respecto al campo magnético (Busoni and Snaps, 2002; Singh et al., 2012).

La vaina fibrosa de los músculos bíceps braquial y braquial toma su importancia de la inserción en el radio y el cúbito de los músculos y ligamentos que la forman; el momento producido por la contracción de los músculos bíceps braquial y braquial rota el segmento cráneo-lateral de la ACM contra la cabeza del radio (Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010). Este movimiento produce fuerzas de compresión sobre la ACM y como consecuencia su lesión. Por esto consideramos que la acertada identificación de la vaina fibrosa en imágenes de RM y TC es de gran importancia; también estamos convencidos de que esta identificación no habría sido posible sin el apoyo de las secciones anatómicas transparentes plastinadas de este estudio.

Basados en los resultados de este estudio consideramos que el uso de secciones anatómicas transparentes plastinadas y su buena correlación con imágenes de TC y RM sobre los mismos planos, permitieron una identificación acertada de estructuras óseas, musculares, vasculares, nerviosas, ligamentosas y tendinosas de la articulación del codo canino.

La comparación de estas imágenes proporciona una interpretación detallada de estructuras adyacentes y de difícil interpretación como son el LCM y de la vaina fibrosa de los músculos bíceps braquial y braquial.

Artículo 3

En este trabajo se emplearon datos e imágenes diagnósticas de 90 perros (40 hembras y 50 machos) con una edad media de 27 meses (rango 5-133 meses) y una media de peso de 29 Kg (rango 7-59 Kg). Se registraron 16 razas, en su mayoría Labrador retriever (19%), Golden retriever (11%), perro Bernés de montaña (9%) y Rottweiler (9%). La cojera bilateral localizada a nivel del codo se registró en 76 perros (84%) y unilateral en 14 perros (16%). Las distribución de género y proporción de razas de este estudio, son similares a las presentadas en estudios anteriores (Moore et al., 2008; Rau et al., 2011); sin embargo, este estudio incluyó una mayor número razas y animales; por lo tanto un mayor número de articulaciones (n=180).

Un total de 180 articulaciones fueron evaluadas radiográficamente y a través de tomografía computarizada (TC). Después del análisis de las imágenes radiográficas, 28 articulaciones (16%) fueron diagnosticadas como normales y 152 articulaciones (84%) se diagnosticaron como positivas para enfermedad de la apófisis coronoidea medial (EACM). A partir de las imágenes de TC 39 articulaciones (22 %) se diagnosticaron como normales y 141 articulaciones (78%) como positivas para la EACM.

Del total de 180 articulaciones, 141 fueron evaluadas a través de artroscopia. La evaluación artroscópica de estas 141 articulaciones concluyó que 11 de ellas (8%) eran normales y 130 (92%) positivas para EACM; después de interpretación de las imágenes de TC 13 articulaciones (9%) se clasificaron como sanas y 128 (91%) como positivas para EACM. La artroscopia indicó que 14 articulaciones (10%) eran normales y 127 articulaciones (90%) eran positivas para EACM.

La sensibilidad y especificidad de la evaluación radiográfica se calculó comparando los resultados radiográficos con los de TC. Se obtuvieron una sensibilidad de 98% y una

especificidad de 69%. Al valorar la totalidad de la muestra (n=180) se obtuvieron una sensibilidad de 98% y una especificidad de 64%.

Los valores de sensibilidad y especificidad para la TC se calcularon con la artroscopia como técnica de referencia. Los cálculos resultaron en una sensibilidad de 100% y especificidad de 93%. Una de las articulaciones resultó como falso positivo; y ninguna articulación como falsa negativa.

Los métodos de diagnóstico TC y artroscopia demostraron un alto nivel de acuerdo ($\kappa = 0.959$); mientras que la radiografía y TC n= 141 ($\kappa = 0.72$) y n= 180 ($\kappa = 0.69$).

Los resultados de especificidad, 69 % y 64% para radiografía, son mayores que el 40% obtenido en otro estudio (Rau et al., 2011); sin embargo, el alto porcentaje de falsos positivos (31 % y 36%) indica que posiblemente las radiografías fueron mal interpretadas, debido a las razas atípicas incluidas en el estudio. Además los signos radiográficos de la enfermedad degenerativa articular no siempre presentan fragmentos; en este estudio los hallazgos radiográficos encontrados en los falsos positivos fueron la alteración de la densidad y bordes de la apófisis coronoidea medial.

La alta sensibilidad, especificidad y valores del test Cohen Kappa de la evaluación por TC, respalda nuestra decisión de utilizar los hallazgos de TC para determinar los valores de sensibilidad y especificidad de la evaluación radiográfica. Esto se diferencia de un estudio anterior (Rau et al., 2011), el cual utilizó la artroscopia como referencia. Nuestro estudio ha demostrado los hallazgos de dos grupos de 141 y 180 articulaciones.

La TC ha sido presentada como la técnica más acertada para la detección de lesiones primarias de la EACM en comparación con la radiografía, xerorradiografía, tomografía linear y artrografía (Moores et al., 2008; Lau, S.F., 2012), aunque al comparar la TC con la

artroscopia se ha encontrado que la TC puede dar resultados contradictorios al compararlos con los de artroscopia (Moore et al., 2008). Nuestros hallazgos de TC y la evaluación artroscópica mostraron un 100% de sensibilidad, lo cual es mayor que los resultados presentados en otro estudio (Moore et al., 2008), en el que la TC presentó una sensibilidad de 71%. Dicho estudio sugería que las técnicas se contradecían al ofrecer información sobre la presencia de fragmentación de la ACM, atribuido a que la TC no era capaz de diagnosticar fragmentos de naturaleza cartilaginosa y sí aquellos de origen osteocondral.

En este estudio todas las ACM diagnosticadas con fragmentos desplazados a través de artroscopia fueron diagnosticadas correctamente por la TC. En cambio la mitad de las ACM diagnosticadas con fragmentos no desplazados en TC fueron diagnosticados como fisuras por la artroscopia. Esto se debe a la integridad del cartílago articular durante la evaluación por artroscopia, una vez el cartílago es palpado un reducido número de articulaciones (5) liberaron un fragmento de ACM.

Un perro de la raza Carlino resultó como falso positivo, la TC mostró un fragmento no desplazado del cual la artroscopia no encontró evidencia. Esto puede estar relacionado con la morfología de la raza o con un grosor de corte muy grande (1.3 m); un corte más delgado ofrecería una imagen más representativa de la ACM en razas pequeñas.

Los resultados de este estudio demuestran que utilizando imágenes de alta calidad de TC, es poco probable que no se visualice una lesión de la ACM, aunque la inexperiencia del observador (Lau et al., 2013), o el uso de parámetros inadecuados en la adquisición y visualización de la imagen (Tromblee et al., 2007); pueden causar la visualización incorrecta de lesiones de la ACM.

En este estudio todos los perros fueron referidos debido a una cojera del miembro torácico, por lo que se puede asumir que los signos de la EACM son más pronunciados;

además no todas las articulaciones con signos de EACM fueron evaluadas por artroscopia, debido a que los propietarios prefirieron iniciar una terapia conservadora, antes que realizar la artroscopia. Nuestros resultados no deben ser extrapolados para los programas de cribado de EACM, la prevalencia de lesiones en una población de cribado sería menor y con lesiones menos severas.

Tanto en medicina humana (Figuroa et al., 2007) como en medicina veterinaria (Burton and Owen, 2008; Moores et al., 2008) la artroscopia está considerada como la técnica de referencia para evaluar las lesiones de cartílago articular. La artroscopia solo permite evaluar la superficie articular y los fragmentos de ACM no desplazados pueden ser pasados por alto. Nuestro estudio ha demostrado una correspondencia casi perfecta entre los hallazgos de TC y artroscopia. Aunque se ha declarado que las lesiones cartilaginosas no pueden ser vistas en TC, la mayoría de las ocasiones el cartílago patológico tendrá repercusiones en el hueso subcondral, debido a que ambas estructuras se consideran como una sola unidad (Madry et al., 2010).

Los resultados de nuestro estudio muestran que la TC, antes que la artroscopia, puede ser la técnica principal a utilizar para la evaluación de lesiones de la EACM. Esta idea es respaldada por los altos valores de sensibilidad y especificidad obtenidos en el estudio, además la artroscopia no es capaz de identificar todos los fragmentos, especialmente los fragmentos no desplazados de la ACM. Cuando exista duda durante el examen radiográfico debido a la falta de claridad en los signos radiológicos de la morfología y densidad de la ACM o la esclerosis de la escotadura troclear del cubito; la TC puede ser utilizada como una técnica no invasiva para el diagnóstico de la EACM.

CONCLUSIONES

1.- El estudio anatómico de la articulación del codo (artículo 1) ha permitido demostrar la importancia de los fuertes ligamentos colaterales y del ligamento anular como agentes estabilizadores, y en especial la inserción del músculo bíceps braquial, junto con porción craneal del ligamento colateral medial en la tuberosidad del radio. En este sentido se plantea que las fuerzas de rotación y compresión sobre la apófisis coronoidea medial, causantes del daño del hueso subcondral y eventualmente de la fractura del mismo, podrían ser aliviadas con la tenotomía del tendón de inserción del músculo braquial sin que ello suponga pérdida de estabilidad en la articulación.

2.- Los resultados de este estudio (artículo 2) al correlacionar las imágenes ecográficas y las secciones anatómicas plastinadas transparentes obtenidas sobre los mismos planos, proporcionan información detallada y descriptiva de las estructuras anatómicas que conforman la articulación del codo canino sano. Estos resultados servirán como referencia para la evaluación clínica del codo canino por ultrasonografía, permitiendo la evaluación de tejidos blandos, determinar la progresión y extensión de una alteración, para planificar o evaluar tratamientos quirúrgicos o para la elección adecuada de otras técnicas diagnósticas.

3.- El tercer artículo demuestra las ventajas de la tomografía computarizada, sobre la artroscopia para la evaluación de la enfermedad de la apófisis coronoidea medial del codo canino. La alta sensibilidad y especificidad obtenidas con la tomografía computarizada contrasta con el hecho de que la artroscopia no es capaz de identificar todas las alteraciones de la apófisis coronoidea medial, en especial los fragmentos no desplazados. Estos resultados sugieren que ante la presencia de signos radiográficos poco claros la tomografía computarizada podría ser utilizada como una técnica no invasiva para la valoración de la apófisis coronoidea medial.

7. EXTENDED SUMMARY

INTRODUCTION

Conditions of the elbow joint are often the cause of thoracic limb lameness in dogs, the most common pathology is elbow dysplasia (Kirberger and Fourie, 1998; Scott and Witte, 2011). The diagnostic imaging technique of first choice to assess the elbow joint lesions has traditionally been the radiography (Cook and Cook, 2009; Rau et al., 2011). However this technique has limitations, due to the complexity of the joint and the superposition of its components (Burton et al, 2007; Wagner et al, 2007; Burton et al, 2008; Moores et al, 2008), therefore it is common to use other imaging techniques.

High frequency ultrasonography assessment of musculoskeletal pathologies is a well spread technique in human medicine (Radunovic et al., 2012; Konin et al., 2013). In veterinary medicine there are few reports that present an ultrasonographic clinical approach that describes normal appearance of the canine elbow joint (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005). Computed tomography (CT) is a non-invasive imaging technique that creates sectional images of a structure. In comparison with radiography CT has a higher sensitivity and specificity values (Reichle and Snaps, 1999; Lappalainen et al., 2009; Rau et al., 2011; Lau et al., 2015). Magnetic resonance (MR), like CT creates sectional images of a structure on multiple anatomical planes. It has been used in veterinary medicine for the assessment of normal canine elbow joints (Adamiak et al., 2011; Baeumlin et al., 2010; Snaps et al., 1998), demonstration of articular cartilage (De Rycke et al., 2015; Probst et al., 2008; Wucherer et al., 2012), assessment of incomplete ossification of the humeral condyle (Gabriel et al., 2009; Piola et al., 2012), articular incongruence (Janach et al., 2006) and the enthesiopathy of the flexor muscles (de Bakker et al., 2014a).

Arthroscopy is a reliable minimally invasive technique that allows the inspection of the canine elbow joint (Van Ryssen and van Bree, 1997; Langhann et al., 2003; Jardel et al., 2010), especially of the articular surface (Moores et al., 2008).

To the date the arthroscopy is considered the gold standard technique for the assessment of the canine elbow joint (Moores et al., 2008). However a previous publication (Wagner et al., 2007) suggested that CT has similar diagnostic value as arthroscopy in case of incongruence of the joint.

Anatomy of the canine elbow joint has been very well described in anatomical textbooks, nevertheless, theories on the aetiology of elbow dysplasia suggest that tendons and ligaments have an influence over bone structures (Schaaf et al., 2009; Hulse et al., 2010). These theories ask for detailed studies of the fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. Studies based on the correlation of plastinated anatomical sections and ultrasound images have been presented in the equine temporomandibular joint; and in the stifle (Soler et al., 2007) and tarsal joint of the dog (Latorre et al., 2006). Similar studies should be done in the canine elbow joint.

Taking in account the previous comments, the following objectives were set as base of this doctoral thesis:

1. To assess in detail the morphology of the ligaments and muscles of the medial aspect of the canine elbow, by means of anatomical dissection and preparation of transparent plastinated anatomical sections (article 1).
2. To evaluate different acoustic windows for the assessment of the anatomical structures of the canine elbow joint, and correlate ultrasonographic images,

obtained from the assessment protocol, with transparent plastinated anatomical sections (article 2).

3. To compare sensitivity and specificity values of computed tomography for the clinical assessment of the canine elbow joint, using arthroscopy as the gold standard technique; also to evaluate sensitivity and specificity values of the radiography using computed tomography as the gold standard technique (article 3).

MATERIAL AND METHODS

Handling and euthanasia of the animals used in this study are in compliance with the European Communities Council Directive (86/609/EEC). This thesis design includes an experimental phase (articles 1 and 2; article in appendix) and a retrospective clinical phase (article 3).

In the experimental phase a total of 10 dog cadavers from the Murcia University Animal house. Dogs were humanely euthanized with a pentobarbital overdose for reasons unrelated to musculoskeletal pathologies (articles 1 and 2; article in appendix).

The *in vivo* experimental phase used a total of 5 healthy client-owned dogs referred for an abdominal ultrasonographic exam to the veterinary hospital of the University of Murcia. With the consent of the owner the ultrasound (article 2), CT and MR assessments (article in appendix) of the elbow joint were done.

In the retrospective clinical phase, a total of 90 patients were retrieved from the database of Department of Veterinary Medical Imaging and Small Animal Orthopaedics of the Ghent University (article 3).

In the experimental phase an equipment of computerized radiography was used (Digitalizador CR 30-X Agfa, Mortsels, Bélgica); whilst for the ultrasonographic assessment a high frequency 18MHz linear array transducer (MyLab 70: Esaote, Genova, Italy) was employed. Computed tomography images of elbow joints were obtained with a 2-slice scanner (LightSpeed, General Electric Medical systems, Milwaukee, WI) using 120 kVp, 140 mA and 25 cm FOV parameters. Images of elbow joints were obtained using a HF MRI scanner with a magnetic field strength of 1.5 T. (Signa Excite 1.5 T MR, General Electric medical systems, Milwaukee, WI).

All imaging techniques of the *in vitro* phase, were made immediately after euthanasia of the dog.

In the clinical retrospective phase, a digital radiography system, EDR6 (digital radiographic system) EKLIN device from Canon (Canon Medical Systems) was used; and CT with a 4-slice scanner (LightSpeed, GE Medical systems) using 120 kVp, 140 mA and 25 cm FOV parameters.

Article 1

The anatomic study of the canine elbow joint used the thoracic limbs of the cadavers of six adult German shepherd cross-breed dogs, with a mean bodyweight of 24 kg (range 22–30 kg). Six thoracic limbs were destined for injection in the brachial artery of 10 ml of red latex and 5 ml of green latex in the intraarticular space by the caudal synovial pouch; specimens were stored for 24 hours at 5°C. Anatomical dissection was performed using as reference the medial epicondyle of the humerus and the caudal aspect of the olecranon. To achieve a detailed dissection of the surface and deep structures of the joint a stereoscope was used.

Other six joints were injected through the brachial artery with 10 ml of red epoxy-mix (Araldit CY 223, Aradur HY 2967: Huntstman Advanced Material Europe, Everberg, Belgium). These limbs were refrigerated for 24 hours at 5°C, and then frozen at -20°C and later at -70°C for one week. Two-millimetre cryosections were cut on a high-speed band saw. Sagittal oblique and dorsal oblique sections were made and then plastinated with E-12 plastination method (von Hagens and others 1987, Latorre and others 2003).

Artículo 2

For the *in vitro* ultrasonographic assessment of the canine elbow joint, elbows of 10 adult German Shepherd cross-breed dog cadavers (mean weight, 24 kg; range, 22–30 kg) were studied. To rule out the presence of any orthopaedic pathology medio-lateral and cranio-caudal radiographs of the elbow joints were made.

Five cadavers were randomly chosen for bilateral ultrasonographic exam of the elbow joint, and all 10 elbow joints were used in the anatomic study. For the *in vivo* ultrasonographic assessment of the elbow joint, five adult German Shepherd cross-breed dog were used. For orientation purposes, when obtaining the images the transducer mark was always toward the proximal or the cranial aspect of the elbow joint.

The joint was approached from the medial, caudal and lateral aspects; from which images on the sagittal, dorsal, transversal and oblique planes were obtained.

The medial aspect was delineated by the craniomedial limits of the biceps brachii and pronator teres muscles to the caudo-medial limit of the ulna. The lateral aspect was delineated by the cranio-lateral limits of the cleidobrachial and carporadial extensor muscles to the caudolateral limit of the ulna. The caudal aspect was delineated by the medial and lateral borders of the triceps brachii muscle.

In all the regions, the ultrasonographic appearance of bone surface, echogenicity and echo texture of muscles, tendons, ligaments, and nerves were evaluated. In order to differentiate nervous structures from vascular structures during the *in vivo* ultrasonographic exam colour Doppler was used.

Epoxy-mix was injected through the brachial artery in limbs destined for anatomic study, these were refrigerated for 24 hours at 5°C and then frozen at -20°C and later at -70°C for 1 week. Sections (2mm) on the sagittal oblique and dorsal oblique planes were cut on a high-speed band saw in the same planes as the ultrasonographic assessment. Sections were plastinated using the E-12 plastination method (Latorre et al., 2003; von Hagens et al., 1987).

To determine if anatomical structures observed during the ultrasonographic exam corresponded to those observed in the plastinated transparent anatomical sections, ultrasonographic images were analysed and compared by 4 observers in consensus.

Article to be published– in appendix

In the anatomical, CT and MR study of the canine elbow joint the *in vitro* phase included a total of ten elbows joints from five cadavers of adult German shepherd cross-breed dogs with a mean bodyweight of 24 Kg (range 22-30 Kg); whilst the *in vivo* phase, included five healthy client-owned adult German Shepherd dogs with a mean weight of 23 kg (range 20-26 kg).

To rule out the presence of any orthopaedic pathology, medio-lateral and cranio-caudal radiographs of the elbow joints were performed in all thoracic limbs.

During CT assessment dogs were positioned in sternal recumbency with both thoracic limbs extended symmetrically cranially and the head pulled towards caudal and lateral.

Contiguous transverse images 1 mm thick were obtained from the proximal aspect of the olecranon to 2 cm distal to the elbow joint using bone and soft tissue algorithm.

The MR exam was done with the dog positioned in left lateral recumbency with the left thoracic limb extended cranially and the head pulled back to the dorsal side. Joints were positioned in a volumetric coil of approximately 20 cm of diameter. Three-millimeter-thick dorsal oblique and sagittal images were obtained, as well as four-millimeter-thick transverse oblique images extending from the middle portion of the humerus to 10 cm distal to the elbow joint. T1 and T2-weighted MR sequences were acquired [T1-weighted; 3D T1 FSPGR (Fast spoiled gradient echo); T2-weighted FSE (Fast spin echo); FAT SAT and STIR among others]. I

Joints of anatomical assessment were injected with epoxy-mix through the brachial artery into the thoracic limbs, which were then frozen at -70°C for 1 week. Two-millimetre sections were obtained on a high-speed band saw in multiple planes. Sections were plastinated using the E-12 plastination method.

To determine if anatomical structures observed in CT and MR images corresponded to those in the transparent plastinated anatomical sections, these were analysed and compared to the corresponding CT and MR images for the correlation of joint structures.

Article 3

To compare CT sensitivity and specificity values of CT to those of the arthroscopy for the assessment of MCD data between January 2010 and December 2011 were collected retrospectively from the patient database of the Department of Veterinary Medical Imaging and Small Animal Orthopaedics of the Ghent University. Inclusion criteria were bilateral radiographic, CT and, if available, arthroscopic assessment of the elbow joints.

The radiographic exam was done with a digital radiography system, EDR6 (digital radio- graphic system) EKLIN device from Canon (Canon Medical Systems), three standard radiographic views were taken a lateral extension, lateral flexion and a 15° oblique cranio-medial caudo-lateral.

For the CT assessment dogs were anaesthetized using propofol (Rapinovet, Schering-Plough) in a bolus of 2 mg/kg of body weight administered intravenously and then intubated. Anaesthesia was maintained with isoflurane (IsoFlo, Abbott Laboratories) and 100 % oxygen. CT images of both elbow joints were obtained with a 4-slice scanner (LightSpeed, GE Medical systems) using 120 kVp, 140 mA and 25 cm FOV parameters. Dogs were placed in left lateral recumbent position with both thoracic limbs extended symmetrically cranially and the head pulled out of the gantry. Contiguous transverse images 1.3 mm thick were obtained from the proximal aspect of the olecranon to 2 cm distal to the elbow joint using a bone algorithm. DICOM files of each scan were retrieved and analysed using work- station software (eFilm, Merge, Merge eMed).

Arthroscopic assessment was performed using a 2.4 mm, 25° oblique arthroscope (Richard Wolf GmbH). The dogs were placed under general anaesthesia, in lateral recumbent position and their joints accessed via a medial approach. All dogs received appropriate NSAID therapy for peri- and post- operative pain.

Joints were scored according to the imaging and arthroscopic findings. A normal score was given when the medial coronoid process (MCP) was observed unaltered in the arthroscopic, CT and radiographic assessments.

Arthroscopic assessment was scored as pathologic if MCD was found (fissure, fragment or chondromalacia). CT images were scored as pathologic if changes in shape, attenuation, fragmentation or fissure line of the medial coronoid process were present and

also if a trochlear notch sclerosis and irregular radio-ulnar joint space were observed. Joints evaluated radiographically were scored as pathologic if the outline was altered, and changes in shape or radio density, an MCP fragment, or increased trochlear notch sclerosis were observed.

This score was given by two experienced observers in consensus, while blinded to the identity of the patient and results of the arthroscopic findings. Imaging findings then were compared with the arthroscopic assessments.

Statistical analysis was conducted with R (R Core Team, 2013). Sensitivity and specificity were calculated for CT compared with arthroscopy as the gold standard. Sensitivity and specificity for radiography were calculated using CT as the test of reference. The reproducibility between the techniques was determined with Cohen's Kappa.

RESULTS AND DISCUSSION

Article 1

The dissection and the anatomical sections allowed a detailed description of the anatomy and the situation of the fibrous structures of the canine elbow joint. This study demonstrated the intimate relationship among soft tissue structures of the medial aspect of the elbow joint, especially between the oblique ligament (OL), the biceps brachii and brachialis muscles tendons, and the medial collateral ligament (MCL).

The proximal part of the joint capsule had a bright, fibrous structure covered by fat tissue. Distally it was primarily a synovial membrane that ran over the annular ligament. This

description differs from previous literature (Barone 1980, Nickel, 1986, Sisson and Grossman 2002) which reported the cranial aspect of the joint capsule as entirely fibrous.

The OL is not an official *nomina anatomica* term, although it is used in the literature (Oliveira et al., 2003, 2007). In this study, the ligament divided into a substantial cranial branch and a lesser caudal branch. The cranial branch surrounded the tendons of insertion of the biceps brachii and brachialis muscles and thus, reinforced the superficial and deep aspects of the fibrous sheath. This cranial branch continued distally, and with the tendon of insertion of the biceps brachii muscle attached on the medial aspect of the radius to the radial tuberosity.

Our results indicated that the medial collateral ligament bifurcated at the level of the humeral trochlea into a cranial and a caudal branch. The cranial branch attached to the medial aspect of the radius on the radial tuberosity, while the caudal branch coursed into the interosseous space of the forearm where it attached mainly to the caudal aspect of the radius next to the insertion of the cranial branch of the lateral col- lateral ligament, although a small part of this caudal branch attached on the ulna.

This description of the caudal branch of the MCL correlates with a previous study (Oliveira et al., 2003), and is different from other authors (Barone 1980, Nickel, 1986, Evans, 1993, Sisson and Grossman 2002, Constantinescu and Constantinescu 2009) who reported that this branch of the ligament attached mainly to the ulna. A revisitation of the MCL in man found that it attached to the ulna (Williams and Warwick, 1986; Feneis and Dauber, 2006; de Haan et al., 2011). This difference of the insertion between human beings and the dog would explain the decreased range of pro- nation and supination in the dog due to the restriction in the range of motion of the radius over the ulna exerted by the insertion of the cranial and the caudal branches of the MCL on the radius.

It was suggested that elbow luxation might be caused by forces exerted by the supinator muscle in conjunction with the underdevelopment of the collateral ligaments or the laxity of the lateral collateral ligament or the AL (Temwichitr et al., 2010). Regarding the latter, we agree with this theory due to the firm and fibrous characteristics of the MCL found during the anatomical assessment. Although the collateral ligaments remain as the main elbow joint stabilisers, laxity of the AL ligament may lead to proximal radioulnar joint instability, and alter the loading surfaces of the joint.

Dissection of the insertion of biceps brachial muscle, indicated that its tendon divided into two branches: a main cranial branch, and a caudal branch. These branches form around the tendon of insertion of the brachialis muscle forming the fibrous sheath, which is reinforced by the OL and the MCL. The main cranial branch of the biceps brachii inserted on the radial tuberosity, and its caudal thinner branch, inserted as a broad fan shape onto the proximal portion of the medial rim of the MCP. The brachialis muscle had its main insertion onto the base of the MCP in an open fan shape passing through the portions of insertion of the biceps brachii muscle. This description is similar to human anatomy, where the biceps brachii muscle inserts on the radius and the brachialis muscle inserts on the ulna and the coronoid process (Williams and Warwick 1986, Feneis and Dauber 2006).

It has been hypothesised that MCP fragmentation, or microdamage in adult animals, can be provoked by the mechanical overload associated with the contraction of the biceps brachii and brachialis muscles (Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010). It has been suggested that the moment produced by the contraction force of the biceps brachii and the brachialis muscles rotates the cranio-lateral segment of the MCP against the radial head (Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010). With this concept in mind, a brachialis muscle tenotomy was performed 0.5 cm from the point of insertion of the tendons on the base of the MCP in two elbow joints, to verify the effect on the rotation range of the joint and on

the muscle dynamic function. We found an increase of pronation angle and no altered joint stability which would be preserved by means of the cranial bicipital tendon of insertion and its strong attachment to the radius. This procedure would diminish the traction and rotational forces exerted by the muscle's insertion onto the MCP.

These findings can be used in future studies which investigate the involvement of myotendinous structures in common elbow pathology, and to assess alternative treatment options for such pathology.

Article 2

Advantages of ultrasonography include the possibility of evaluating soft tissue structures that are poorly visible on radiographs, a lack of ionizing radiation, and real time evaluation of joint function.

In this study the canine elbow joint was assessed using high frequency ultrasonography (18MHz) to obtain detailed images of its anatomic components, and then compared these images with transparent plastinated anatomical sections, obtained by the E12 plastination technique.

In the following table the ultrasonographic appearance of the structures of the canine elbow joint are listed:

STRUCTURE	ULTRASONOGRAPHIC APPEARANCE
Biceps brachii muscle (longitudinal view)	Hypoechoic structure with oblique hyperechoic lines that merge into a thick central hyperechoic line; structure is outlined by two hyperechoic
Biceps brachii muscle (transversal view)	Oval hypoechoic structure with parallel convergent hyperechoic lines
Tendons of insertion of the brachialis and biceps brachii muscles	Two long adjacent hyperechoic structures formed by hyperechoic short lines and dots that concluded on the ulna

Medial collateral ligament	Linear hypoechoic structure with hyperechoic lines and dots that represent the collagen fibers of the ligament
Flexor muscles	Elongated hypoechoic structures with hyperechoic lines within and limited by hyperechoic lines
Medial coronoid process	Hyperechoic angular line with acoustic shadowing
Median nerve (longitudinal view)	Hypoechoic structure with short hyperechoic lines within and bounded by two hyperechoic lines
Median nerve and brachial artery (transverse view) Proximal	Circular hypoechoic structure outlined by a hyperechoic halo. In live animals these structures could be differentiated using Doppler ultrasonography (artery is larger and situated cranially to the median nerve)
Proximal attachment of the lateral collateral ligament	Thick hypoechoic structure with multiple hyperechoic lines
Distal portion and attachment of the lateral collateral ligament	Oblique group of parallel hyperechoic lines that insert on the radius in an opened-fan shape
Anconeal process	Hyperechoic oblique line with acoustic shadowing between the hyperechoic lines of the olecranon and the medial limit of the humeral olecranon fossa
Triceps brachii muscle	Triangular hypoechoic structure with hyperechoic parallel and oblique lines within
Triceps brachii muscle tendon of insertion (transverse view)	Hyperechoic, oval, thick structure composed of hyperechoic points Hypoechoic
Subtendinous bursa of the triceps brachii muscle	Hypoechoic space between the tendon of insertion of the muscle and the olecranon

Table 3. Ultrasonographic appearance of structures of the canine elbow joint

Correlation of ultrasound images and transparent plastinated anatomical sections allowed recognition of structures such as the tendons of insertion of the brachialis and biceps brachii muscles, flexor muscle tendons, collateral ligaments, and the median nerve, structures that would be missed without this anatomic reference because of the difficulty in interpreting their extension during ultrasonographic assessment.

The ultrasonographic imaging protocol we used was developed taking into consideration previously reported protocols (Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005).

However, in our imaging protocol, the flexed position of the elbow was only used for the assessment of the caudal aspect of the joint. Moreover, an 18MHz high frequency transducer was not as effective in the caudal plane because of insufficient beam penetration in dogs of large size or with substantial muscle development. The olecranon ligament and the anconeal process could not be assessed in all the joints; hence, to identify these structures we suggest using a lower frequency transducer with a higher penetration capacity and a semi-convex surface.

Ultrasonographic differentiation between the tendons of insertion of the biceps brachii and brachialis muscles was not reported previously. We believe we were able to appreciate this differentiation because of the higher frequency transducer (18MHz) in combination with a strong visual anatomic reference in the same plane with the transparent plastinated anatomical section. The tendons of origin of the flexor muscles can be assessed through the window used to evaluate the proximal part of the medial collateral ligament. In this case, it can be used as a technique for determining the prognosis of pathology such as flexor enthesiopathy.

Nerve injury is possible from trauma or an orthopaedic intervention such as an arthroscopy in which the location of arthroscopic portals are close to neurovascular structures of the joint (Jardel et al., 2010). By means of the protocol established in this study the median nerve was identified and evaluated in all elbow joints; and colour Doppler ultrasonography was used to differentiate it from the brachial artery and vein in live dogs.

Ultrasonography in human medicine has shown to be more accurate in midshaft fractures rather than in fractures adjacent to joint spaces, or fractures smaller than 1mm (Rabiner et al., 2013). In this study cortical bone was easily observed, however due to the acoustic shadow that produces the underlying bone structure was not visible. Taking this into

account, we believe, as other report (Seyrek-Intas et al., 2009), that ultrasonographic assessment of the elbow joint is a more appropriate technique for diagnosis of soft tissue structures.

Ultrasonography could be used as a diagnostic technique for pathology that involves the collateral ligaments such as the elbow luxation or subluxation which implies laxity or rupture of the lateral collateral ligament of the canine elbow joint (Bongartz et al., 2008). A lesion involving these structures would be easily detected based on a change in echogenicity of the structures.

Based in our results we believe that once the examiner is familiarized with the normal anatomy of the joint, ultrasonography could be considered as an available imaging technique able to indicate the presence of pathologies that involve soft tissue elements of the joint. It can be used to confirm or refute a clinically suspected lesion and to characterize its nature and extent, to follow the progression of disease or its healing, to plan or evaluate surgical therapies and to suggest additional diagnostic procedures.

We consider that our findings contribute to a more comprehensive understanding of the anatomic structures of the canine elbow joint and serve as reference for further imaging diagnostic studies because of the precise correspondence between anatomic plastinated sections and ultrasonographic images.

Article to be published

A good correlation was found between transparent plastinated anatomical sections, CT and MR images of the canine elbow joint. Our findings are consistent with those obtained in other studies (Reichle and Snaps, 1999; Baeumlin et al., 2010). However, this is the first publication that combines CT, MRI and transparent anatomical plastinated sections of the

canine elbow joint, in a single descriptive study. This allowed a better understanding of the musculoskeletal structures of the canine elbow joint.

Magnetic resonance images were obtained in the dorsal, dorsal oblique, sagittal and transverse oblique planes in order to mimic the planes of the anatomical sections; when this was not possible to achieve, the plane was obtained by means of 3D T1 FSPGR. Computed tomography images in different planes were obtained through the use of the multiplanar reconstruction tool. Images of the CT assessment in the same planes of the anatomical sections were obtained using the multiplanar reconstruction tool.

The main findings are summarized in the following table.

STRUCTURE	FINDINGS	
	CT	MR
Medial colateral ligament	Not clearly visualised	Lineal hypointense structure
Lateral colateral ligament	Not clearly visualised	Lineal hypointense structure
Tendons of insertion of the muscles biceps brachii and brachialis	Poorly defined lineal hyperattenuated structure	Lineal hyper/hypointense structure
Fibrous sheath	Poorly defined oval hyperattenuated structure	Eliptic hypointense structure with the hyperintense tendón of the brachialis muscle within
Triceps brachii muscle	Triangular isoattenuated structure	Triangular iso-intense structure on T1 and hyperintense on T2
Tendon of insertion of the triceps brachii muscle	Poorly defined lineal hyperattenuated structure	Broad lineal iso/hypointense structure
Synovial bursa of the tendon of insertion of the triceps brachii muscle	Not visible	Wedged shape hyperintense structure
Flexor muscles	Elongated isoattenuated structures	Elongated iso-intense structure
Tendons of insertion of the flexor muscles	Not clearly visualised	Hyper/hypointense lineal structures
Medial coronoid process	Triangular or rectangular hyperattenuated structure with hypoattenuated border	Triangular or rectangular hypointense structure
Lateral coronoid process	Triangular hyperattenuated structure with a rounded apex	Triangular hypointense structure with a rounded apex
Brachial artery	Not clearly visualised	Rounded or lineal hypo/hyperintense structure
Median nerve	Not clearly visualised	Rounded or lineal iso-intense structure

Table 4. Computed tomographic and magnetic resonance appearance of the anatomical structures of the canine elbow joint.

In the CT evaluation of the elbow joint it was possible to visualize subchondral bone but not articular cartilage as described in a previous study (Kramer et al., 2006). A recent publication (Gendler et al., 2015) reported that CT arthrography of the canine elbow joint is suitable for the assessment of the articular cartilage as it appears well delineated and provides high measurement precision regardless of image plane.

In humans it has been stated that MRI has the potential to detect early cartilage changes, as it enables quantitative assessment of articular cartilage noninvasively (Wang et al., 2012). The present study showed that articular cartilage was visible in the sagittal MR T1 W images which agrees with the findings of a previous MRI studies (Janach et al., 2006; Snaps et al., 1998).

It was possible to visualize the course of the medial collateral ligament, which was described by parts in a previous publication.(Baeumlin et al., 2010) Other ligamentous structures such as the lateral collateral ligament, the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles and its relationship to surrounding structures were also possible to accurately observe.

Ligaments and tendons of the canine elbow joint were better assessed in MR images especially in the T1 W sequence, as it has also been described in humans (Kijowski et al., 2004b) and in dogs (De Rycke et al., 2015) in which the ligaments and tendons of the canine shoulder joint were evaluated. In our study the tendinous structures were observed as linear hypointense structures. However, due to the different orientation of the tendons and ligaments, an increased signal was visible in the distal attachments of the collateral ligaments and insertion points of the tendons of the brachialis and biceps brachii muscles. Moreover,

proximal insertion of the tendons of the flexor muscles had a mixed intensity pattern. This variation in signal intensity can be attributed to the “magic angle” artefact, which occurs when the angle of the tendinous structure approached a 55o angle to the static magnetic field (Busoni and Snaps, 2002; Singh et al., 2012).

The fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles takes its importance as it is formed in part by the biceps brachii and brachialis muscles that insert on the ulna and the medial collateral ligament that inserts on the radius. Other reports (Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010) stated that the moment produced by the contraction force of the biceps brachii and the brachialis muscles, rotates the cranio-lateral segment of the MCP against the radial head. This results in a compressive force over the MCP and its consequent lesion. For these we consider that accurate identification of this fibrous sheath in MR and CT images is of great importance, and we are also convinced that such identification could not have been possible without the aid of the transparent plastinated anatomical sections obtained in this paper.

We conclude that the use of transparent plastinated anatomical sections and its good correlation with CT and MR images led to an accurate identification of bony, muscular, vascular, nervous, ligamentous and tendinous structures of the canine elbow joint. This comparison allowed a definitive and detailed interpretation of the medial collateral ligament and the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles.

Article 3

The study included data and images of 90 dogs (40 female and 50 male), with a median age of 27 months (range 5– 133 months) and a median body weight of 29 kg (range 7–59 kg). Sixteen breeds were included, mostly Labrador retrievers (19 %), Golden retrievers

(11 %), Bernese Mountain dogs (9 %) and Rottweiler's (9 %). Bi-lateral elbow lameness was reported in 76 dogs (84 %) and unilateral lameness in 14 dogs (16 %). The distribution of our population gender was similar to previous studies (Moore et al., 2008; Rau et al., 2011). However, our study included a larger variety of breeds, more animals and consequently a higher number of elbow joints (n = 180).

A total of 180 elbow joints were evaluated with radiography and CT, 28 (16 %) were rated normal and 152 (84 %) as positive for MCD in the radiographic assessment. CT assessment showed 39 (22 %) non affected joints and 141 (78 %) positive for MCD.

From the previous 180 joints a total of 141 joints were evaluated also with arthroscopy; in this group radiographic examination showed that 11 (8 %) were normal joints and 130 (92 %) were positive for MCD; in the CT assessment, 13 (9 %) were normal and 128 (91 %) were positive for MCD; arthroscopically 14 (10 %) were assessed as normal and 127 (90 %) as positive for MCD

Sensitivity and specificity of CT using arthroscopy as the gold standard resulted in high values of 100 % of MCD for the former and 93 % for the latter. One of 141 elbow joints was rated false positive on CT; none were rated false negative.

Los methods showed a high level of agreement with an almost perfect agreement between CT and arthroscopy ($\kappa = 0.959$) and less agreement between RX/CT, N= 141 ($\kappa = 0.72$), and RX/CT, N= 180 ($\kappa = 0.69$).

Specificity for radiography was 69 and 64 %, higher than the 40 % obtained in another study (Rau et al., 2011). Nevertheless, a high percentage of false positives of 31 and 36 % for each group indicate that the radiographs were misread, possibly because there were many atypical breeds involved in the study and because radiographic signs of degenerative

joint disease do not always implicate fragments. In our study MCP delineation and density were the radiographic signs present in the false positive cases.

The high specificity, sensitivity and Cohen's Kappa values of the CT assessment substantiated the decision to use the CT findings to determine the radiographic assessment sensitivity and specificity. This differs from a previous study that used the arthroscopic assessment (Rau et al., 2011) as its reference, but our study demonstrated the findings of the two groups with 141 and 180 elbow joints, respectively.

CT has been suggested as the more accurate technique for detecting primary MCD lesions compared with plain film radiography, xeroradiography, linear tomography and arthrography (Moore et al., 2008; Lau, S.F., 2012). However, a previous study that compared CT with arthroscopy found that CT can be contradictory (Moore et al., 2008). Our findings with CT and during arthroscopic assessment of the joint expressed a perfect sensitivity of 100 %, which is higher than the values reported in another published study (Moore et al., 2008) where CT signs of dysplasia were associated with arthroscopic findings and a sensitivity of 71 % was presented. According to the latter study, the two techniques produced contradictory information about the presence of fragmentation of the medial coronoid process, which was attributed to the cartilaginous, rather than osteochondral, nature of some fragments.

All joints that presented a displaced fragment during arthroscopic assessment were correctly identified by CT. On the other hand, half of the non-displaced fragments diagnosed by CT were diagnosed as fissures during arthroscopy; this was due to the cartilage integrity found during the arthroscopic assessment of the joints, once this cartilage was probed a small number of joints (5) released a fragment of the MCP.

One dog, a pug, was false positive, CT showed a non-displaced fragment which however arthroscopy found no evidence of such a lesion. This may have been related to the

breed morphology or to the CT slice thickness of 1.3 mm. A smaller slice would provide a more representative image of the MCP in small breeds.

Results of this study demonstrate that obtaining high quality CT images, reduces considerably the risk of missing a MCP lesion, however the inexperience of the observer (Lau et al., 2013), or the inadequate acquisition parameters or window settings (Tromblee et al., 2007), can lead to a false visualization of lesions of the MCP.

For this study, all the dogs had been referred due to forelimb lameness, so it can be assumed that the pathologic signs of MCD were more pronounced; moreover, not all joints with signs of MCD had arthroscopic assessment, since owners preferred to start a conservative therapy, rather than proceed with the arthroscopic intervention. Our results should not be extrapolated for screening purposes; the prevalence of MCD lesions would be lower in a screening population and is probably less severe as well.

In human medicine (Figuerola et al., 2007) as well as in veterinary medicine (Burton and Owen, 2008; Moores et al., 2008), arthroscopy is considered the gold standard for evaluating joint cartilage lesions. With arthroscopy only the articular surface can be evaluated and non- displaced fragments covered by intact cartilage could be missed. Our study demonstrates that the correlation between CT and arthroscopic findings are almost perfect. Although it is stated that on CT cartilaginous lesions cannot be seen, most of the time pathological cartilage will have a repercussion on the underlying subchondral bone as the two structures can be considered as a union (Madry et al., 2010).

Our results show that CT, rather than arthroscopy, could be the main technique used to assess MCD lesions of the canine elbow joint, based on the high sensitivity and specificity obtained and the fact that arthroscopy cannot identify every fragment, especially the non-displaced fragments of the medial coronoid process. These results suggest that, when in doubt

due to unclear radiographic signs of the MCP outline and density; or the trochlear notch sclerosis, CT could be used as a non-invasive technique to assess the presence of MCD

CONCLUSIONS

1. The anatomical study of the canine elbow joint (article 1) demonstrated the importance of the strong collateral ligaments and annular ligament as stabilizers of the joint. Special importance is given to the insertion of the biceps brachii muscle, along with the cranial branch of the medial collateral ligament on the radial tuberosity. On this subject, we propose that rotation and compression forces over the medial coronoid process could cause subcondral bone damage and eventual fracture of it. These forces could be alleviated by a tenotomy of the tendon of insertion of the brachialis muscle, without this being a threat of loss of stability of the joint.

2. The results of this study (article 2), by correlating ultrasonographic images and transparent plastinated anatomical sections obtained on the same planes, provided detailed and descriptive information of the anatomical structures of the normal canine elbow joint. These results will serve as reference for the ultrasonographic clinical assessment of the canine elbow joint, allowing the assessments of soft tissue, determining the progression and extension of and injury, program or evaluate surgical treatments or for the adequate selection of other diagnostic techniques.

3. The third article demonstrates the advantages of computed tomography over arthroscopy for the assessment of the medial coronoid disease. We found a high sensitivity and specificity values in computed tomography whereas arthroscopy is not capable to identify all alterations of the medial coronoid process, especially non-displaced fragments. These results suggest that when in the presence of unclear radiographic signs, compute tomography

could be used as the non-invasive diagnostic technique of choice to evaluate the medial coronoid process

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adamiak, Z., Jaskólska, M., Matyjasik, H., Pomianowski, A., Kwiatkowska, M., 2011. Magnetic resonance imaging of selected limb joints in dogs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*.
- Arredondo, J., Agut, A., Rodríguez, M.J., Sarriá, R., Latorre, R., 2013. Anatomy of the temporomandibular joint in the cat: a study by microdissection, cryosection and vascular injection. *Journal of feline medicine and surgery* 15, 111–6.
- Ayromlou, H., Tarzamni, M.K., Daghighi, M.H., Pezeshki, M.Z., Yazdchi, M., Sadeghi-Hokmabadi, E., Sharifipour, E., Ghabili, K., 2012. Diagnostic value of ultrasonography and magnetic resonance imaging in ulnar neuropathy at the elbow. *ISRN neurology* 2012, 491892.
- Baeumlin, Y., De Rycke, L., Van Caelenberg, A., Van Bree, H., Gielen, I., 2010. Magnetic resonance imaging of the canine elbow: an anatomic study. *Veterinary Surgery* 39, 566–573.
- Bongartz, a, Carofiglio, F., Piaia, T., Balligand, M., 2008. Traumatic partial elbow luxation in a dog. *Journal of Small Animal Practice* 49, 359–362.
- Burton, N., Owen, M., 2008. Canine elbow dysplasia 1. aetiopathogenesis and diagnosis. In *Practice* 30, 508–512.
- Burton, N.J., Comerford, E.J., Bailey, M., Pead, M.J., Owen, M.R., 2007. Digital analysis of ulnar trochlear notch sclerosis in labrador retrievers. *Journal of Small Animal Practice* 48, 220–224.
- Burton, N.J., Toscano, M.J., Barr, F.J., Owen, M.R., 2008. Reliability of radiological assessment of ulnar trochlear notch sclerosis in dysplastic canine elbows. *Journal of Small Animal Practice* 49, 572–576.
- Busoni, V., Snaps, F., 2002. Effect of deep digital flexor tendon orientation on magnetic resonance imaging signal intensity in isolated equine limbs-the magic angle effect. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 43, 428–430.
- Carpenter, L.G., Schwarz, P.D., Lowry, J.E., Park, R.D., Steyn, P.F., 1993. Comparison of radiologic imaging techniques for diagnosis of fragmented medial coronoid process of the cubital joint in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 203, 78–83.
- Carrera, I., Hammond, G.J.C., Sullivan, M., 2008. Computed tomographic features of incomplete ossification of the canine humeral condyle. *Veterinary surgery* 37, 226–31.
- Chanoit, G., Singhani, N.N., Marcellin-Little, D.J., Osborne, J. a, 2010. Comparison of five radiographic views for assessment of the medial aspect of the humeral condyle in dogs with osteochondritis dissecans. *American journal of veterinary research*.
- Constantinescu, G.M., Constantinescu, I. a, 2009. A clinically oriented comprehensive pictorial review of canine elbow anatomy. *Veterinary surgery* 38, 135–43.

- Cook, C.R., Cook, J.L., 2009. Diagnostic imaging of canine elbow dysplasia: a review. *Veterinary surgery* 38, 144–53.
- Cook, J.L., 2001. Forelimb lameness in the young patient. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 31, 55–83.
- Cook, P., 1997. Sheet plastination as a clinically based teaching aid at the university of auckland. *Acta anatomica* 158, 33–6.
- de Bakker, E., Gielen, I., Kromhout, K., van Bree, H., Van Ryssen, B., 2014a. Magnetic resonance imaging of primary and concomitant flexor enthesopathy in the canine elbow. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 55, 56–62.
- de Bakker, E., Gielen, I., Saunders, J.H., Polis, I., Vermeire, S., Peremans, K., Dewulf, J., van Bree, H., Van Ryssen, B., 2013a. Primary and concomitant flexor enthesopathy of the canine elbow. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 26, 1–10.
- de Bakker, E., Gielen, I., van Caelenberg, A., van Bree, H., van Ryssen, B., 2014b. Computed tomography of canine elbow joints affected by primary and concomitant flexor enthesopathy. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 55, 45–55.
- de Bakker, E., Peremans, K., Vermeire, S., Vandermeulen, E., Dobbeleir, A., Dik, K.J., Gielen, I., Saunders, J.H., Van Ryssen, B., 2013b. The use of planar bone scintigraphy and hispect for diagnosis of primary and concomitant flexor enthesopathy in the canine elbow. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 26, 348–55.
- de Bakker, E., Samoy, Y., Gielen, I., Van Ryssen, B., 2011. Medial humeral epicondylar lesions in the canine elbow. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24, 9–17.
- de Bakker, E., Saunders, J., Gielen, I., van Bree, H., Coppieters, E., Van Ryssen, B., 2012. Radiographic findings of the medial humeral epicondyle in 200 canine elbow joints. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 25, 359–365.
- De Bakker, E., Saunders, J.H., Van Bree, H., Gielen, I., Van Ryssen, B., 2013. Radiographic features of primary and concomitant flexor. *Veterinary radiology & ultrasound* 26, 107–113.
- de Haan, J., Schep, N.W.L., Eygendaal, D., Kleinrensink, G.-J., Tuinebreijer, W.E., den Hartog, D., 2011. Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies. *The open orthopaedics journal* 5, 168–76.
- De Rycke, L.M., Gielen, I.M., Dingemanse, W., Kromhout, K., van Bree, H., 2015. Computed tomographic and low-field magnetic resonance arthrography: a comparison of techniques for observing intra-articular structures of the normal canine shoulder. *Veterinary surgery* 44, 704–12.
- De Rycke, L.M., Gielen, I.M., van Bree, H., Simoens, P.J., 2002. Computed tomography of the elbow joint in clinically normal dogs. *American Journal of Veterinary Research* 63,

1400–1407.

- Debruyne, K., Peremans, K., Vandermeulen, E., Van Ryssen, B., Saunders, J.H., 2013. Evaluation of semi-quantitative bone scintigraphy in canine elbows. *Veterinary journal* 196, 424–30.
- Evans, H.E., 1993. *Miller's Anatomy of the Dog*, 4th ed. W.B. Saunders, Philadelphia.
- Farrell, M., Draffan, D., Gemmill, T., Mellor, D., Carmichael, S., 2007. In vitro validation of a technique for assessment of canine and feline elbow joint collateral ligament integrity and description of a new method for collateral ligament prosthetic replacement. *Vet Surg* 36, 548–56.
- Farrell, M., Heller, J., Solano, M., Fitzpatrick, N., Sparrow, T., Kowaleski, M., 2014. Does radiographic arthrosis correlate with cartilage pathology in labrador retrievers affected by medial coronoid process disease? *Veterinary surgery* 43, 155–65.
- Figuerola, D., Calvo, R., Vaisman, A., Carrasco, M. a, Moraga, C., Delgado, I., 2007. Knee chondral lesions: incidence and correlation between arthroscopic and magnetic resonance findings. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 23, 312–5.
- Fitzpatrick, N., Smith, T.J., Evans, R.B., Yeadon, R., 2009. Radiographic and arthroscopic findings in the elbow joints of 263 dogs with medial coronoid disease. *Veterinary surgery* 38, 213–23.
- Fitzpatrick, N., Yeadon, R., 2009. Working algorithm for treatment decision making for developmental disease of the medial compartment of the elbow in dogs. *Veterinary Surgery* 38, 285–300.
- Gabriel, P., Pfeil, A., Ludewig, E., Böttcher, P., Oechtering, G., 2009. Magnetic resonance imaging diagnosis: incomplete ossification of the humeral condyle in a german shepherd dog. *The Journal of small animal practice* 50, 92–4.
- Gasch, E.G., Labruyère, J.J., Bardet, J.F., 2012. Computed tomography of ununited anconeal process in the dog. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 25, 498–505.
- Gemmill, T.J., Hammond, G., Mellor, D., Sullivan, M., Bennett, D., Carmichael, S., 2006. Use of reconstructed computed tomography for the assessment of joint spaces in the canine elbow. *The Journal of small animal practice* 47, 66–74.
- Gemmill, T.J., Mellor, D.J., Clements, D.N., Clarke, S.P., Farrell, M., Bennett, D., Carmichael, S., 2005. Evaluation of elbow incongruity using reconstructed ct in dogs suffering fragmented coronoid process. *The Journal of small animal practice*.
- Gendler, A., Keuler, N.S., Schaefer, S.L., 2015. Computed tomographic arthrography of the normal canine elbow. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 56, 144–152.

- Getty, R., 1982. *Sisson y Grossman Anatomía de los Animales Domésticos Tomo II*, 5a ed. Salvat, España.
- Gielen, Ingrid and van Bree, H., 2014. Other imaging techniques and their added value to diagnose elbow dysplasia, in: 28th Annual Meeting of the International Elbow Working Group. Cape Town, SA, pp. 21–23.
- Goldhammer, M. a, Smith, S.H., Fitzpatrick, N., Clements, D.N., 2010. A comparison of radiographic, arthroscopic and histological measures of articular pathology in the canine elbow joint. *Veterinary Journal* 186, 96–103.
- Groth, a M., Benigni, L., Moores, a P., Lamb, C.R., 2009. Spectrum of computed tomographic findings in 58 canine elbows with fragmentation of the medial coronoid process. *The Journal of small animal practice* 50, 15–22.
- H Feneis, Wolfgang Dauber, 2006. *Feneis: Nomenclatura anatomica ilustrada* , 5^a Edición. ed. Masson.
- Hazewinkel, H.A.W., 2014. The organization of an ed-screening program and the use of the certificate., in: 28th Annual Meeting of the International Elbow Working Group. Cape Town, SA, pp. 33–37.
- Hornof, W.J., Wind, A.P., Wallack, S.T., Schulz, K.S., 2000. Canine elbow dysplasia. the early radiographic detection of fragmentation of the coronoid process. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 30, 257–66, v.
- Hoskinson, J.J., Tucker, R.L., 2001a. Diagnostic imaging of lameness in small animals. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 31, 165–180, vii.
- Hoskinson, J.J., Tucker, R.L., 2001b. Diagnostic imaging of lameness in small animals. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 31, 165–80, vii.
- Hulse, D., Young, B., Beale, B., Kowaleski, M., Vannini, R., 2010. Relationship of the biceps-brachialis complex to the medial coronoid process of the canine ulna. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 23, 173–176.
- Janach, K.J., Breit, S.M., Künzel, W.F.W., 2006. Assessment of the geometry of the cubital (elbow) joint of dogs by use of magnetic resonance imaging. *American Journal of Veterinary Research* 67, 211–218.
- Jardel, N., Crevier-Denoix, N., Moissonnier, P., Viateau, V., 2010. Anatomical and safety considerations in establishing portals used for canine elbow arthroscopy. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 23, 75–80.
- Kane, S.F., Lynch, J.H., Taylor, J.C., 2014. Evaluation of elbow pain in adults. *American family physician* 89, 649–57.
- Kijowski, R., Tuite, M., Sanford, M., 2004a. Magnetic resonance imaging of the elbow. part i: normal anatomy, imaging technique, and osseous abnormalities. *Skeletal radiology* 33,

685–97.

- Kijowski, R., Tuite, M., Sanford, M., 2004b. Magnetic resonance imaging of the elbow. part ii: abnormalities of the ligaments, tendons, and nerves. *Skeletal Radiology* 34, 1–18.
- Kippenes, H., Johnston, G., 1998. Diagnostic imaging of osteochondrosis. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 28, 137–160.
- Kirberger, R.M., 2014. Radiographic views for elbow dysplasia, in: 28th Annual Meeting of the International Elbow Working Group. Cape Town, SA, pp. 18–20.
- Kirberger, R.M., Fourie, S.L., 1998. Elbow dysplasia in the dog: pathophysiology, diagnosis and control. *Journal of the South African Veterinary Association* 69, 43–54.
- Knox, V.W., Sehgal, C.M., Wood, A.K.W., 2003. Correlation of ultrasonographic observations with anatomic features and radiography of the elbow joint in dogs. *American Journal of Veterinary Research* 64, 721–726.
- König, H.E. Liebich, HG Mairel, J., 2004. Anatomía de los animales Domésticos I, 2a ed. ED. Médica Panamericana.
- Konin, G.P., Nazarian, L.N., Walz, D.M., 2013. Us of the elbow: indications, technique, normal anatomy, and pathologic conditions. *Radiographics* 33, 125–47.
- Kramer, A., Holsworth, I.G., Wisner, E.R., Kass, P.H., Schulz, K.S., 2006. Computed tomographic evaluation of canine radioulnar incongruence in vivo. *Veterinary surgery* : 35, 24–9.
- Lamb, C.R., Wong, K., 2005. Ultrasonographic anatomy of the canine elbow. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 46, 319–325.
- Langhann, A., Fehr, M., Nolte, I., 2003. Arthrotomy versus arthroscopy in the treatment of the fragmented medial coronoid process of the ulna (FCP) in 421 dogs. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 4, 204–210.
- Lappalainen, A., 2014. Scientific basis for more views and more care for over interpretation., in: 28th Annual Meeting of the International Elbow Working Group. Cape Town, SA, pp. 14–17.
- Lappalainen, A.K., Mölsä, S., Liman, A., Laitinen-Vapaavuori, O., Snellman, M., 2009. Radiographic and computed tomography findings in belgian shepherd dogs with mild elbow dysplasia. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 50, 364–369.
- Latorre, R., Arencibia, A., Gil, F., Rivero, M., Henry, R.W., Ramírez, G., Vázquez, J.M., 2006. Correlation of magnetic resonance images with anatomic features of the equine tarsus. *American Journal of Veterinary Research* 67, 756–761.
- Latorre, R., Arencibia, A., Il, F.G., Ivero, M.R., Amirez, G.R., Aquez, J.M. V, Uton, A., Enry, R.W.H., 2003. P-40 and s10 plastinated slices : an aid to interpreting mr images of the equine tarsus. *Journal of the International Society of Plastination* 22, 14–22.

- Lau, S.F., Hazewinkel, H.A.W., Voorhout, G., 2015. Radiographic and computed tomographic assessment of the development of the antebrachia and elbow joints in labrador retrievers with and without medial coronoid disease. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 28, 186–92.
- Lau, S.F., Theyse, L.F.H., Voorhout, G., Hazewinkel, H. a. W., 2015. Radiographic, computed tomographic, and arthroscopic findings in labrador retrievers with medial coronoid disease. *Veterinary Surgery* 44, 511–520.
- Lau, S.F., Wolschrijn, C.F., Hazewinkel, H.A.W., Siebelt, M., Voorhout, G., 2013. The early development of medial coronoid disease in growing labrador retrievers: radiographic, computed tomographic, necropsy and micro-computed tomographic findings. *The Veterinary Journal* 197, 724–730.
- Lau, S.F. Theyse, L.F.H. Hazewinkel, H.A.W. van den Belt, A.J.M Voorhout, G., 2012. Radiographic, computed tomographic and surgical findings in 34 labrador retrievers with medial coronoid disease (mcd), in: *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the International Elbow Working Group*. Birmingham, UK, pp. 15–16.
- Madry, H., van Dijk, C.N., Mueller-Gerbl, M., 2010. The basic science of the subchondral bone. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18, 419–433.
- Martin, R.B., Crews, L., Saveraid, T., Conzemius, M.G., 2010. Prevalence of incomplete ossification of the humeral condyle in the limb opposite humeral condylar fracture: 14 dogs. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 23, 168–72.
- McGowan, L., Loughin, C.A., Marino, D.J., Umbaugh, S.E., Liu, P., Amini, M., Solt, P., Lesser, M.L., Akerman, M., 2015. Medical infrared imaging of normal and dysplastic elbows in dogs. *Veterinary surgery* 44, 874–82.
- Meyer-Lindenberg, a, Fehr, M., Nolte, I., 2006. Co-existence of ununited anconeal process and fragmented medial coronoid process of the ulna in the dog. *Journal of Small Animal Practice* 47, 61–65.
- Michelsen, J., 2013. Canine elbow dysplasia: aetiopathogenesis and current treatment recommendations. *Veterinary journal* 196, 12–9.
- Moores, a P., Agthe, P., Schaafsma, I. a, 2012. Prevalence of incomplete ossification of the humeral condyle and other abnormalities of the elbow in english springer spaniels. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 25, 211–6.
- Moores, A.P., Benigni, L., Lamb, C.R., 2008. Computed tomography versus arthroscopy for detection of canine elbow dysplasia lesions. *Veterinary surgery* 37, 390–8.
- Nickel, 1986. *The Locomotor System of Domestic Mammals(The Anatomy of Domestic Animals)*, 1st ed. Blackwell Science Ltd.
- Oliveira, D., Baraldi-Artoni, S.M., Shimano, a. C., Rossi, J.R., Tovar, M.C.H., 2007. Role of the oblique ligament in the integrity of the medial collateral ligament of the canine

- elbow joint. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 59, 127–133.
- Oliveira, D., Martinez Baraldi Artoni, S., Marcos Orsi, A., Roque Rodriguez, A.I., 2003. Morphometric study of the medial collateral and oblique ligaments of the elbow joint of the dog (*canis familiaris*). *International Journal of Morphology* 21.
- Párraga, E., López-Albors, O., Sánchez-Margallo, F., Moyano-Cuevas, J.L., Latorre, R., 2013. Effects of pneumoperitoneum and body position on the morphology of the caudal cava vein analyzed by mri and plastinated sections. *Surgical endoscopy* 27, 880–7.
- Peremans, K., Duchateau, L., Vermeire, S., Vandermeulen, E., Dobbeleir, a, Gielen, I., Polis, I., Van Rijssen, B., De Bakker, E., Saunders, J., De Spiegeleer, B., Dik, K., 2013. The use of the hispect bone scan in canine flexor enthesopathy and coronoid pathology. *Research in veterinary science* 94, 628–33.
- Peremans, K., Vermeire, S., Dobbeleir, A., Gielen, I., Samoy, Y., Piron, K., Vandermeulen, E., Slegers, G., van Bree, H., De Spiegeleer, B., Dik, K., 2011. Recognition of anatomical predilection sites in canine elbow pathology on bone scans using micro-single photon emission tomography. *Veterinary journal* 188, 64–72.
- Piola, V., Posch, B., Radke, H., Telintelo, G., Herrtage, M.E., 2012. Magnetic resonance imaging features of canine incomplete humeral condyle ossification. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 53, 560–565.
- Probst, A., Modler, F., Künzel, W., Mlynarik, V., Trattnig, S., 2008. Demonstration of the articular cartilage of the canine ulnar trochlear notch using high-field magnetic resonance imaging. *Veterinary journal* 177, 63-70
- Rabiner, J.E., Khine, H., Avner, J.R., Friedman, L.M., Tsung, J.W., 2013. Accuracy of point-of-care ultrasonography for diagnosis of elbow fractures in children. *Annals of emergency medicine* 61, 9–17.
- Radunovic, G., Vlad, V., Micu, M.C., Nestorova, R., Petranova, T., Porta, F., Iagnocco, A., 2012. Ultrasound assessment of the elbow. *Medical ultrasonography* 14, 141–6.
- Rau, F.C., Wigger, a, Tellhelm, B., Zwick, M., Klumpp, S., Neumann, a, Oltersdorf, B., Amort, K., Failing, K., Kramer, M., 2011. Observer variability and sensitivity of radiographic diagnosis of canine medial coronoid disease. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe K, Kleintiere/Heimtiere* 39, 313–22.
- Reichle, J.K., Park, R.D., Bahr, a M., 2000. Computed tomographic findings of dogs with cubital joint lameness. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 41, 125–130.
- Reichle, J.K., Snaps, F., 1999. The elbow. *Clinical techniques in small animal practice* 14, 177–86.
- Robert Barone, 1980. *Anatomie comparée mammifères domestiques t.2 arthrologie et myologie*, 2nd ed. Vigot.

- Robin, D., Marcellin-Little, D.J., 2001. Incomplete ossification of the humeral condyle in two labrador retrievers. *The Journal of small animal practice* 42, 231–4.
- Rodríguez, M.J., Agut, A., Soler, M., López-Albors, O., Arredondo, J., Querol, M., Latorre, R., 2010. Magnetic resonance imaging of the equine temporomandibular joint anatomy. *Equine veterinary journal* 42, 200–7.
- Rosset, A., Spadola, L., Ratib, O., 2004. Osirix: an open-source software for navigating in multidimensional dicom images. *Journal of digital imaging* 17, 205–16.
- Saleh Elessawy, S., Abd El-Ghaffar Borg, M., Abd El-Salam Mohamed, M., Elsayed Elhawary, G., Mohamed Abd El-Salam, E., 2013. The role of mri in the evaluation of muscle diseases. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 44, 607–615.
- Samii, V.F., Les Clifford, M., Schulz, K.S., Keyak, J.H., Stover, S.M., 2002. Computed tomographic osteoabsorptiometry of the elbow joint in clinically normal dogs. *American journal of veterinary research* 63, 1159–1166.
- Samoy, Y., Gielen, I., Van Caelenberg, A., van Bree, H., Duchateau, L., Van Ryssen, B., 2012. Computed tomography findings in 32 joints affected with severe elbow incongruity and fragmented medial coronoid process. *Veterinary Surgery* 41, 486–494.
- Sampath, S.C., Sampath, S.C., Bredella, M. a, 2013. Magnetic resonance imaging of the elbow: a structured approach. *Sports health* 5, 34–49.
- Sandoval, J., 1998. *Tratado de Anatomía Veterinaria Tomo II, Aparato Locomotor*. Sorles, España.
- Schaaf, O.R., Eaton-Wells, R., Mitchell, R. a S., 2009. Biceps brachii and brachialis tendon of insertion injuries in eleven racing greyhounds. *Veterinary surgery* 38, 825–33.
- Schaller, O., 1992. *Nomenclatura Anatómica Veterinaria*. Acribia, España.
- Schwarz, T., Johnson, V.S., Voute, L., Sullivan, M., 2004. Bone scintigraphy in the investigation of occult lameness in the dog. *The Journal of small animal practice* 45, 232–7.
- Scott, H., Witte, P., 2011. Investigation of lameness in dogs: 1. forelimb. *In Practice* 33, 20–27.
- Seyrek-Intas, D., Michele, U., Tacke, S., Kramer, M., Gerwing, M., 2009. Accuracy of ultrasonography in detecting fragmentation of the medial coronoid process in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 234, 480–485.
- Singh, D.R., Chin, M.S.M., Peh, W.C.G., 2014. Artifacts in musculoskeletal mr imaging. *Seminars in musculoskeletal radiology* 18, 12–22.
- Singh, J.B., Oevermann, A., Henke, D., Segard, E., Gorgas, D., 2012. Imaging diagnosis-lack of contrast enhancement in metastatic cerebral adenocarcinoma. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 53, 193–196.

- Smith, T.J., Fitzpatrick, N., Evans, R.B., Pead, M.J., 2009. Measurement of ulnar subtrochlear sclerosis using a percentage scale in labrador retrievers with minimal radiographic signs of periarticular osteophytosis. *Veterinary Surgery* 38, 199–208.
- Smith, W., Hackel, J.G., Goitz, H.T., Bouffard, J.A., Nelson, A.M., 2011. Utilization of sonography and a stress device in the assessment of partial tears of the ulnar collateral ligament in throwers. *International journal of sports physical therapy* 6, 45–50.
- Snaps, F.R., Saunders, J.H., Park, R.D., Daenen, B., Balligand, M.H., Dondelinger, R.F., 1998. Comparison of spin echo, gradient echo and fat saturation magnetic resonance imaging sequences for imaging the canine elbow. *Veterinary radiology & ultrasound : the official journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association* 39, 518–523.
- Soler, M., Murciano, J., Latorre, R., Belda, E., Rodríguez, M.J., Agut, A., 2007. Ultrasonographic, computed tomographic and magnetic resonance imaging anatomy of the normal canine stifle joint. *Veterinary Journal* 174, 351–361.
- Sora, M.-C., Genser-Strobl, B., 2005. The sectional anatomy of the carpal tunnel and its related neurovascular structures studied by using plastination. *European journal of neurology : the official journal of the European Federation of Neurological Societies* 12, 380–4.
- Sora, M.-C., Jilavu, R., Grübl, A., Genser-Strobl, B., Staykov, D., Seicean, A., 2008. The posteromedial neurovascular bundle of the ankle: an anatomic study using plastinated cross sections. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 24, 258–263.e1.
- Sora, M.-C., Strobl, B., Staykov, D., Förster-Streffleur, S., 2004. Evaluation of the ankle syndesmosis: a plastination slices study. *Clinical anatomy* 17, 513–7.
- Tellhelm B., Amort, K., Ondreka, N., 2014. Grading primary ed-lesions and elbow osteoarthritis according to the iewg protocol, in: 28th Annual Meeting of the International Elbow Working Group. Cape Town, SA, pp. 30–32.
- Temwichitr, J., Leegwater, P. a J., Auriemma, E., Van't Veld, E.M., Zijlstra, C., Voorhout, G., Hazewinkel, H. a W., 2010. Evaluation of radiographic and genetic aspects of hereditary subluxation of the radial head in bouviers des flandres. *American journal of veterinary research* 71, 884–90.
- Tromblee, T.C., Jones, J.C., Bahr, A.M., Shires, P.K., Aref, S., 2007. Effect of computed tomography display window and image plane on diagnostic certainty for characteristics of dysplastic elbow joints in dogs. *American Journal of Veterinary Research* 68, 858–871.
- van Ryssen, B., de Bakker, E., Beaumlin, Y., Samoy, Y.C. a, van Vynckt, D., Gielen, I., Ducatelle, R., van Bree, H., 2012. Primary flexor enthesopathy of the canine elbow:

- imaging and arthroscopic findings in eight dogs with discrete radiographic changes. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 25, 239–245.
- Van Ryssen, B., van Bree, H., 1997. Arthroscopic findings in 100 dogs with elbow lameness. *The Veterinary record* 140, 360–2.
- Vermote, K.A.G., Bergenhuyzen, a L.R., Gielen, I., van Bree, H., Duchateau, L., Van Ryssen, B., 2010. Elbow lameness in dogs of six years and older: arthroscopic and imaging findings of medial coronoid disease in 51 dogs. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 23, 43–50.
- Villamonte-Chevalier, A. a, Soler, M., Sarria, R., Agut, A., Gielen, I., Latorre, R., 2015. Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow joint. *Veterinary surgery* 44, 485–93.
- Villamonte-Chevalier, A., Soler, M., Sarria, R., Agut, A., Latorre, R., 2012. Anatomical study of fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. *The Veterinary record* 171, 596.
- von Hagens, G., Tiedemann, K., Kriz, W., 1987. The current potential of plastination. *Anatomy and embryology* 175, 411–21.
- Wagner, K., Griffon, D.J., Thomas, M.W., Schaeffer, D.J., Schulz, K., Samii, V.F., Necas, A., 2007. Radiographic, computed tomographic, and arthroscopic evaluation of experimental radio-ulnar incongruence in the dog. *Veterinary surgery* 36, 691–8.
- Waldt, S., Bruegel, M., Ganter, K., Kuhn, V., Link, T.M., Rummeny, E.J., Woertler, K., 2005. Comparison of multislice ct arthrography and mr arthrography for the detection of articular cartilage lesions of the elbow. *European radiology* 15, 784–91.
- Wang, Y., Wluka, A.E., Jones, G., Ding, C., Cicuttini, F.M., 2012. Use magnetic resonance imaging to assess articular cartilage. *Therapeutic advances in musculoskeletal disease* 4, 77–97.
- Williams, P.L., Warwick, R., 1986. *Gray Anatomía*. Salvat Editores, S.A.
- Williams, S.B., Wilson, a M., Daynes, J., Peckham, K., Payne, R.C., 2008. Functional anatomy and muscle moment arms of the thoracic limb of an elite sprinting athlete: the racing greyhound (*canis familiaris*). *Journal of Anatomy* 213, 373–382.
- Wolschrijn, C.F., Kik, M.J.L., Weijs, W. a, 2003. Cartilage-free areas in the elbow joint of young golden retrievers. *The anatomical record. Part A, Discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology* 275, 990–6.
- Wucherer, K.L., Ober, C.P., Conzemius, M.G., 2012. The use of delayed gadolinium enhanced magnetic resonance imaging of cartilage and t2 mapping to evaluate articular cartilage in the normal canine elbow. *Veterinary radiology & ultrasound* 53, 57–63.
- Xu, L., Hayashi, D., Roemer, F.W., Felson, D.T., Guermazi, A., 2012. Magnetic resonance

imaging of subchondral bone marrow lesions in association with osteoarthritis. *Seminars in arthritis and rheumatism* 42, 105–118.

Yilmaz, B. Bahadır, A., 2009. Nerves innervating articular capsule of elbow joints in turkish sheperd dogs (karabaş - kangal), curly sheep and native hair goats: an anatomic study. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 15, 835–840.

Yoon, H.-Y., Jeong, S.-W., 2013. Traumatic triceps tendon avulsion in a dog: magnetic resonance imaging and surgical management evaluation. *Journal of Veterinary Medical Science* 75, 1375–1377.

9. APÉNDICE

INDICE DE IMPACTO ARTÍCULO 1



ISI Web of KnowledgeSM

Journal Citation Reports[®]

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
VET_REC	0042-4900	9390	1.493	1.466	0.763	198	>10.0	7.6

INDICE DE IMPACTO ARTÍCULO 2



ISI Web of KnowledgeSM

Journal Citation Reports[®]

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
VET_SURG	0161-3499	3411	1.041	1.527	0.209	139	8.7	>10.0

INDICE DE IMPACTO ARTÍCULO 3



ISI Web of KnowledgeSM

Journal Citation Reports[®]

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
BMC VET RES	1746-6148	1727	1.777	1.994	0.230	309	2.8	8.3

ARTÍCULO PENDIENTE POR PUBLICAR

**Computed Tomographic, Magnetic Resonance Imaging and
Anatomic study of the canine elbow joint**

Aquilino Villamonte-Chevalier¹, DVM, Marta Soler¹, PhD, Ricardo Sarria², PhD, Amalia Agut¹, PhD,
Diplomate ECVDI, Ingrid Gielen³, PhD, and Rafael Latorre*², PhD

1 Department of Animal Medicine and Surgery, University of Murcia, Murcia, Spain ,2 Department of Anatomy and Comparative Pathological Anatomy, University of Murcia, Murcia, Spain and 3 Department of Veterinary Medical Imaging and Small Animal Orthopaedics, Ghent University, Merelbeke, Belgium

Corresponding author

*Rafael Latorre latorre@um.es

Keywords: Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging, Anatomy, Canine elbow joint

Running head: CT, MRI and Anatomy of the canine elbow joint

Abstract

Descriptive studies of the joint by means of CT and MRI have been presented using as anatomical reference photographs from anatomical sections of cadaver joints. The objective of this study was to present a detailed study of the canine elbow joint by means of a correlation of CT and MR images with transparent plastinated anatomical sections; and to present new information of the ligamentous structures of the medial aspect of the joint. Elbow joints of 5 adult German shepherd cross-breed dog cadavers were examined by CT and MRI and then 2mm thick sections were obtained in the same planes as in the imaging techniques. Sections were plastinated using the E-12 plastination method and correlated to the CT and MR images. The elbow joints of 5 German shepherd adult dogs were assessed by CT and MRI for comparison of in vivo images with cadaver images. A good correspondence of the canine elbow joint structures was obtained when transparent plastinated anatomical sections were compared with CT and MR images on the same anatomical planes. The consistent correlation allowed a detailed interpretation of joint structures such as the medial coronoid process, the flexor muscles, and the medial and lateral collateral ligaments. Moreover the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles which was not described in previous publications, was identified accurately in this study.

Introduction

Conditions of the elbow joint are often the cause of thoracic limb lameness in dogs.(Cook, 2001) Pathologies that involve soft and bony structures of the elbow joint include flexor enthesopathy,(de Bakker et al., 2011; Lappalainen, 2014) congenital and developmental disorders such as luxation, asynchronous growth and elbow dysplasia.(Cook, 2001) Elbow dysplasia includes four primary lesions: osteochondrosis of the medial humeral condyle, ununited anconeal process, incongruity of articular surfaces and medial coronoid disease (MCD).(Cook and Cook, 2009; Lappalainen, 2014)

Diagnostic imaging is essential to assess the lame patient.(Hoskinson and Tucker, 2001b) Lesions of the canine elbow joint have traditionally been evaluated radiographically,(Cook and Cook, 2009; Scott and Witte, 2011; Smith et al., 2009) and diagnosed frequently based on the presence of secondary bone changes rather than finding a primary lesion, especially in elbow dysplasia.(Burton et al., 2008; de Bakker et al., 2012; Meyer-Lindenberg et al., 2006)

Over time other imaging modalities such as ultrasonography have been proposed as a complementary imaging technique for the assessment of the canine elbow joint,(Knox et al., 2003; Lamb and Wong, 2005; Seyrek-Intas et al., 2009; Villamonte-Chevalier et al., 2015) however its reliability depends largely on the experience of the ultrasonographer and quality and frequency of the equipment.(Smith et al., 2011)

Computed tomography (CT) has been successfully used for the assessment of the canine elbow joint, mainly for detection of bone structures pathologies(Gasch et al., 2012; Gielen, Ingrid and van Bree, 2014; Groth et al., 2009; Reichle and Snaps, 1999; Reichle et al., 2000) and to a lesser extent for soft tissue lesions.(de Bakker et al., 2014b)

In human medicine the elbow joint is commonly assessed by magnetic resonance imaging (MRI).(Kijowski et al., 2004a; Sampath et al., 2013) The great advantage of MRI relies on its ability to assess the entire joint, including articular cartilage, subchondral bone, synovial tissue, and ligaments.(Kijowski et al., 2004a, 2004b; Wang et al., 2012) In veterinary medicine MRI has also been used to detect bone and soft tissue structure pathologies in the canine elbow joint.(de Bakker et al., 2014a; Gabriel et al., 2009)

It is important to accurately assess soft tissue structures such as the collateral ligaments that have an important role in the stability of the joint(de Haan et al., 2011; Farrell et al., 2007; Oliveira et al., 2003); and of the biceps brachii and brachialis muscles of which it has been hypothesized that the mechanical overload associated with their contraction could lead to micro damage or fragmentation of the medial coronoid process. (Hulse et al., 2010)

Descriptive studies of normal canine elbow joints by means of CT(De Rycke et al., 2002) and MRI(Baeumlin et al., 2010) have been presented. Bony and soft tissue structures appearance has been described, however the complete situation of the medial collateral ligament has not been depicted. Moreover the fibrous sheath of the biceps brachialis and brachialis muscles complex has not been described in previous publications. These studies used photographs from anatomical sections, obtained from cadaver joints, as reference for image interpretation; other anatomical techniques(von Hagens et al., 1987) that result in thin transparent anatomical sections and eliminate fat, can be used to accurately correlate and describe soft tissue structures, that were not described.

In order to help the interpretation of the canine elbow joint, this paper intends to present a comprehensive understanding of the bony and soft tissue elements of this joint. Especially the identification of soft tissue structures of the medial compartment of the joint that were not described entirely in previous articles. Using transparent plastinated anatomical sections

could allow the assessment of structures difficult to distinguish only by imaging techniques. The objective of this paper is to present a detailed study of the canine elbow joint by means of a correlation of CT and MR images with transparent plastinated anatomical sections, especially of ligamentous structures of the medial aspect of the joint. To the author's knowledge, no study that involves both CT and MRI assessment of the canine elbow joint and anatomical plastination techniques has been reported previously.

Material and Methods

Animals

The project was carried out in two phases, an "*in vitro*" phase and an "*in vivo*" phase. The animals of the "*in vitro*" phase were obtained from the Murcia University Animal House, where they were humanely euthanized for reasons not related to the current study. The "*in vivo*" animals received humane care in compliance with the Animal and Ethics Committee of the University of Murcia and the European Communities Council Directive (86/609/EEC).

To rule out the presence of any orthopedic pathology, medio-lateral and cranio-caudal radiographs of the elbow joints were performed in all animals of both phases, as suggested by the International Elbow Working Group.(Kirberger, 2014)

The "*in vitro*" phase included ten elbows joints from five cadavers of adult German shepherd cross-breed dogs with a mean bodyweight of 24 Kg (range 22-30 Kg) and a mean age of 30 months (range 14-56 months). Elbow joints were assessed by means of CT and MRI and then used for the anatomical study. In the "*in vivo*" phase, five healthy client-owned adult German Shepherd dogs with a mean weight of 23 kg (range 20-26 kg) (3 male and 2 female) and a

mean age of 24 months (range 16-58 months) were included. Elbow joints were evaluated by CT and MRI after obtaining owner consent. Dogs were anaesthetized to perform other procedures not related with elbow pathologies, using propofol (Rapinovet, Schering-Plough, Comazzo, Italy) in a bolus of 2 mg/kg of body weight administered intravenously and then intubated. Anaesthesia was maintained with isoflurane (IsoFlo, Abbott Laboratories, Abbott Park, IL) and 100% oxygen.

CT

Computed tomography images of elbow joints were obtained with a 2-slice scanner (LightSpeed, General Electric Medical systems, Milwaukee, WI) using 120 kVp, 140 mA and 25 cm FOV parameters. Dogs were positioned in sternal recumbency with both thoracic limbs extended symmetrically cranially and the head pulled out of the gantry to avoid artifacts (Reichle et al., 2000) (Fig 1). Contiguous transverse images 1 mm thick were obtained from the proximal aspect of the olecranon to 2 cm distal to the elbow joint using bone and soft tissue algorithm. DICOM files of each scan were retrieved and analyzed using work-station software*.

MRI

Images of elbow joints were obtained using a HF MRI scanner with a magnetic field strength of 1.5 T. (Signa Excite 1.5 T MR, General Electric medical systems, Milwaukee, WI). Each dog was positioned in left lateral recumbency with the left thoracic limb extended cranially and the head pulled back to the dorsal side. Joints were positioned in a volumetric coil (transmit/receive coil, internal diameter of approximately 20 cm) to achieve an ideal signal-to-noise ratio (SNR). Three-millimeter-thick dorsal oblique and sagittal images were obtained, as well as four-millimeter-thick transverse oblique images extending from the

middle portion of the humerus to 10 cm distal to the elbow joint. T1 and T2-weighted MR sequences were acquired [T1-weighted; 3D T1 FSPGR (Fast spoiled gradient echo); T2-weighted FSE (Fast spin echo); FAT SAT and STIR among others]. Images of all dogs were evaluated using work station software*.

Anatomical technique

Specimens from “*in vitro*” phase were injected with epoxy-mix through the brachial artery into the thoracic limbs, which were then frozen at -70°C for 1 week. Two-millimeter sections were obtained on a high-speed band saw in the dorsal (three joints), dorsal oblique (two joints), sagittal oblique (two joints) and transverse oblique planes (three joints) Anatomical landmarks were the medial and lateral epicondyle of the humerus for the dorsal and dorsal oblique planes; the long axis of the humerus and biceps brachii muscle for the transverse oblique plane; and the olecranon and triceps muscle for the sagittal oblique plane (Fig 2). Sections were plastinated using the E-12 plastination method.(Latorre et al., 2003; von Hagens et al., 1987) Later, anatomical sections were analyzed and compared to the corresponding CT and MR images for the correlation of joint structures.

*(OsiriX Imaging Software, Geneva, Switzerland).(Rosset et al., 2004)

Results

No differences were found between *in vivo* and *in vitro* CT or MR images, except for the appearance of vascular structures in MRI sequences in which were observed as hyperintense linear structures in the “*in vivo*” phase”, whilst in the “*in vitro*” phase were visualized as iso or hypointense linear structures. A good correspondence of the canine elbow joint structures was obtained when plastinated anatomical sections were compared with CT and MR images on the same anatomical planes.

Magnetic resonance imaging showed in all planes of the joint that ligaments and tendons had a low to high signal intensity on both T1-weighted (T1 W) and T2-weighted (T2 W) images (Fig 3A, B, C). Muscles had intermediate signal intensity on T1 W while on T2 W, signal intensity ranged from intermediate to high (Fig 3A, B). A hypointense line was observed surrounding the muscle which corresponded to the muscular fascia. Articular cartilage was visualized in T1 W sequence as isointense layers that covered the low signal intensity of the articular surfaces the subchondral bone of the humerus, radius and ulna. The low signal intensity of the joint fluid helped distinguish one layer of cartilage from the opposing layer. (Fig 3C).

In computed tomographic images obtained with bone window algorithm, cortical bone appeared as a hyperattenuated line which defined the shape of the bone. Subchondral bone was observed as a hyperattenuated linear structure next to the isoattenuated spongy bone of the epiphysis (Fig 3E). In images evaluated with soft tissue window, differentiation between cortical, subchondral and spongy bone was not achieved (Fig 3D). Ligaments and tendons had slightly higher intensity compared to muscles in the soft tissue window; whilst in the bone window these structures appeared as isoattenuated to the muscles (Fig 3E).

Detailed MR and CT results of canine elbow joint are presented in order by ligamentous, tendinous, muscular, bone, vascular and nervous structures:

Medial collateral ligament

The cranial branch of the medial collateral ligament was observed from the medial epicondyle of the humerus to the radial tuberosity in both T1 and T2-weighted dorsal oblique and transverse oblique MR images, as a hypointense linear structure (Fig 4, 5). The caudal branch was visualized on the transversal oblique plane as a horizontal hypointense line that

inserted on the caudal aspect of the radius (Fig 6F-H). During CT image assessment, this ligament was not observed as clearly as in MR images.

Lateral collateral ligament (LCL)

This ligament was identified in T1 and T2-weighted images as a linear hypointense structure on the dorsal oblique plane and on the transverse oblique plane (Fig 6C-H). The cranial branch of the LCL was observed from the lateral epicondyle of the humerus to the radial tuberosity. During the evaluation of CT images it was not possible to clearly identify the lateral collateral ligament.

An increased signal was sometimes visible in the distal attachments of the collateral ligaments.

Tendons of insertion of the brachial and biceps brachii muscles

These tendons were observed in T1 and T2-weighted images as hypo/hyperintense linear structures, which originated from the muscle body and inserted on the radius (Fig 3A, B) and on the ulna (Fig 6, 7). In the dorsal 3D T1 FSPGR MR images, the fibrous sheath of the tendons was observed, in close vicinity to the medial collateral ligament and the brachial artery. This sheath was visualized as an elliptic hypointense structure with the hyperintense tendon of the brachialis muscle within (Fig 4, 5). In the transversal oblique T2 W it was possible to observe the formation of the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles and the insertion of these tendons on the radius and ulna (Fig 6). Computed tomography dorsal oblique images in soft tissue window, showed the presence of hyperattenuated structures in the same locations as in MRI; however a clear identification of these tendons was not possible (Fig 7C).

Triceps brachii muscle

The triceps brachii muscle was observed in sagittal MR images, as an isointense (T1 W) or hyperintense (T2 W) structure surrounded by a hypointense halo which corresponded to the muscular fascia. The tendon of insertion of this muscle was seen as an iso/hypointense broad linear structure that inserted on the olecranon of the ulna (Fig 3A, B, C). Synovial bursa of the tendon of insertion of the triceps brachii muscle was observed as a hyperintense wedge-like structure on the sagittal and the transverse oblique planes. In the CT images assessment, the triceps brachii muscle was observed as an isoattenuated triangular structure in the sagittal plane (Fig 3D, E) and as a rounded isoattenuated structure in the transversal plane. The synovial bursa was not visible in CT images.

Flexor muscles of the carpal joint and digits

Flexor muscles of the carpal joint and digits were observed as isointense spindle-like structures in MRI; the same shape was found in CT assessment with an isoattenuated appearance. Tendons of these muscles were observed in MR images at the medial epicondyle of the humerus as hypo or hyperintense linear structures, in CT images these were not clearly visible (Fig 3A, B, D; 9).

Medial coronoid process (MCP)

The MCP was observed in both T1 and T2-weighted images as a hypointense structure with a shape that varied from triangular to rectangular depending on the level in which it was assessed on the dorsal oblique plane (Fig 4). In the sagittal and transverse oblique planes it was visualized as a pike shaped hypointense structure (Fig 6F-G). The CT evaluation of the MCP resulted in a triangular to rectangular hyperattenuated structure with a hyperattenuated rim which corresponded with the cortical bone (Fig 4).

Lateral coronoid process (LCP)

The LCP was observed as a triangular hypointense structure with a rounded apex on both T1 and T2-weighted images. In the CT images it was visualized as a hyperattenuated structure with the same shape as in MR images (Fig 6G).

Nervous and vascular structures

The brachial artery and vein and the median nerve were localized in close contact to the biceps brachii muscle and humerus in the MRI assessment. Vascular structures were observed as hypointense circular structures on the dorsal oblique plane (Fig 4) and as tubular structures in the sagittal images (Fig 3A, B). In the dorsal oblique image at the level of the distal diaphysis of the humerus the median nerve was visualized as an isointense structure slightly hypointense compared to the surrounding fat located caudally to the biceps brachii muscle, the brachial vein and artery (Fig 8). Distally in the transverse oblique plane at the level of the elbow joint the brachial artery was observed as hyperattenuated, located cranial and medial to the pronator teres muscle and cranial to the biceps brachii and brachialis fibrous sheath and its tendons of insertion (Fig 6A-F). In CT images, these nervous and vascular structures could not be differentiated from other soft tissue structures (Fig 8).

Discussion

Canine elbow joint pathologies can involve soft tissue components such as cases of flexor enthesopathy, or can be associated to bone structures alterations such as incomplete ossification of the humeral condyle or medial coronoid disease, the latter being the most common condition of this joint.(Piola et al., 2012; van Ryssen et al., 2012)

All joints employed in the present study were examined radiographically, and because radiographic signs of medial coronoid disease can be very subtle, special attention was paid for secondary changes, such as ulnar trochlear notch sclerosis (Kirberger, 2014; Smith et al., 2009) and joint arthrosis (Farrell et al., 2014) however, no signs of joint pathology were identified in any of the joints.

This study compared transparent plastinated anatomical section with CT and MR images on the same anatomical planes, in order to assess structures that are not easily observed due to their situation in the canine elbow joint. In our study 2 mm thick anatomical sections differ from the 1 mm thick sections used by Baeumlin and others in 2010. However the plastination process method (Latorre et al., 2003; von Hagens et al., 1987) which involved elimination of fat, provided high quality plastinated anatomical sections with high anatomical detail.

Magnetic resonance images were obtained in the dorsal, dorsal oblique, sagittal and transverse oblique planes in order to mimic the planes of the anatomical sections; when this was not possible to achieve, the plane was obtained by means of 3D T1 FSPGR. Computed tomography images in different planes were obtained through the use of the multiplanar reconstruction tool. A good correspondence between anatomical sections and CT and MR images was obtained. This allowed a successful identification of ligamentous and tendinous structures such as the collateral ligaments, the biceps brachii-brachialis tendons of insertion and the fibrous sheath which is composed by both of these ligamentous structures.

Computed tomography demonstrated an advantage over MRI, which was the capacity of processing thinner slices (1 mm) in a shorter period of time; although MRI had a much higher anatomic detail. Soft tissue structures of the canine elbow joint such as vasculature, nerves, collateral ligaments and tendons of the joint musculature were clearly depicted on the MR images. However, in CT images although it was possible to identify the position of soft

tissues structures, accurate and clear identification was not possible. The previous is due to the lack of contrast among soft tissue structures in CT imaging. Results showed that MRI provided a much higher contrast resolution compared to CT, which was also mentioned by other publication where MRI was found to be a superior imaging technique for observing soft tissues, whereas CT provided better bone resolution.(Soler et al., 2007)

Our findings are consistent with those obtained in other studies.(Baeumlin et al., 2010; Reichle and Snaps, 1999) However, this is the first publication that combines CT, MRI and transparent anatomical plastinated sections of the canine elbow joint, in a single descriptive study. Assessment of CT and MR images with transparent plastinated anatomical sections, allowed a better understanding of the musculoskeletal structures of the canine elbow joint. There were no differences between cadaver and live animals images with the exception of the vascular structures in the MRI study as has been reported in previous studies,(Latorre et al., 2006) nevertheless, having as reference the plastinated anatomical sections an accurate interpretation of vascular and joint structures was conducted. To obtain the most complete image of structures that are partially observed, 3D T1 FSPGR was used in our study. Thus, it was possible to visualize the course of the medial collateral ligament, which was described by parts in a previous publication.(Baeumlin et al., 2010) Other ligamentous structures such as the lateral collateral ligament, the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles and its relationship to surrounding structures were also possible to accurately observe.

Joint space is usually inspected by arthroscopy to evaluate articular cartilage and subchondral bone.(Goldhammer et al., 2010) The present study showed that articular cartilage was visible in the sagittal MR T1 W images as isointense demarcated by the low signal intensity of the subchondral bone and joint fluid. These results agree with the findings of a previous MRI study of the canine elbow joint space,(Janach et al., 2006; Snaps et al., 1998) moreover in

humans it has been stated that MRI has the potential to detect early cartilage changes, as it enables quantitative assessment of articular cartilage noninvasively.(Wang et al., 2012)

In the CT evaluation of the elbow joint it was possible to visualize subchondral bone but not articular cartilage as described in a previous study.(Kramer et al., 2006) Subchondral bone was observed as an iso or slightly hyperattenuated structure, however window display should be taken in consideration. According to an earlier paper,(Tromblee et al., 2007) joints should be evaluated with two different window widths of 3500 and 1500 Hounsfield Units (HU) combined with a window length of 500 HU, in order to avoid missing any lesion. A recent publication(Gendler et al., 2015) reported that CT arthrography of the canine elbow joint is suitable for the assessment of the articular cartilage as it appears well delineated and provides high measurement precision regardless of image plane.

Ligaments and tendons of the canine elbow joint were better assessed in MR images especially in the T1 W sequence, as it has also been described in humans(Kijowski et al., 2004b) and in dogs(De Rycke et al., 2015) in which the ligaments and tendons of the canine shoulder joint were evaluated. In our study the tendinous structures were observed as linear hypointense structures. However, due to the different orientation of the tendons and ligaments, an increased signal was visible in the distal attachments of the collateral ligaments and insertion points of the tendons of the brachialis and biceps brachii muscles. To the author's knowledge, these regions of insertion and attachment and their appearance have not been previously described. Moreover, proximal insertion of the tendons of the flexor muscles had a mixed intensity pattern. This variation in signal intensity can be attributed to the "magic angle" artifact, which occurs when the angle of the tendinous structure approached a 55° angle to the static magnetic field(Busoni and Snaps, 2002; Singh et al., 2014) and should not be confused with laxity,(Busoni and Snaps, 2002) degeneration or tearing of the

tendons.(Singh et al., 2014) Tendons of insertion of the biceps brachii and brachialis muscles were observed in both sagittal and transverse images as described an earlier report.(Baeumlin et al., 2010) Nevertheless, in the present research one of the most relevant findings was that these tendons were also observed on the dorsal and transverse oblique images at the level of the medial collateral ligament. These tendons form a fibrous sheath as described in a previous anatomical study(Villamonte-Chevalier et al., 2012) but to the author's knowledge, this was not reported in MRI before.

The fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles takes its importance as it is formed in part by the biceps brachii and brachialis muscles that insert on the ulna and the medial collateral ligament that inserts on the radius. Other reports(Fitzpatrick and Yeadon, 2009; Hulse et al., 2010) stated that the moment produced by the contraction force of the biceps brachii and the brachialis muscles, rotates the cranio-lateral segment of the MCP against the radial head. This results in a compressive force over the MCP and its consequent lesion. Furthermore, other paper(Williams et al., 2008) reported in a study focused on racing dogs, that the biceps brachii muscle creates its greatest moment of force about the elbow, in extended limb postures such as during stance. For all these reasons we consider that accurate identification of this fibrous sheath in MR and CT images is of great importance, and we are also convinced that such identification could not have been possible without the aid of the transparent plastinated anatomical sections obtained in this paper.

In conclusion, the use of transparent plastinated anatomical sections and its good correlation with CT and MR images led to an accurate identification of bony, muscular, vascular, nervous, ligamentous and tendinous structures of the canine elbow joint. This comparison allowed a definitive and detailed interpretation of the medial collateral ligament and the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles; which are in close vicinity to one

another and have a challenging assessment. This study could be used as reference of the normal appearance of the canine elbow joint for further research and clinical practice when interpreting or comparing MR and CT images of canine elbow joints.

Disclosure

The authors report no financial or other conflicts related to this report.

References

1. Cook JL: Forelimb lameness in the young patient. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2001;31:55–83.
2. de Bakker E, Samoy Y, Gielen I, Van Ryssen B: Medial humeral epicondylar lesions in the canine elbow. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2011;24:9–17.
3. Lappalainen A: Scientific basis for more views and more care for over interpretation. 28th Annu Meet Int Elb Work Gr. Cape Town, SA; 2014;14–17.
4. Cook CR, Cook JL: Diagnostic imaging of canine elbow dysplasia: a review. *Vet Surg.* 2009;38:144–153.
5. Hoskinson JJ, Tucker RL: Diagnostic imaging of lameness in small animals. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2001;31:165–180, vii.
6. Smith TJ, Fitzpatrick N, Evans RB, Peard MJ: Measurement of ulnar subtrochlear sclerosis using a percentage scale in labrador retrievers with minimal radiographic signs of periarticular osteophytosis. *Vet Surg.* 2009;38:199–208.
7. Scott H, Witte P: Investigation of lameness in dogs: 1. Forelimb. *In Pract.* 2011;33:20–27.
8. Burton NJ, Toscano MJ, Barr FJ, Owen MR: Reliability of radiological assessment of ulnar trochlear notch sclerosis in dysplastic canine elbows. *J Small Anim Pract.* 2008;49:572–576.
9. Meyer-Lindenberg a, Fehr M, Nolte I: Co-existence of ununited anconeal process and fragmented medial coronoid process of the ulna in the dog. *J Small Anim Pract.* 2006;47:61–65.

10. de Bakker E, Saunders J, Gielen I, van Bree H, Coppieters E, Van Ryssen B: Radiographic findings of the medial humeral epicondyle in 200 canine elbow joints. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2012;25:359–365.
11. Lamb CR, Wong K: Ultrasonographic anatomy of the canine elbow. *Vet Radiol Ultrasound.* 2005;46:319–325.
12. Knox VW, Sehgal CM, Wood AKW: Correlation of ultrasonographic observations with anatomic features and radiography of the elbow joint in dogs. *Am J Vet Res.* 2003;64:721–726.
13. Villamonte-Chevalier A a, Soler M, Sarria R, Agut A, Gielen I, Latorre R: Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow joint. *Vet Surg.* 2015;44:485–493.
14. Seyrek-Intas D, Michele U, Tacke S, Kramer M, Gerwing M: Accuracy of ultrasonography in detecting fragmentation of the medial coronoid process in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 2009;234:480–485.
15. Smith W, Hackel JG, Goitz HT, Bouffard JA, Nelson AM: Utilization of sonography and a stress device in the assessment of partial tears of the ulnar collateral ligament in throwers. *Int J Sports Phys Ther.* 2011;6:45–50.
16. Reichle JK, Snaps F: The elbow. *Clin Tech Small Anim Pract.* 1999;14:177–186.
17. Reichle JK, Park RD, Bahr a M: Computed tomographic findings of dogs with cubital joint lameness. *Vet Radiol Ultrasound.* 2000;41:125–130.
18. Groth a M, Benigni L, Moores a P, Lamb CR: Spectrum of computed tomographic findings in 58 canine elbows with fragmentation of the medial coronoid process. *J Small Anim Pract.* 2009;50:15–22.
19. Gasch EG, Labruyère JJ, Bardet JF: Computed tomography of ununited anconeal process in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2012;25:498–505.
20. Gielen, Ingrid and van Bree H: Other imaging techniques and their added value to diagnose Elbow Dysplasia. 28th Annu Meet Int Elb Work Gr. Cape Town, SA; 2014;21–23.
21. de Bakker E, Gielen I, van Caelenberg A, van Bree H, van Ryssen B: Computed tomography of canine elbow joints affected by primary and concomitant flexor enthesopathy. *Vet Radiol Ultrasound.* 2014;55:45–55.
22. Kijowski R, Tuite M, Sanford M: Magnetic resonance imaging of the elbow. Part I: normal anatomy, imaging technique, and osseous abnormalities. *Skeletal Radiol.* 2004;33:685–697.
23. Sampath SC, Sampath SC, Bredella M a: Magnetic resonance imaging of the elbow: a structured approach. *Sports Health.* 2013;5:34–49.

24. Wang Y, Wluka AE, Jones G, Ding C, Cicuttini FM: Use magnetic resonance imaging to assess articular cartilage. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2012;4:77–97.
25. Kijowski R, Tuite M, Sanford M: Magnetic resonance imaging of the elbow. Part II: Abnormalities of the ligaments, tendons, and nerves. *Skeletal Radiol.* 2004;34:1–18.
26. Gabriel P, Pfeil A, Ludewig E, Böttcher P, Oechtering G: Magnetic resonance imaging diagnosis: incomplete ossification of the humeral condyle in a German shepherd dog. *J Small Anim Pract.* 2009;50:92–94.
27. de Bakker E, Gielen I, Kromhout K, van Bree H, Van Ryssen B: Magnetic resonance imaging of primary and concomitant flexor enthesopathy in the canine elbow. *Vet Radiol Ultrasound.* 2014;55:56–62.
28. Farrell M, Draffan D, Gemmill T, Mellor D, Carmichael S: In vitro validation of a technique for assessment of canine and feline elbow joint collateral ligament integrity and description of a new method for collateral ligament prosthetic replacement. *Vet Surg.* 2007;36:548–556.
29. Oliveira D, Martinez Baraldi Artoni S, Marcos Orsi A, Roque Rodriguez AI: MORPHOMETRIC STUDY OF THE MEDIAL COLLATERAL AND OBLIQUE LIGAMENTS OF THE ELBOW JOINT OF THE DOG (*Canis familiaris*). *Int J Morphol.* 2003;21.
30. de Haan J, Schep NWL, Eygendaal D, Kleinrensink G-J, Tuinebreijer WE, den Hartog D: Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies. *Open Orthop J.* 2011;5:168–176.
31. Hulse D, Young B, Beale B, Kowaleski M, Vannini R: Relationship of the biceps-brachialis complex to the medial coronoid process of the canine ulna. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2010;23:173–176.
32. De Rycke LM, Gielen IM, van Bree H, Simoens PJ: Computed tomography of the elbow joint in clinically normal dogs. *Am J Vet Res.* 2002;63:1400–1407.
33. Baeumlin Y, De Rycke L, Van Caelenberg A, Van Bree H, Gielen I: Magnetic Resonance Imaging of the Canine Elbow: An Anatomic Study. *Vet Surg.* 2010;39:566–573.
34. von Hagens G, Tiedemann K, Kriz W: The current potential of plastination. *Anat Embryol (Berl).* 1987;175:411–421.
35. Kirberger RM: Radiographic views for Elbow Dysplasia. 28th Annu Meet Int Elb Work Gr. Cape Town, SA; 2014;18–20.
36. Latorre R, Arencibia A, Il FG, et al.: P-40 and S10 Plastinated Slices : An Aid to Interpreting MR Images of the Equine Tarsus. *J Int Soc Plast.* 2003;22:14–22.
37. Rosset A, Spadola L, Ratib O: OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images. *J Digit Imaging.* 2004;17:205–216.

38. Piola V, Posch B, Radke H, Telintelo G, Herrtage ME: Magnetic resonance imaging features of canine incomplete humeral condyle ossification. *Vet Radiol Ultrasound*. 2012;53:560–565.
39. van Ryssen B, de Bakker E, Beaumlin Y, et al.: Primary flexor enthesopathy of the canine elbow: Imaging and arthroscopic findings in eight dogs with discrete radiographic changes. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2012;25:239–245.
40. Farrell M, Heller J, Solano M, Fitzpatrick N, Sparrow T, Kowaleski M: Does radiographic arthrosis correlate with cartilage pathology in Labrador Retrievers affected by medial coronoid process disease? *Vet Surg*. 2014;43:155–165.
41. Soler M, Murciano J, Latorre R, Belda E, Rodríguez MJ, Agut A: Ultrasonographic, computed tomographic and magnetic resonance imaging anatomy of the normal canine stifle joint. *Vet J*. 2007;174:351–361.
42. Latorre R, Arencibia A, Gil F, et al.: Correlation of magnetic resonance images with anatomic features of the equine tarsus. *Am J Vet Res*. 2006;67:756–761.
43. Goldhammer M a, Smith SH, Fitzpatrick N, Clements DN: A comparison of radiographic, arthroscopic and histological measures of articular pathology in the canine elbow joint. *Vet J*. Elsevier Ltd; 2010;186:96–103.
44. Janach KJ, Breit SM, Künzel WFW: Assessment of the geometry of the cubital (elbow) joint of dogs by use of magnetic resonance imaging. *Am J Vet Res*. 2006;67:211–218.
45. Snaps FR, Saunders JH, Park RD, Daenen B, Balligand MH, Dondelinger RF: Comparison of spin echo, gradient echo and fat saturation magnetic resonance imaging sequences for imaging the canine elbow. *Vet Radiol Ultrasound*. Wiley Online Library; 1998;39:518–523.
46. Kramer A, Holsworth IG, Wisner ER, Kass PH, Schulz KS: Computed tomographic evaluation of canine radioulnar incongruence in vivo. *Vet Surg*. 2006;35:24–29.
47. Tromblee TC, Jones JC, Bahr AM, Shires PK, Aref S: Effect of computed tomography display window and image plane on diagnostic certainty for characteristics of dysplastic elbow joints in dogs. *Am J Vet Res*. 2007;68:858–871.
48. Gendler A, Keuler NS, Schaefer SL: Computed tomographic arthrography of the normal canine elbow. *Vet Radiol Ultrasound*. 2015;56:144–152.
49. Rycke LM De, Gielen IM, Dingemans W, Kromhout K, Bree H Van, Ecvs D: Computed Tomographic and Low-Field Magnetic Resonance Arthrography : A Comparison of Techniques For Observing Intra-Articular Structures of the Normal Canine Shoulder. *Vet Surg*. 2015;9999:1–9.
50. Busoni V, Snaps F: Effect of deep digital flexor tendon orientation on magnetic resonance imaging signal intensity in isolated equine limbs-the magic angle effect. *Vet Radiol Ultrasound*. 2002;43:428–430.

51. Singh DR, Chin MSM, Peh WCG: Artifacts in musculoskeletal MR imaging. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2014;18:12–22.
52. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Latorre R: Anatomical study of fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. *Vet Rec.* 2012;171:596.
53. Fitzpatrick N, Yeadon R: Working algorithm for treatment decision making for developmental disease of the medial compartment of the elbow in dogs. *Vet Surg.* 2009;38:285–300.
54. Williams SB, Wilson a. M, Daynes J, Peckham K, Payne RC: Functional anatomy and muscle moment arms of the thoracic limb of an elite sprinting athlete: the racing greyhound (*Canis familiaris*). *J Anat.* 2008;213:373–382.

Figures

FIG 1. Dog positioned in sternal recumbency with both thoracic limbs extended symmetrically cranially and the head pulled out of the gantry to avoid artifacts.



FIG 2. Descriptive representation of planes of transparent anatomical sections on a right canine elbow joint. (A) Dorsal oblique plane. (B) Dorsal plane. (C) Transverse oblique plane. (D) Sagittal oblique plane

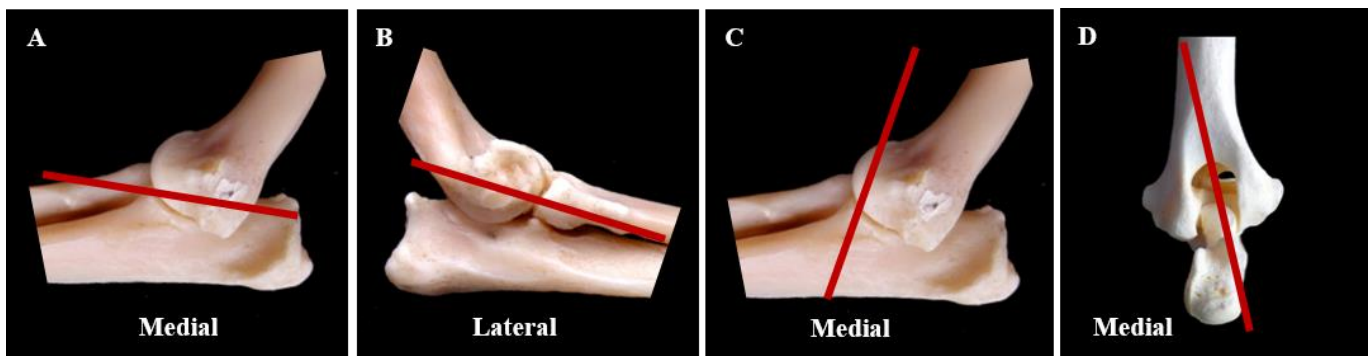


FIG 3. (A) Image of a sagittal T1-weighted sequence on the medial aspect canine elbow joint in which muscles presented an intermediate signal intensity. (B) T2-weighted GE sequence image on the same plane as A, muscle presented a high signal intensity. (C) T1-weighted mid-sagittal image, articular cartilage is observed as an isointense linear structure that covered the articular surface of the humerus, radius and ulna (arrowheads). (D) Computed tomographic image in soft tissue window on the same plane of A and B, detail of soft tissue structures is lower compared to MRI images. E-Computed tomographic mid-sagittal image in bone window, on the same plane of C, detail of soft tissue structures is low; however bone structures are better interpreted. Arrow: origin of the flexor muscles of the carpal joint and digits. Calipers: tendon of insertion of the biceps brachialis muscle (BB); An: anconeus muscle; BA: brachial artery; ECR: extensor carpi radialis muscle PT: pronator teres muscle; FCR: flexor carpi radialis muscle; DF: deep digital flexor muscle; TrM: triceps brachii muscle; TrT: triceps brachii tendon of insertion; H: humerus; R: radius; U: ulna.

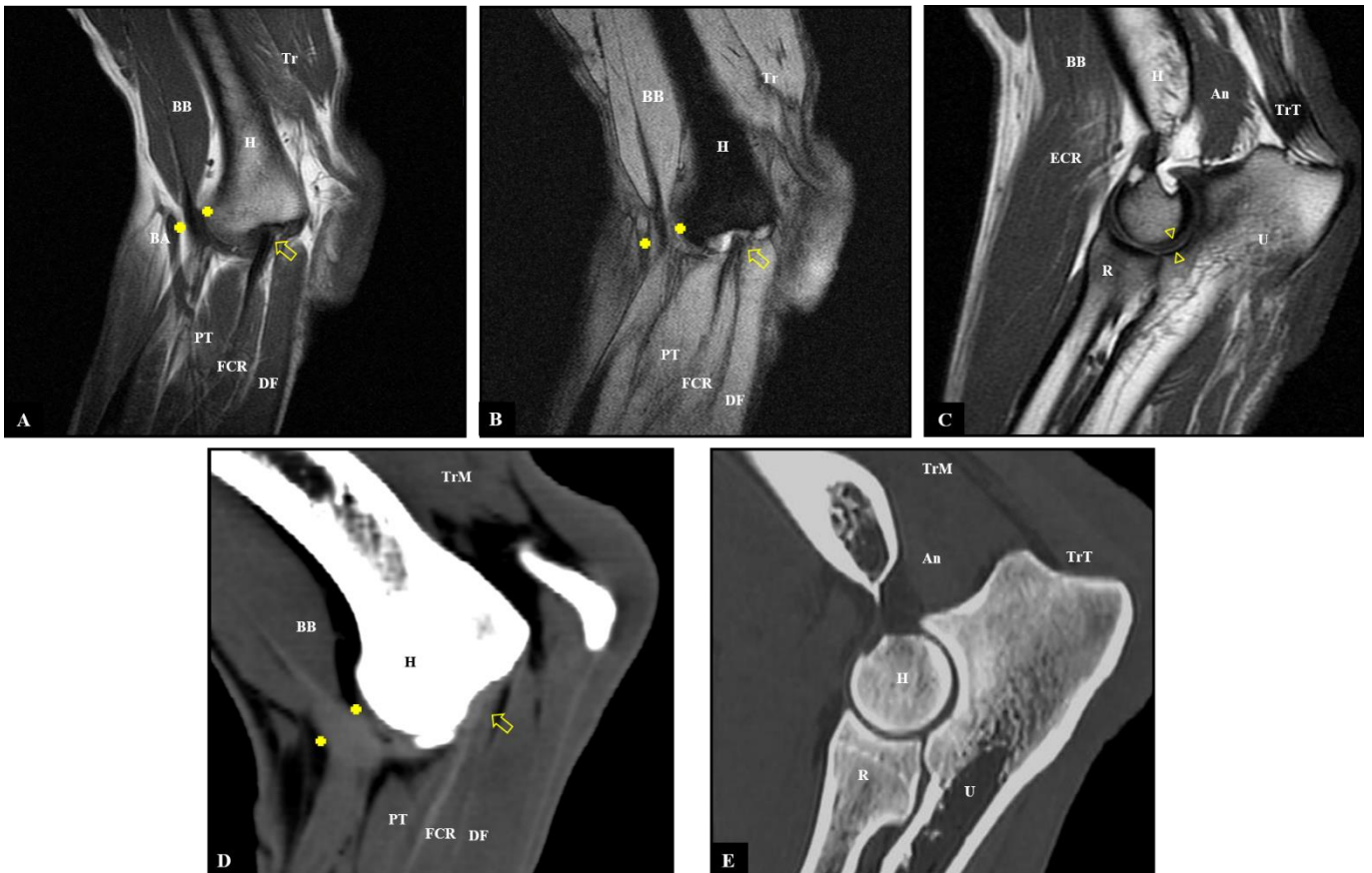


FIG 4. (A) Detail image of a transparent plastinated anatomical section obtained on the dorsal oblique plane of the canine elbow joint. (B) Detail image of a 3D T1-weighted FSPGR sequence of the canine elbow joint on the same plane. Medial collateral ligament is observed as a hypointense linear structure that runs along the medial aspect of the joint from the medial epicondyle of the humerus to the radial tuberosity. Biceps brachialis and brachialis muscles fibrous sheath is also visible. (C) Detail image of a CT soft tissue window image on the same plane. Arrow: medial coronoid process; Arrow heads: medial collateral ligament; Calipers: Fibrous sheath of biceps brachialis and brachialis muscles; BA: brachial artery; H: humerus; R: radius; U: ulna.

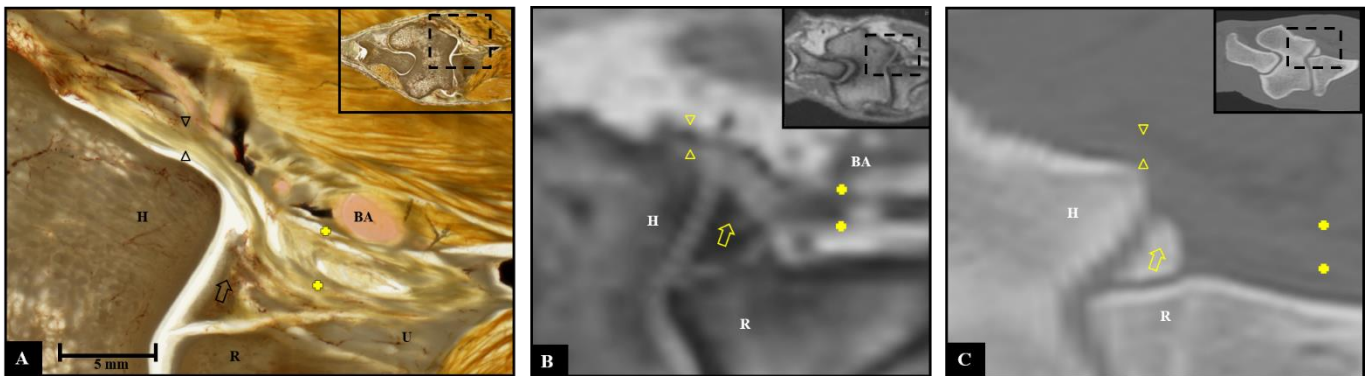


FIG 5. (A) Detail image of a transparent plastinated anatomical section obtained on the dorsal plane of the canine elbow joint. (B) Detail image of a 3D T1 FSPGR sequence of the canine elbow joint on the same plane. Medial collateral ligament is observed as a hypointense linear structure that runs along the medial aspect of the joint from the medial epicondyle of the humerus toward the tendons of insertion of the biceps brachialis and brachialis muscles. (C) Detail image of a CT soft tissue window image on the same plane. Arrow heads: medial collateral ligament; Arrow: tendons of insertion of biceps brachialis and brachialis muscles; Caliper: medial coronoid process; BA: brachial artery BV: brachial vein; PT: pronator teres muscle; FCR: flexor carpi radialis muscle; H: humerus; U: ulna.

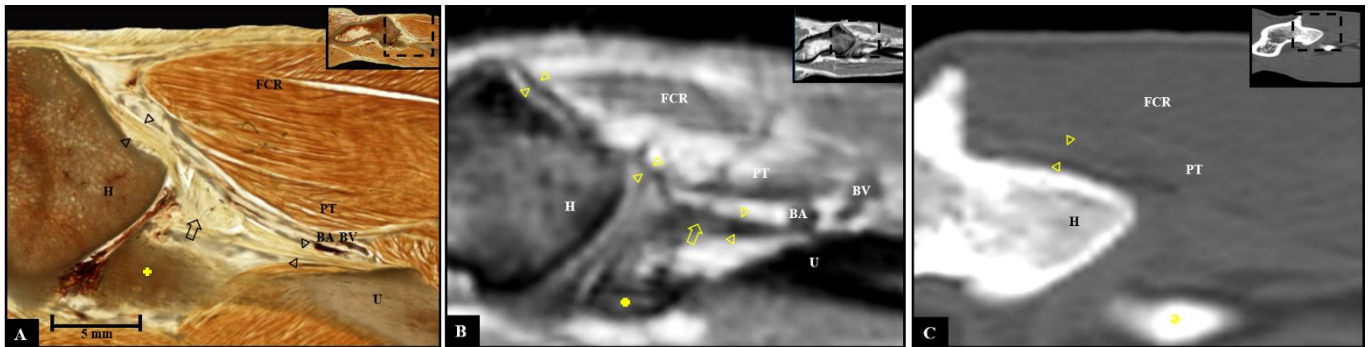


FIG 6. (A) Transparent plastinated anatomical section obtained on the dorsal oblique plane of the canine elbow joint. (B-H) Consecutive images of T2 weighted FSE sequence of the canine elbow joint on a similar oblique plane. Images show the formation of the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles and the insertion of these muscles on the ulna (E-H). The cranial and caudal branches of the medial collateral ligament are observed as a hypointense structures; the caudal branch appears as a horizontal line that attaches on the caudal aspect of the radius (F-H). Arrow: formation of the fibrous sheath of the biceps brachii and brachialis muscles; Hollow arrow heads: caudal branch of the medial collateral ligament; Arrowhead: insertion of the biceps brachii and brachialis muscles on the radius, along with the attachment of the cranial branch of the medial collateral ligament; Circle: medial coronoid process; Caliper: lateral coronoid process; BV: brachial vein; BB: biceps brachii muscle; B: brachialis muscle; PT: pronator teres muscle; ECR: extensor carpi radialis muscle; S: supinator muscle; LCL: lateral collateral ligament; H: humerus; R: radius; U: ulna.

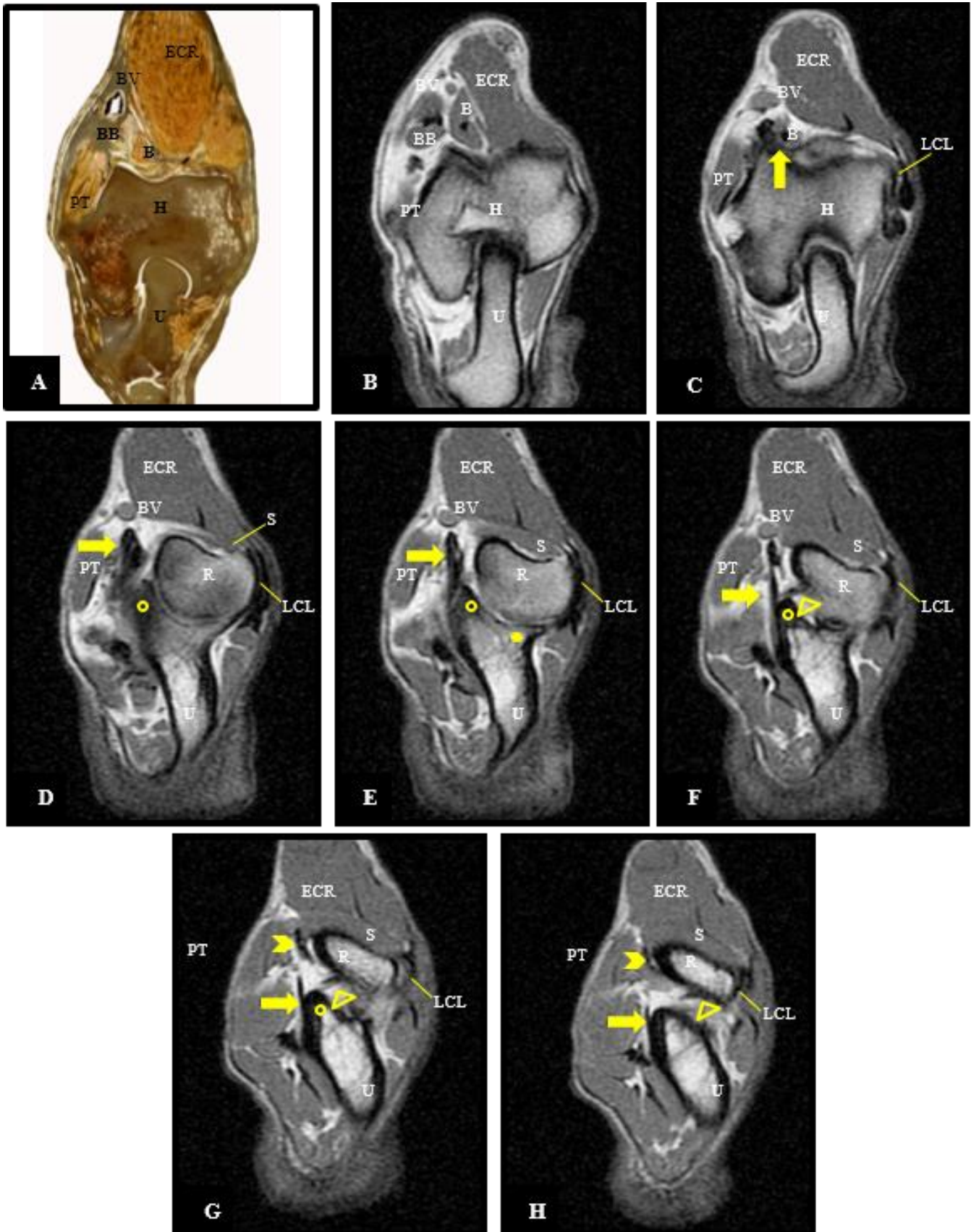


FIG 7. (A) Detail image of a transparent plastinated anatomical section obtained on the transverse oblique plane of the canine elbow joint. (B) Detail image of a transverse oblique T2 weighted FSE sequence of the canine elbow joint on the transverse oblique plane. The biceps brachialis and brachialis muscles tendons of insertion are visible as a hyperintense linear structures. (C) Detail image of a CT soft tissue window image on the same plane. Arrow heads: biceps brachialis muscle tendon of insertion; Calipers: brachialis muscle tendon of insertion; BB: biceps brachialis muscle; B: brachialis muscle; R: radius; U: ulna.

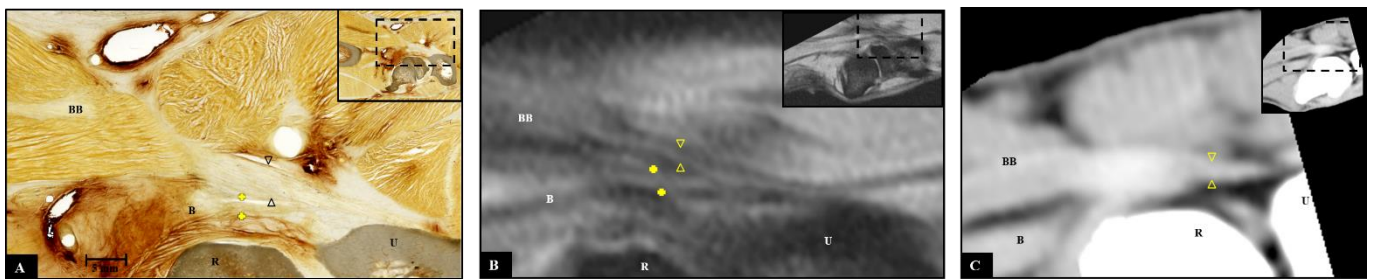


FIG 8. (A) Detail image of a transparent plastinated anatomical section obtained on the dorsal oblique plane of the canine elbow joint. (B) Detail dorsal image of a T2 weighted FSE sequence of the canine elbow joint on the same plane. The median nerve is observed as an iso-intense structure next to brachial artery and brachial vein. (C) Detail image of a CT soft tissue window image on the same plane of B. BB: biceps brachialis muscle; B: brachialis muscle; BA: brachial artery; BV: brachial vein; MN: median nerve; H: humerus.

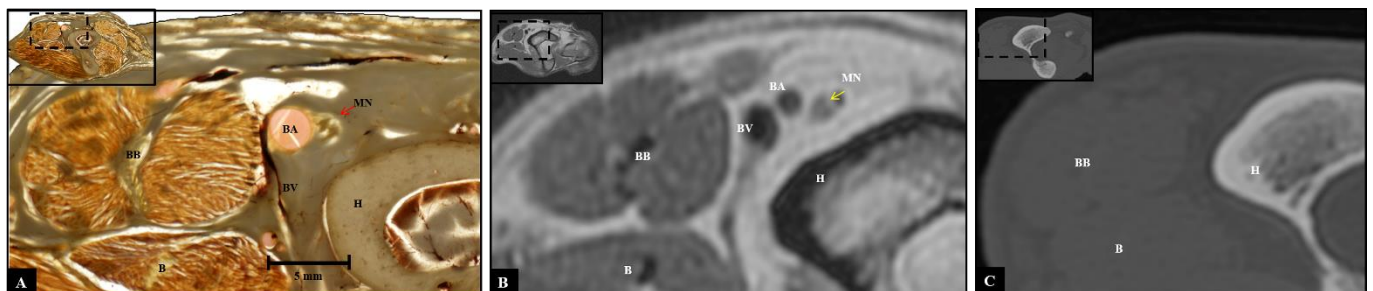
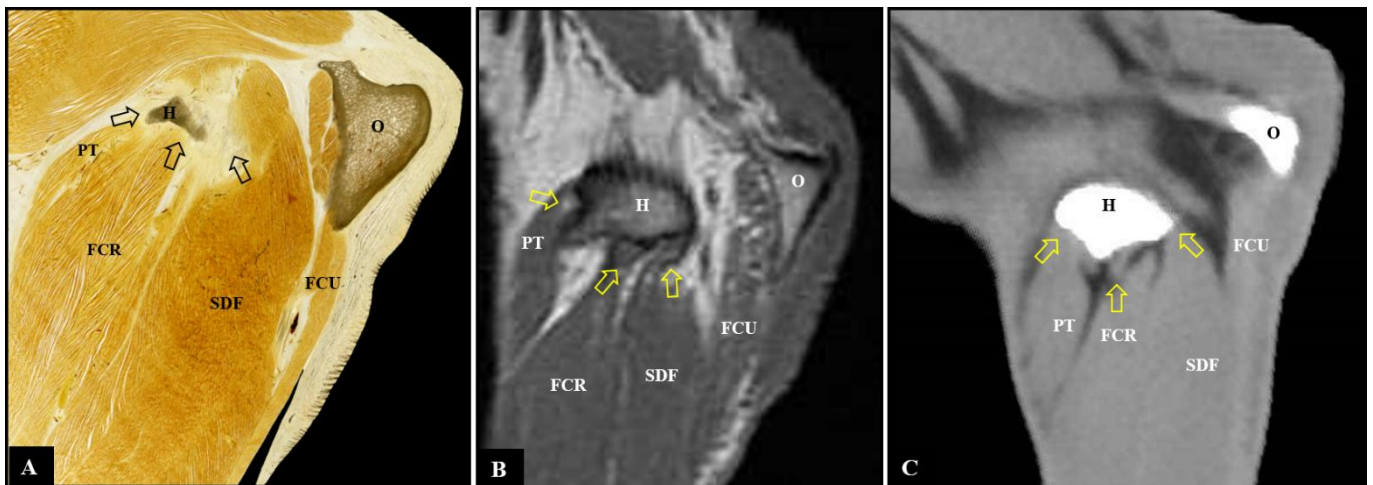


FIG 9. (A) Detail image of a transparent plastinated anatomical section obtained on the sagittal oblique plane of the medial aspect of the canine elbow joint. (B) Image of a 3D T1-weighted FSPGR sequence on the same plane, in which flexor muscles of the carpal joint and digits had an intermediate signal intensity and tendons of origin of these muscles had a higher or lower signal intensity. (C) Computed tomographic image in soft tissue window in the same plane; detail of soft tissue structures is lower compared to MRI images. Arrow: Origin of the flexor muscles of the carpal joint and digits. PT: pronator teres muscle; FCR: flexor carpi radialis muscle; SDF: superficial digital flexor muscle; FCU: flexor carpi ulnaris muscle; H: humerus; O: olecranon.



Trabajos más relevantes del doctorando relacionados con la temática de la Tesis Doctoral

Máster en Técnicas de Diagnóstico en Medicina Veterinaria

Título de la tesis de Máster: Estudio anatómico y ecográfico de la articulación del codo canino

Artículos científicos:

1. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Latorre R: Anatomical study of fibrous structures of the medial aspect of the canine elbow joint. *Vet Rec.* 2012; 171: 596.
2. Villamonte-Chevalier A, Soler M, Sarria R, Agut A, Gielen I, Latorre R: Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow joint. *Vet Surg.* 2015; 44: 485–493.
3. Villamonte-Chevalier A, van Bree H, Broeckx B, et al.: Assessment of medial coronoid disease in 180 canine lame elbow joints: a sensitivity and specificity comparison of radiographic, computed tomographic and arthroscopic findings. *BMC Vet Res.* 2015; 11: 243

Premios: Premio Científico AVEPA Miguel Luera 2013 - Mejor Comunicación Libre

A. Villamonte-Ch, R. Latorre, M. Soler F. Gil, R. Sarria, A. Agut

Título: Anatomic, ultrasonographic, computed tomography and magnetic resonance study of the canine elbow joint

Congreso: AVEPA SEVC 2013

Tipo de participación: Póster

Lugar de celebración: Barcelona, España

Fecha: 17-19 de Octubre de 2013

Comunicaciones a congresos

1. **A. Villamonte-Chevalier**, R. Latorre, F. Gil, M. Soler, A. Agut
Título: Estudio anatómico y ecográfico de la articulación del codo canino
Congreso: AVEPA SEVC 2010
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Barcelona, España
Fecha: 30 de Septiembre a 3 de Octubre 2010
2. **A. Villamonte-Ch**, M. Soler, M. Martínez, A. Ansón, R. Latorre, A. Agut
Título: Hallazgos radiográficos y por tomografía computerizada en la displasia de codo canina
Congreso: AVEPA SEVC 2011
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Barcelona, España
Fecha: 29 de Septiembre a 2 de Octubre 2011
3. **A. Villamonte Ch**, R. Latorre, M. Soler, F. Gil, R. Sarria, A. Agut
Título: Anatomic and ultrasonographic study of the canine elbow
Congreso: European Veterinary Diagnostic Imaging (EVDI) Conference
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: London, UK
Fecha: 31 de Agosto a 3 de Septiembre 2011
4. **A. Villamonte Ch**, M. Soler, R. Sarria, A. Agut, Gil F, R. Latorre
Título: Medial aspect of the canine elbow joint: Anatomical study by plastinated sections
Congreso: Sixteenth International Conference on Plastination
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Beijing and Dalian, China
Fecha: 23-27 Julio 2012
5. **A. Villamonte Ch**, M. Soler, R. Sarria, A. Agut, Gil F, R. Latorre
Título: Estudio Anatómico y Ecográfico de la articulación del codo canino
Congreso: AVEPA SEVC 2012
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Barcelona, España
Fecha: 18-21 de Octubre 2012
6. **Villamonte-Chevalier, A.**; Latorre, R.; Soler, M.; Gil, F.; Sarria, R.; Agut, A.
Título: Ultrasonographic and anatomic study of the canine elbow
Congreso: 14th World Congress of Ultrasound in Medicine and Biology - WFUMB;
16th Congress of the Latin American Federation of Ultrasound - FLAUS; 43rd Sao Paulo Radiological Meeting – JPR; 2013

Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Sao Paulo, Brazil
Fecha: 2-5 de Mayo 2013

7. **A. Villamonte Ch**, R. Latorre, M. Soler F. Gil, R. Sarria, A. Agut
Título: Anatomic, ultrasonographic, computed tomography and magnetic resonance study of the canine elbow joint
Congreso: AVEPA SEVC 2013
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Barcelona, España
Fecha: 17-19 de Octubre 2013

8. **Villamonte-Chevalier, A.**; Latorre, R.; Soler, M.; Gil, F.; Sarria, R.; Agut, A.
Título: Anatomic, ultrasonographic and magnetic resonance study of the canine elbow joint
Congreso: XXX CONGRESS European Association of Veterinary Anatomists (EAVA)
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: Cluj Napoca, Romania
Fecha: 23-26 de Julio 2014

9. **Villamonte-Chevalier, A.**; Latorre, R.; Soler, M.; Gil, F.; Sarria, R.; Agut, A.
Título: Anatomic, ultrasonographic, computed tomography and magnetic resonance study of the medial aspect of the canine elbow joint
Congreso: 17th International conference on plastination
Tipo de participación: Póster
Lugar de Celebración: St. Petersburg, Russia
Fecha: 14-18 de Julio 2014

Estancias realizadas

- Department of Veterinary Medical Imaging and Small Animal Orthopaedics
Ghent University, Ghent, Belgium
Duración: 1-31 Julio 2013 / 1 de Septiembre 2013 a 31 enero 2014
Tema: Técnicas axiales de diagnóstico por imagen, articulación del codo canino.
Investigación y clínica de pequeños animales.