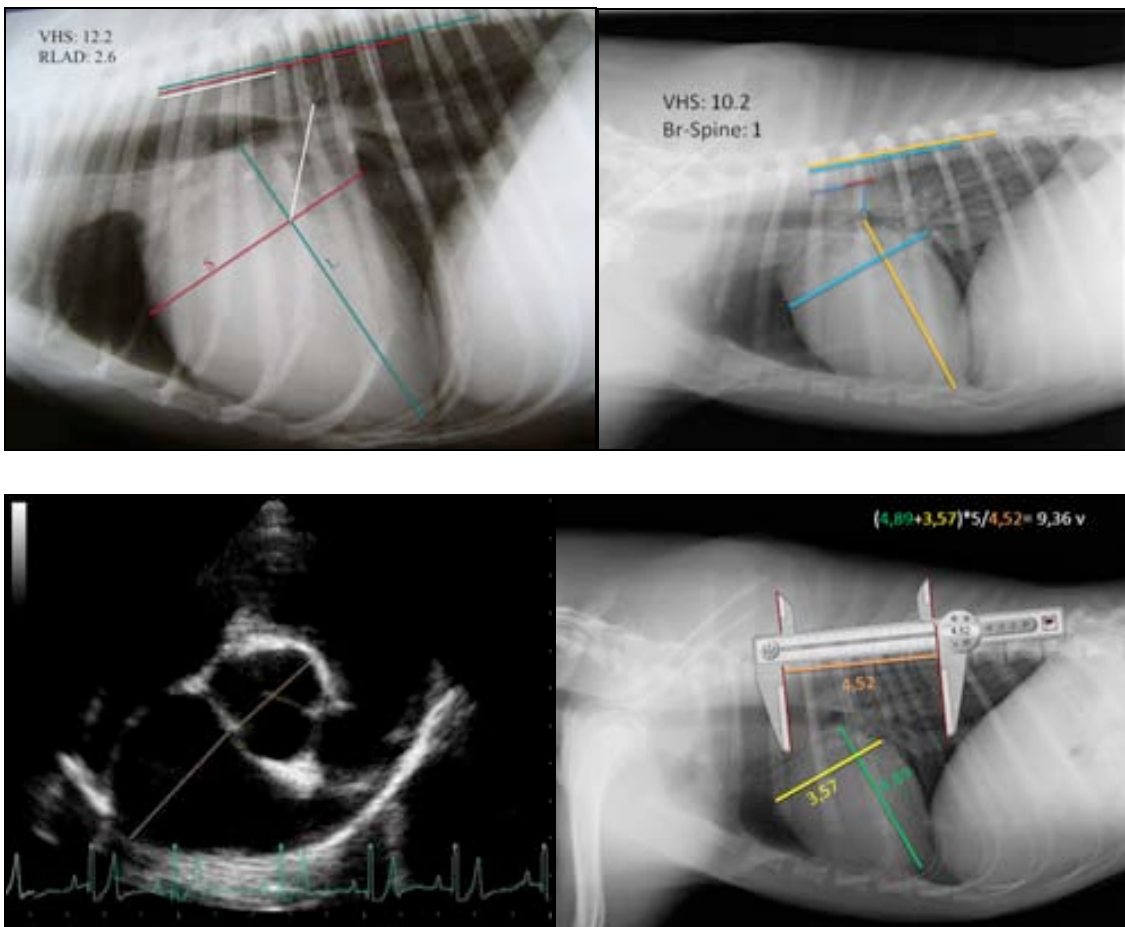


Nuevas medidas radiográficas para la detección del incremento del atrio izquierdo en perros y nuevo método para la obtención del *Vertebral Heart Scale*



Tesis Doctoral

Xavier Sànchez Salguero

Barcelona, 2012

**Nuevas medidas radiográficas para la
detección del incremento del atrio izquierdo
en perros y nuevo método para la obtención
del *Vertebral Heart Scale***

Tesis Doctoral

Xavier Sànchez Salguero

Director: David Prandi Chevalier

Departamento de Medicina y Cirugía Animales

Facultad de Veterinaria

Universidad Autónoma de Barcelona

Julio del 2012



Universitat Autònoma de Barcelona

DAVID PRANDI CHEVALIER, Profesor Titular del Área de Conocimiento de Medicina y Cirugía Animales de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona,

INFORMA:

Que la memoria titulada “NUEVAS MEDIDAS RADIOGRÁFICAS PARA LA DETECCIÓN DEL INCREMENTO DEL ATRIO IZQUIERDO EN PERROS Y NUEVO MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL *VERTEBRAL HEART SCALE*” presentada por XAVIER SÀNCHEZ SALGUERO para optar al grado de Doctor, ha sido realizada bajo mi dirección y, considerándola finalizada, autorizo su presentación para que ésta sea juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste, firmo el presente informe.

Bellaterra, 23 de Julio de 2012.

CITAS

“Toda pulgada cúbica de espacio es un milagro”

“No dejes que termine el día sin haber crecido un poco, sin haber sido feliz, sin haber aumentado tus sueños. No te dejes vencer por el desaliento. No permitas que nadie te quite el derecho a expresarte, que es casi un deber. No abandones las ansias de hacer de tu vida algo extraordinario”

“La fe es el antiséptico del alma”

Walt Whitman

"Antes de empezar a leer, siempre hay un momento de vacilación en que me pregunto: ¿pasará hoy? No lo sé; nunca lo sé de antemano y en el fondo me es igual. Es la esperanza lo que me impulsa a seguir, no hay garantías, como si se tratara de una apuesta. Podéis llamarme soñador, ingenuo, o cualquier otra cosa por el estilo, pero estoy convencido de que todo es posible.”

“*El Cuaderno de Noah*” de **Nicholas Sparks**

AGRADECIMIENTOS

A David, mi director, por su ayuda, paciencia, predisposición, por los buenos ratos, por las risas, por su humor, por su apoyo incondicional durante toda la tesis y por hacerla más llevadera. Por ser más que un director, gracias tito Prandi!

A Oriol, por su tiempo, por sus ideas, por sus propuestas, su material y sus consejos. Por hacer posible el nacimiento de la *Radiographic Left Atrial Dimension (RLAD)*, por sus instrucciones y por su ímpetu en trabajar de forma correcta. Por su pasión por la ciencia, gracias por haberme transmitido todo esto.

A Francisco, por sus charlas iniciales, por haberme permitido conocerle, por sus consejos profesionales y personales, por su incorporación al equipo, por su interés, por su tiempo, sus ideas y su apoyo. Por estar siempre cerca, aún estando en Inglaterra.

A Llorenç y Ana, por su accesibilidad, por sus cálculos, por sus planteamientos y procedimientos estadísticos, por sus explicaciones y por formar parte de este equipo.

A Yvonne y a Eli, por su colaboración, su tiempo y su disponibilidad. ¡Gracias a las chicas de imagen!.

A Rafi, por sus consejos, recomendaciones y propuestas.

A todo el personal del Hospital Clínico Veterinario de Bellaterra, de la Clínica Veterinaria Gran Sasso, de la Clínica Betúlia, de la Clínica Survet Diagonal y del Centro Comarcal de Atención de Animales de Compañía del Barcelonés.

A todos los propietarios de los perros utilizados en este estudio.

A todos los perros, especialmente a aquellos que tienen el corazón demasiado grande, por haber formado parte de mi tesis, por su colaboración y paciencia canina. Especial agradecimiento a Lili, por su infinita bondad y por haberme permitido aprender ecocardiografía con ella.

A todos los alumnos de las cinco promociones a las que he tenido el placer de dar seminarios; habéis sido los mejores alumnos posibles. Muchos de vosotros no sólo habéis sido alumnos sino también amigos. Vosotros me habéis descubierto mi amor por la docencia.

A mis compañeros de Máster, que empezaron el viaje conmigo para después seguir cada uno de nosotros su ruta particular. ¡Besos y abrazos para esos doctores y doctoras!

A mis amigos y amigas de siempre: Marc, Dani, Omar, Mario, Edu, Ninu, Bernat, Laurita, Fer, Pere, Danilo, Mamen, Ares, María...por serlo, por esos ratos de diversión, por sus abrazos, por sus ánimos, sus charlas, por estar a mi lado de forma incondicional. A mis nuevos amigos y amigas: Anna, Marina, Marc, Dani, Iris, Martí, Nil y toda la gente de Sabadell, Víctor, Aleix y toda la gente de la promoción del 2007-2012.

A Núria, por haber aparecido. Por su bella sonrisa, por brillar con luz propia y hacernos brillar a los demás. Por sus ánimos, sus consejos, sus miradas de complicidad. Por esos ratos en los que hemos compartido esta tesis, pero también por todos los demás. Ha sido un placer conocerte. Tú eres una de mis grandes razones.

A mis padres, gracias por vuestro apoyo, por vuestra confianza, por vuestro ánimo, por vuestro amor, por vuestros consejos, charlas, abrazos, por ser como sois. Es un gran orgullo, para mí, ser vuestro hijo. A mi hermana y cuñado, por vuestra pasión por los perros, por las sobremesas, por las carcajadas, por vuestras dudas veterinarias, por vuestras recomendaciones. ¡Gracias al cuñado más “soffing” y a la doctora más química del mundo! A mis abuelos por ser los abuelos más cariñosos y entrañables de la historia de la humanidad, por su aprecio, por su bondad, por su estima. A mis primos y primas por ser una perfecta combinación de amistad y familia. A mis tíos y tías por empujarme a seguir adelante, por sus visitas, por su alegría y sus consejos. A mi familia, a quienes seguís aquí y a quienes nos dejaron, sin vosotros no sería como soy ni quien soy. Simplemente os lo debo todo, ¡os quiero!

A todos vosotros, muchas gracias por hacer posible este trabajo.

ÍNDICE

ABREVIATURAS	9
1. RESUMEN	11
2. INTRODUCCIÓN	15
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Radiología Torácica.....	21
3.1.1 Principios básicos de la radiología torácica.....	21
3.1.2 Técnica radiográfica.....	22
3.1.3 Proyecciones radiográficas.....	22
3.1.4 Requisitos previos para la evaluación de las radiografías de tórax.....	24
3.2 Radiología Cardíaca.....	26
3.2.1 Anatomía radiográfica normal del corazón.....	26
3.2.2 Criterios radiológicos subjetivos para valorar cardiomegalia y técnicas radiográficas para valorar la silueta cardíaca.....	27
3.2.3 Criterio radiológico objetivo para valorar cardiomegalia: <i>Vertebral Heart Scale (VHS)</i>	32
3.3 Ecocardiografía.....	35
3.3.1 Proyecciones o cortes ecocardiográficos	36
3.3.2 Medida ecocardiográfica: la ratio <i>LA/Ao</i>	41
3.4 Comparación de la radiología y la ecocardiografía para la detección de incrementos del atrio izquierdo.....	44
3.5 Resonancia magnética cardíaca.....	46
4. OBJETIVOS	49

5. ESTUDIOS	53
5.1 Estudio 1: A radiographic measurement of left atrial size in dogs.....	55
5.2 Estudio 2: Heart to spine measurements to detect left atrial enlargement in dogs with mitral insufficiency.....	81
5.3 Estudio 3: A new method of computing the Vertebral Heart Scale by means of direct standardization.....	105
6. DISCUSIÓN GENERAL	129
7. CONCLUSIONES	137
8. BIBLIOGRAFÍA	141

ABREVIATURAS

Ao: aorta

AUC: area under the curve

Br-Spine (Bronchus-Spine): distancia entre la carina y la columna

CBC: complete blood count

CVC: caudal vena cava/vena cava caudal

DV: dorsoventral

HE: heart enlargement

kV: kilovoltaje

L: *long axis of Vertebral Heart Size/eje cardiaco mayor del VHS*

LA: left atrium

LAE: left atrial enlargement

LA-VHS: Left Atrial-VHS

mAs: miliamperaje x tiempo

Modo B: modo bidimensional

Modo M: modo monodimensional

MVD: mitral valve disease

Ratio LA/Ao: relación entre el diámetro de la aorta y el tamaño del atrio izquierdo

RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension

RLAD-Spine: distancia entre el atrio izquierdo y la columna

RMc: resonancia magnética cardiaca

ROC: Receiver Operating Characteristic

RPS: right parasternal/paraesternal derecha

S: *short axis of Vertebral Heart Size/eje cardiaco menor del VHS*

T: vértebra torácica

T4: *4th thoracic vertebra*

TTE: transthoracic echocardiographic examination

v: *vertebral body length/vértebras*

VD: ventrodorsal

VHS: Vertebral Heart Scale o Vertebral Heart Size

Δ : velocidad de incremento

1. RESUMEN

1. RESUMEN

La radiología es una herramienta útil en la detección de patologías cardíacas caninas, especialmente cuando éstas afectan al lado izquierdo del corazón (atrio izquierdo). En la actualidad, el criterio radiográfico más objetivo para detectar cardiomegalia es el *Vertebral Heart Scale* o *Vertebral Heart Size (VHS)*; sin embargo, éste únicamente permite concluir si existe o no cardiomegalia, sin precisar qué cámara está incrementada. La patología cardíaca más frecuente en el perro es la insuficiencia de la válvula mitral, que produce incrementos de atrio izquierdo visibles radiográficamente.

Los objetivos del presente estudio han sido, en primer lugar, proponer nuevas medidas radiográficas que permitan detectar de forma precisa los incrementos del atrio izquierdo en el perro: dimensión radiográfica del atrio izquierdo o *Radiographic Left Atrial Dimension (RLAD)*, distancia entre el atrio izquierdo y la columna (*RLAD-Spine*) y la distancia entre la carina y la columna o *Bronchus-Spine (Br-Spine)*. Para ello, se evaluó la utilidad clínica de estas medidas para detectar el incremento del atrio izquierdo en el perro y se estudió la correlación de todas ellas con el *VHS* y con el criterio ecocardiográfico más fiable para la detección del incremento del atrio izquierdo, la ratio *LA/Ao*, que es la relación entre el diámetro de la aorta y el tamaño del atrio izquierdo (ratio *LA/Ao*). También se estudió la correlación de las nuevas medidas radiográficas entre sí.

En segundo lugar, se propuso una nueva metodología para la obtención del *VHS* para fomentar su uso en la práctica clínica y su adaptación a la radiología digital (*VHS Objetivo* u *Objective VHS*). Para ello, se comparó la nueva metodología, basada en una fórmula matemática, con la metodología original (*VHS* de Buchanan o *Buchanan VHS*).

Se utilizaron 77 perros, 46 con incremento de atrio izquierdo y 31 sin él, para el estudio de la *RLAD*; 50 perros, 25 con incremento de atrio izquierdo y 25 sin él, para el estudio del *Br-Spine* y *RLAD-Spine*; y 42 perros (14 perros sanos y 28 perros con insuficiencia mitral) para el estudio del *Objective VHS*. Se llevaron a cabo evaluaciones clínicas completas incluyendo examen físico, hemograma y bioquímica y se realizaron estudios radiográficos torácicos y exámenes ecocardiográficos completos a todos los perros.

En el estudio de la *RLAD*, la correlación más alta se obtuvo entre la *RLAD* y la ratio *LA/Ao* (0.84). La sensibilidad y especificidad de la *RLAD* para la detección de

incrementos de atrio izquierdo fue de 93.5% y 96.8%, respectivamente. La sensibilidad y especificidad del *VHS* para detectar incrementos de atrio izquierdo fueron de 76.1% y 93.5%, respectivamente.

En el estudio del *Br-Spine* y la *RLAD-Spine*, las correlaciones más altas se obtuvieron entre *RLAD-Spine* y *Br-Spine* y entre *RLAD* y ratio *LA/Ao* (0.88 en ambos casos).

Las sensibilidades del *Br-Spine* y la *RLAD-Spine* para detectar incrementos de atrio izquierdo fueron 32% y 64%, respectivamente. *RLAD*, *Br-Spine* y *RLAD-Spine* mostraron la misma especificidad para detectar incrementos de atrio izquierdo (96%).

En el estudio del *VHS* Objetivo, no se hallaron diferencias significativas entre los resultados de éste y los del *VHS* de Buchanan, obteniéndose una correlación de 0.99 ($p < 0.0001$) entre ambas metodologías. El uso de la estandarización directa basada en una conversión de unidades nos permite obtener valores del *VHS* Objetivo sin necesidad de transponer las medidas de los ejes cardiacos mayor (L) y menor (S) al inicio del cuerpo vertebral de la cuarta vértebra torácica (T4). Proporcionando a los clínicos una descripción precisa de cómo medir L, S y la distancia entre el límite craneal del cuerpo vertebral de T4 y el límite caudal del cuerpo vertebral de T8, mediante la fórmula de estandarización directa, disminuiría la variabilidad en la cuantificación de los valores del *VHS*. Además, esta medida se podría obtener más rápidamente utilizando equipos de radiología digital y una versión digital de la fórmula.

Por lo tanto, la nueva medida radiográfica denominada *RLAD* presentó una mayor sensibilidad que las otras medidas para detectar los incrementos del atrio izquierdo. La *RLAD* presentó mayor correlación con la ratio *LA/Ao* y se propuso, para esta nueva medida, el valor de corte de 1.8 cuerpos vertebrales. Esta nueva medida proporciona a los clínicos una herramienta útil y económica para detectar los incrementos del atrio izquierdo radiográficamente. El *Br-Spine* y la *RLAD-Spine* son nuevas medidas radiográficas para detectar y cuantificar objetivamente los incrementos del atrio izquierdo; sin embargo, siendo ambas igual de específicas que la *RLAD*, resultan menos sensibles que esta última. Se podrían pues considerar como medidas alternativas de la *RLAD* cuando ésta resulte difícil de obtener.

2. INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ecocardiografía ha suplantado a la radiología en la detección de incrementos de tamaño del corazón en el perro, excepto en los casos en que estos incrementos afecten al atrio izquierdo. En estas circunstancias, la radiología es igual de fiable que la ecocardiografía.

La radiología nos aporta una visión general del corazón, de los grandes vasos, de los vasos pulmonares y las posibles consecuencias pulmonares derivadas de la patología cardiaca. Sigue siendo pues una herramienta útil para una evaluación inicial del corazón y para confirmar/descartar la presencia de congestión venosa.

Disponemos de una serie de criterios radiográficos subjetivos para la valoración de la silueta cardiaca, de los cuales, el más objetivo es el *Vertebral Heart Scale (VHS)*. Este parámetro nos permite detectar incrementos generalizados del corazón sin poder diferenciar qué parte del corazón está incrementada.

La ecocardiografía es una herramienta que puede evaluar de manera más objetiva que la radiología las diferentes cámaras del corazón, ya que nos proporciona secuencias de vídeo dinámicas y la posibilidad de medir el tamaño de las diferentes partes del corazón en distintos momentos del ciclo cardiaco. Nos aporta información no sólo estructural sino también hemodinámica. Sin embargo, esta técnica, no está libre de factores condicionantes en el momento de interpretar los resultados obtenidos. Muchos parámetros ecocardiográficos dependen del peso del animal. Una de las excepciones es la ratio entre las dimensiones del atrio izquierdo y la aorta (ratio *LA/Ao*). Esta medida nos permite detectar de forma precisa los incrementos del atrio izquierdo, independientemente del peso o tamaño del animal.

La insuficiencia crónica de la válvula mitral es la enfermedad cardiaca más frecuente en los perros y se caracteriza por la formación de nódulos diminutos sobre los bordes libres de la válvula que provocan un engrosamiento de las hojuelas valvulares. A medida que progresan las lesiones, se observa deformación y debilidad de la válvula y sus cuerdas tendinosas, lo que conlleva a una regurgitación valvular y a la dilatación del atrio, anillo valvular y ventrículo adyacentes. Esta dilatación del atrio izquierdo puede detectarse radiológicamente mediante el *VHS* (cardiomegalia) y, ecocardiográficamente, mediante la ratio *LA/Ao* (incremento de atrio izquierdo). Sin embargo, hasta la fecha, no

disponemos de ninguna medida radiográfica objetiva que nos permita detectar incrementos concretos de las distintas cámaras cardiacas.

Basándonos en que la patología cardiaca más frecuente en perros provoca incrementos del atrio izquierdo, así como en que la radiología cardiaca es más fiable para detectar incrementos del lado izquierdo del corazón, y en la ausencia de medidas radiográficas que permitan detectar incrementos concretos de cámaras cardiacas, este estudio pretende evaluar la utilidad de nuevas medidas radiográficas para la detección de incrementos de atrio izquierdo y simplificar la metodología de obtención del criterio radiográfico más objetivo para valorar cardiomegalia, el *VHS*.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 RADIOLOGÍA TORÁCICA

La **radiología torácica** es una herramienta esencial para el estudio de patologías torácicas y sistémicas. La radiología sigue siendo una herramienta diagnóstica frecuente para el estudio del tórax debido a los siguientes factores: eficiencia coste-tiempo; equipos fácilmente disponibles; facilidad de uso; frecuentemente no requiere de anestesia general; técnica no invasiva y que causa relativamente poco estrés al paciente.

A pesar de que la radiografía es fácil de realizar, es necesaria una técnica cuidadosa para asegurar la obtención de imágenes de alta calidad. Una técnica incorrecta es una causa frecuente de error o de diagnóstico incompleto (Rudorf *et al.*, 2008).

Aunque las radiografías torácicas son fáciles de obtener, el tórax sigue siendo una región difícil de interpretar, debido a: los efectos de la superposición; la amplia gama de normalidad anatómica y variaciones fisiológicas; la amplia superposición de características radiológicas de procesos fisiológicos y patológicos; las características de imagen similares para diferentes enfermedades, y finalmente, la falta de confirmación por otras pruebas no invasivas.

3.1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA RADIOLOGÍA TORÁCICA

Indicaciones:

La radiología torácica está indicada bien para la evaluación de la enfermedad intratorácica bien para la detección y evaluación de la enfermedad sistémica (Rudorf *et al.*, 2008). En general, la radiología torácica identifica: la presencia de una enfermedad; la localización de la misma; el tipo de lesión y su alcance; proporciona una lista de posibles diagnósticos diferenciales; propone procedimientos adicionales y documenta el desarrollo y el curso de una lesión.

La sujeción y la preparación del paciente

Los animales que se presentan para la radiología de tórax a menudo presentan miedo, dolor, disnea o combinaciones de las situaciones mencionadas. Con manipulación cuidadosa y tranquilidad verbal la mayoría de los pacientes pueden ser sujetados con una combinación de ayudas de posicionamiento (sacos de arena, cuñas de espuma, corbatas y cintas) y sedación (Rudorf *et al.*, 2008).

La *sedación* está altamente recomendada para la radiología torácica, a menos que esté contraindicada por el estado clínico del paciente.

La *anestesia* no es necesaria para un procedimiento radiográfico estándar. Los cambios inducidos por la anestesia como la atelectasia, dificultan la interpretación y por lo tanto, es aconsejable evitar la anestesia general en la obtención de radiografías torácicas. Sin embargo, puede ser necesaria en pacientes en los que es difícil obtener radiografías de calidad diagnóstica para evitar diagnósticos radiográficos erróneos.

3.1.2 TÉCNICA RADIOGRÁFICA

- Pantallas intensificadoras:

Las pantallas disminuyen la dosis de rayos X a la que se somete al paciente debido a su capacidad de convertir algunos fotones absorbidos de rayos X en muchos fotones de luz. Las pantallas permiten el uso de tiempos de exposición cortos y de esta manera se reducen los artefactos por movimiento. Para equilibrar la velocidad y grabado del detalle, se debe utilizar una pantalla de velocidad media.

- Exposición:

Es recomendable el uso de un gráfico de la exposición para optimizar el resultado de la radiografía. Los principios generales para la radiografía torácica son los siguientes:

- Alto kilovoltaje (kV)
- Bajo miliamperaje x tiempo (mAs)

- Inspiración/Espiración:

La exposición en general, debe hacerse al final de la fase inspiratoria, cuando los pulmones están completamente expandidos. Las radiografías tomadas al final de la espiración muestran una opacidad pulmonar que se aproxima a la de un infiltrado patológico.

3.1.3 PROYECCIONES RADIOGRÁFICAS

Una evaluación radiográfica completa de todos los órganos torácicos, pero en particular de los pulmones, requiere de tres proyecciones: dos laterales opuestas y una ventrodorsal (VD) o dorsoventral (DV). La elección de una única proyección puede ser apropiada si el estado clínico del paciente no permite hacer un estudio completo (Rudorf *et al.*, 2008).

Las proyecciones normalmente empleadas en radiología cardíaca son la proyección lateral derecha y la DV.

Las **proyecciones laterales derecha e izquierda** son distintas y proporcionan diferente información, por lo tanto deberían obtenerse ambas. Sin embargo, si el examen se limita a una sola proyección lateral, entonces la proyección lateral derecha es la preferible porque:

- El diafragma oculta menos el campo pulmonar caudodorsal.
- El corazón está en una posición más constante debido a la escotadura cardiaca de los pulmones en el lado derecho.

Para obtener estas proyecciones laterales, la técnica es la siguiente:

1. Colocar al animal en decúbito lateral derecho o izquierdo.
2. Tirar suavemente de las extremidades anteriores hacia adelante y mantenerlas en su lugar con bolsas de arena o lazos para evitar la superposición del músculo tríceps sobre los lóbulos craneales del pulmón.
3. Extender suavemente la cabeza y el cuello para evitar la variación de posición de la tráquea.
4. El esternón y las vértebras deberían estar en un mismo plano. Esto puede lograrse mediante la colocación de una cuña de espuma debajo del esternón para elevarlo al nivel requerido.
5. Centrar el haz de rayos X en la parte caudal de la escápula.
6. La colimación debe incluir, cranealmente, la entrada torácica y, caudalmente, el diafragma en su conjunto (incluyendo parte del hígado). Ventralmente debe incluirse el esternón y dorsalmente la columna vertebral.
7. Incluir un marcador de posición (a la derecha o a la izquierda) en la zona colimada.

Proyecciones dorsoventrales y ventrodorsales: raramente son necesarias ambas proyecciones, pero cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. En las proyecciones dorsoventrales la silueta cardiaca queda representada de forma más constante, está menos magnificada, y las arterias y venas pulmonares caudales son más fáciles de identificar ya que están rodeadas de campo pulmonar lleno de aire; esta proyección es preferible en los animales que sufren enfermedad cardiaca. Las proyecciones ventrodorsales se consideran generalmente más útiles para la evaluación del parénquima pulmonar.

Uno de los aspectos técnicos más importantes en las proyecciones ventrodorsales y dorsoventrales es obtenerlas sin rotación. En animales sedados, sin sujeción manual,

suele ser a menudo más fácil obtener una proyección dorsoventral (decúbito esternal natural). Es importante remarcar que la proyección dorsoventral es siempre preferible en animales con problemas respiratorios ya que se trata de una posición fisiológica para el animal porque permite:

- La expansión completa de la caja torácica durante la inspiración.
- El posicionamiento de los codos lejos del tórax.
- La extensión del cuello que permite que el aire fluya sin problemas por la tráquea.

Para obtener la proyección DV, la técnica es la siguiente:

1. Colocar al animal en decúbito esternal con los codos a cada lado del pecho y las extremidades posteriores en flexión, dando lugar a una posición de esfinge.
2. Utilizar un bloque de espuma delgado debajo del esternón, en razas de tórax estrecho.
3. Asegurarse de que el esternón y las vértebras están superpuestos.
4. Extender suavemente el cuello y el resto del cuerpo.
5. Centrar el haz de rayos X entre las escápulas y su parte caudal.
6. La colimación debe incluir, cranealmente, la entrada torácica, y caudalmente, el diafragma y el abdomen craneal.
7. Incluir un marcador de posición (a la derecha o a la izquierda) en la zona colimada.

3.1.4 REQUISITOS PREVIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS RADIOGRAFÍAS DE TÓRAX

La interpretación de las radiografías de tórax no es una tarea fácil, incluso para un radiólogo con experiencia. El mejor enfoque es adoptar una metodología rutinaria para interpretarlas.

El interpretar las radiografías sin el conocimiento previo de la historia clínica del paciente siempre que sea posible es útil puesto que ayuda a evitar sesgos o predisposiciones y permite mantener la mente abierta en cuanto a las anomalías radiográficas que puedan estar presentes. Posteriormente, es conveniente revisar la radiografía con la información clínica y finalmente volver a examinar las regiones que se consideran normales.

El protocolo sugerido es el siguiente:

- Visualizar las radiografías en un lugar tranquilo y oscuro y disponer de una luz adecuada para la visualización de regiones relativamente sobreexpuestas.

- Evaluar sistemáticamente la radiografía torácica, realizando una evaluación anatómica y/o una evaluación topográfica.

- Variaciones en la anatomía radiográfica torácica

Existe una enorme variación en la apariencia radiográfica normal del tórax, especialmente en el perro. Entre los factores que tienen una influencia importante en la apariencia de la anatomía radiográfica normal están:

1. *La raza:* hay tres tipos principales de conformación torácica canina que deben ser reconocidos:

- Conformación torácica profunda (por ejemplo: Afgano, Setter Irlandés, Greyhound).
- Conformación torácica intermedia (por ejemplo: Pastor Alemán, Boxer, Retriever, Caniche).
- Conformación torácica ancha (por ejemplo: Boston Terrier, Bulldog).

Estas variaciones en cuanto a conformación tienen importancia en la evaluación de estructuras como el mediastino y la silueta cardiaca.

2. *El peso corporal:* la obesidad altera la apariencia de la silueta cardiaca (imitando la cardiomegalia), amplía el mediastino craneal, crea un aumento general en la opacidad de los campos pulmonares y separa el borde del pulmón de la pared torácica (pudiendo dar lugar a un diagnóstico erróneo de derrame pleural).

La emaciación grave también puede resultar en microcardia (silueta cardiaca pequeña).

3. *La fase respiratoria:* una proyección lateral de tórax se considera inspiratoria cuando el diafragma (hemicúpula caudal) intersecciona con la columna vertebral a nivel caudal de la duodécima vértebra torácica o T12 (Fox *et al.*, 1999). Una proyección DV/VD de tórax se considera inspiratoria cuando el diafragma intersecciona con la columna vertebral a nivel caudal de la novena vértebra torácica o T9 (Fox *et al.*, 1999).

4. *La posición del cuerpo:* hay diferencias inherentes entre las proyecciones torácicas laterales izquierda y derecha y entre las proyecciones torácicas DV y VD. Incluso es posible identificar qué proyección ha sido obtenida en base a la apariencia de ciertas estructuras anatómicas en la radiografía. En la proyección lateral derecha, la silueta cardiaca presenta una forma más alargada/ovalada que en la proyección lateral izquierda. En la proyección VD, la silueta cardiaca parece ligeramente aumentada de tamaño (protrusión del tronco pulmonar) (Rudorf *et al.*, 2008).

3.2 RADIOLOGÍA CARDIACA

3.2.1 ANATOMÍA RADIOGRÁFICA NORMAL DEL CORAZÓN

En una radiografía de tórax el corazón representa la mayor radiopacidad tejido blando. Se ubica en el mediastino, entre aproximadamente el tercer y el sexto espacio intercostales.

El corazón se encuentra formando un ángulo en el tórax (se ve fácilmente en la proyección lateral) con el ápex localizado más caudalmente que la base.

El contorno cardiaco real no se ve en una radiografía. Es por esto que, en radiología, se utiliza el término silueta cardiaca para referirse al corazón, pericardio, contenido pericárdico y origen de la aorta y arteria pulmonar principal.

Esto contrasta con un examen ecocardiográfico en que el corazón, el origen de los vasos principales, el pericardio y el contenido pericárdico se pueden visualizar como estructuras separadas. Radiográficamente, el contorno de la silueta cardiaca está poco definido y detalles como los surcos coronarios y la separación de los atrios de los ventrículos no se aprecian. Las arterias y venas coronarias tampoco son radiográficamente visibles. Sin embargo, es posible inferir la ubicación de las cámaras cardiacas principales en una radiografía e identificar los cambios patológicos en su tamaño, en cierta medida (Johnson *et al.*, 2008) (Fig 1).

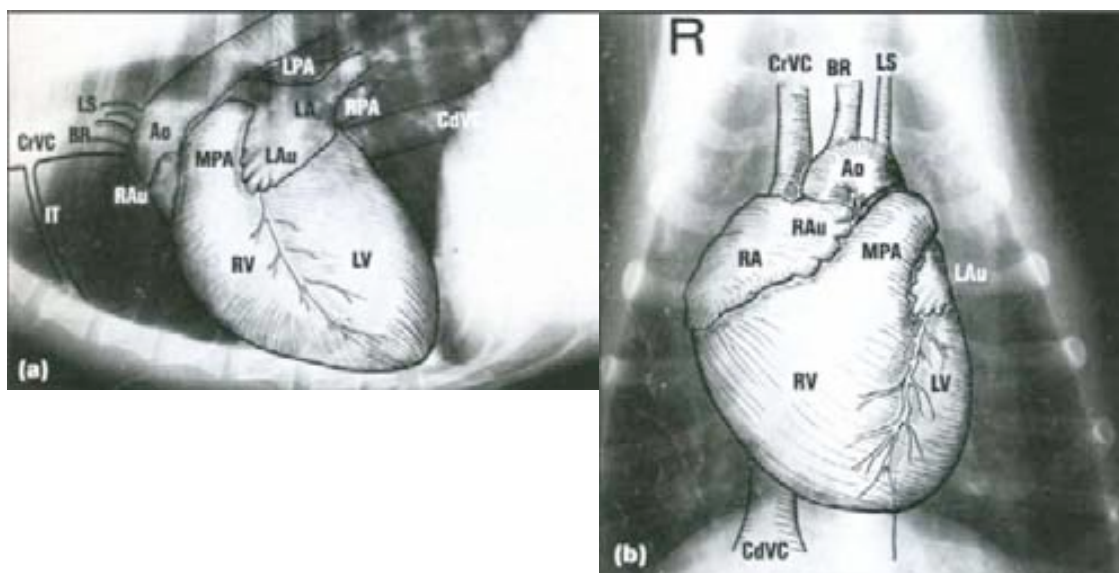


Fig 1. Anatomía radiográfica cardiaca normal. *LA*: atrio izquierdo, *LAu*: aurícula izquierda, *LPA*: arteria pulmonar izquierda, *RPA*: arteria pulmonar derecha, *CdVC*: vena cava caudal, *MPA*: tronco pulmonar, *Ao*: aorta, *RAu*: aurícula derecha, *RV*: ventrículo derecho, *LV*: ventrículo izquierdo, *LS*: arteria subclavia izquierda, *BR*: tronco braquiocefálico, *CrCVC*: vena cava craneal (Johnson *et al.*, 2008).

3.2.2 CRITERIOS RADIOLÓGICOS SUBJETIVOS PARA VALORAR CARDIOMEGALIA Y TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS PARA VALORAR LA SILUETA CARDIACA

Desde los orígenes de la radiología cardíaca, diferentes autores han propuesto una serie de criterios radiográficos para valorar la silueta cardíaca y poder detectar la presencia de cardiomegalia (Hamlin, 1968). Disponemos principalmente de cinco criterios para la proyección lateral de tórax y dos criterios para la proyección DV/VD.

- Proyección lateral de tórax:

- 1. *Número de espacios intercostales:* valoramos el tamaño del corazón en función de los espacios intercostales que ocupa su silueta (Fig 2). El diámetro cráneo-caudal del corazón es de aproximadamente 2.5 espacios intercostales en razas de perros de tórax estrecho y hasta 3.5 espacios intercostales en razas de perros de tórax ancho (Kealy *et al.*, 2011).



Fig 2. Espacios intercostales que ocupa la silueta cardíaca. En este caso ocupa aproximadamente 2.8 (silueta cardíaca de tamaño normal).

- 2. *Contacto esternal:* se valora el tamaño del corazón en función del número de esternebras que están en contacto con la silueta cardíaca (Fig 3). Se describe cardiomegalia cuando el corazón contacta con más de 3 esternebras (Suter y Lord, 1984).



Fig 3. Número de esternebras que ocupa la silueta cardíaca. En este caso la silueta cardíaca se apoya sobre 2.5 esternebras, aproximadamente. Tamaño del corazón normal.

- 3. *Ratio corazón-tórax*: se compara el tamaño del corazón con el tamaño de la cavidad torácica. Para ello, se traza una línea que una la carina y el ápex cardíaco (E1-línea de color naranja) y otra línea, al mismo nivel, que una los límites ventral y dorsal de la cavidad torácica (E2-línea de color lila) (Fig 4). El cociente E1:E2 proporciona la ratio. Se describe cardiomegalia cuando la silueta cardíaca es superior al 75% del tórax (Suter y Lord, 1984).

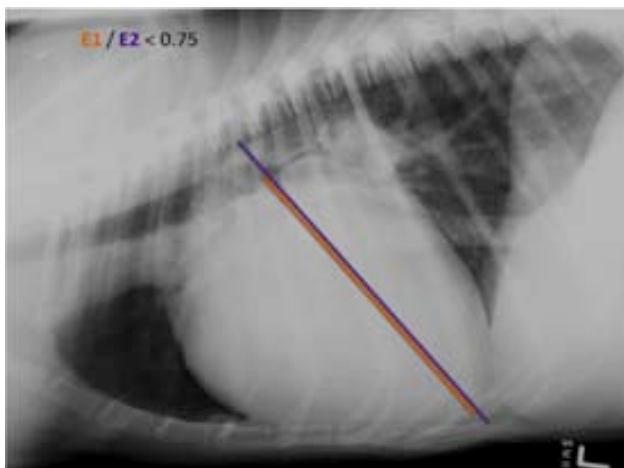


Fig 4. Ratio o relación entre el tamaño del corazón y el tamaño del tórax. La línea de color naranja representa la máxima altura cardíaca y la línea de color lila representa la máxima altura torácica. La ratio corazón/tórax es, aproximadamente, 0.85 (cardiomegalia).

- 4. *Desplazamiento dorsal de la tráquea*: la posición de la tráquea cambia en función del tamaño del corazón. Cualquier incremento del tamaño cardíaco, ya sea en dirección craneal, caudal o dorsal puede desplazar dorsalmente la tráquea ya que se incrementa la distancia entre el ápex y la base cardíaca. Este desplazamiento hace disminuir la distancia entre la tráquea y la columna vertebral y se reduce el ángulo de aproximadamente 30° que forman, en condiciones normales, ambas estructuras (Suter y Lord, 1984). La posición de la tráquea también puede variar dependiendo de la posición del cuello; se recomienda colocar el cuello del animal de la manera más fisiológica posible evitando así el desplazamiento dorsal de la tráquea y la aparición de pequeñas elevaciones traqueales que suelen producirse cuando se extiende y flexiona, respectivamente, el cuello del animal de forma excesiva. El desplazamiento dorsal de la tráquea (Fig 5) no es un criterio exclusivo de cardiomegalia ya que patologías del mediastino y de la pleura (masas, derrame pleural, neumotórax) también pueden provocarlo.

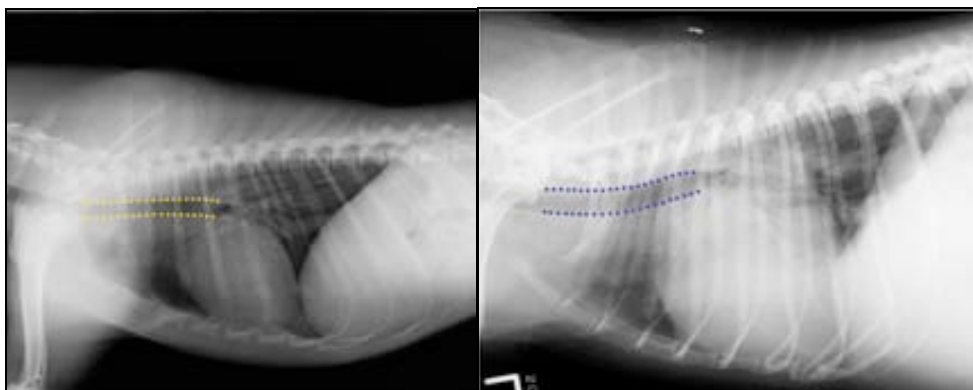


Fig 5. Localización y diámetro normal de la tráquea cervical y torácica (imagen de la izquierda). Desplazamiento dorsal de la tráquea, posicionándose de forma paralela a la columna vertebral, debido a una cardiomegalia grave (imagen de la derecha).

- 5. *Imagen del reloj*: es un método subjetivo de evaluación del tamaño del corazón que consiste en dividir la circunferencia cardíaca en franjas horarias, comparándola con el esquema de un reloj. Este método nos permite detectar qué zona cardíaca concreta está incrementada (Fig 6).

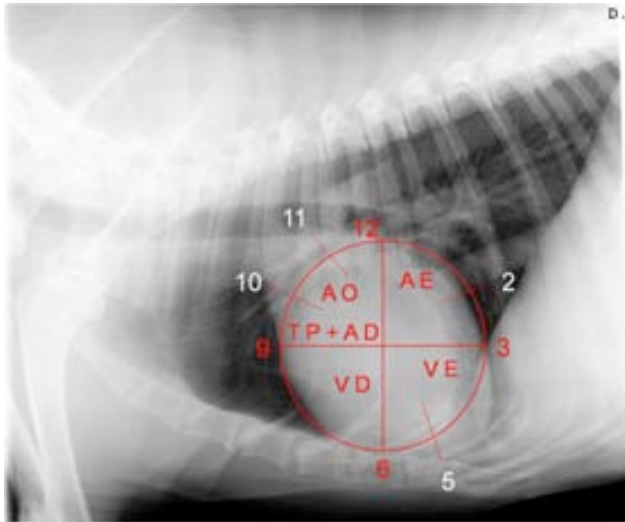


Fig 6. Imagen del reloj en la proyección lateral de tórax. De 12 a 2h: atrio izquierdo (*AE*); 2-5h: ventrículo izquierdo (*VE*); 5-9h: ventrículo derecho (*VD*); 9-10h: tronco pulmonar + aurícula derecha (*TP+AD*); 10-11h: aorta (*AO*).

- Proyección dorsoventral

En las proyecciones dorsoventrales o ventrodorsales disponemos principalmente de dos criterios radiográficos subjetivos para valorar cardiomegalia:

- 1. Imagen del reloj: (Fig 7)

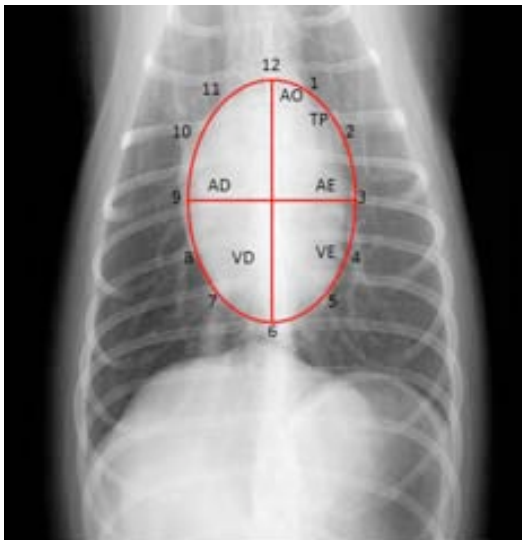


Fig 7. Imagen del reloj en la proyección DV/DV de tórax. De 11 a 1h: aorta (*AO*); 1-2h: tronco pulmonar (*TP*); 2-3h: aurícula izquierda (*AE*); 2-5h: ventrículo izquierdo (*VE*); 5-9h: ventrículo derecho (*VD*); 9-11h: atrio derecho (*AD*).

- 2. *Ratio corazón-tórax*: consiste en comparar el espacio que ocupa la silueta cardíaca con la anchura de la cavidad torácica. Para ello, se traza una línea que una los límites laterales del corazón perpendicularmente a la columna, allí donde la anchura del tórax es máxima. R1 (de color rojo) es la distancia entre los límites laterales derecho e izquierdo del corazón. Prolongamos la línea que une los límites laterales del corazón (antes definida) hasta que contacte con la pared costal. R2 (de color negro) es la distancia entre las paredes costales (Fig 8). El cociente R1:R2 permite obtener la ratio. El valor normal para esta ratio debe ser inferior a 2/3. Consideraremos que hay cardiomegalia si el corazón ocupa más del 66% de la anchura del tórax (Johnson *et al.*, 2008). Para obtener este valor es indispensable que la radiografía se haya obtenido en inspiración, de no ser así, el criterio radiográfico no será válido.



Fig 8. Relación entre el tamaño cardíaco y el tamaño del tórax. R1, de color rojo, corresponde a la máxima amplitud cardíaca. R2, de color negro, corresponde a la amplitud torácica a ese nivel. En este caso la ratio no supera los dos tercios, por lo que, basándonos en este criterio, no existe cardiomegalia.

3.2.3 CRITERIO RADIOLÓGICO OBJETIVO PARA VALORAR CARDIOMEGALIA: VERTEBRAL HEART SCALE (VHS)

La subjetividad de los criterios radiográficos para valorar cardiomegalia generó la necesidad de disponer de algún criterio radiográfico objetivo que pudiera precisar mejor la presencia o ausencia de cardiomegalia. Buchanan y Bücheler (1995), utilizando una población de 100 perros clínicamente normales, describieron el *Vertebral Heart Scale (VHS)* como nuevo índice para evaluar el tamaño cardíaco. Establecieron el eje cardíaco mayor partiendo del límite ventral de la carina hasta el punto más distante del ápex cardíaco y, perpendicular a éste, el eje cardíaco menor en la zona de máxima amplitud cardíaca. Ambos ejes se transpusieron de forma paralela a la columna vertebral, al inicio del cuerpo de la cuarta vértebra torácica (T4) y se cuantificó el número de cuerpos vertebrales que ocupaba la suma de ambos ejes, obteniendo un rango de normalidad de 9.7 ± 0.5 vértebras (v) (Fig 9).

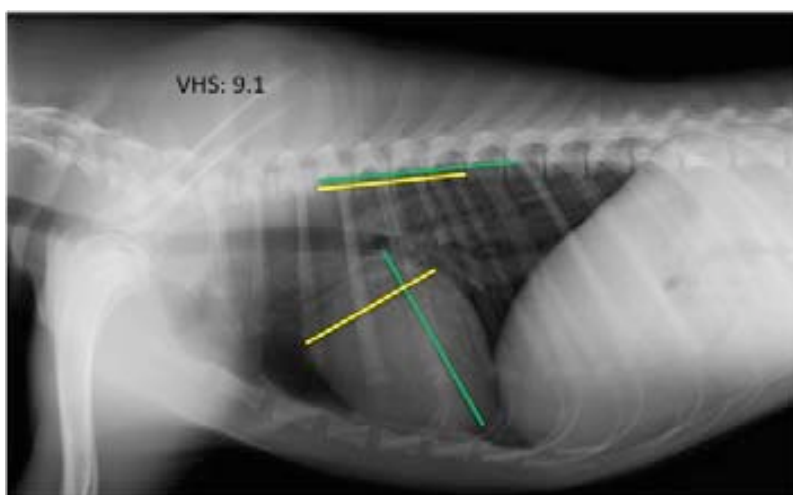


Fig 9. Representación del *VHS*. Eje cardíaco mayor (color verde) y eje cardíaco menor (color amarillo). Valor del *VHS*: 9.1v.

Los autores del trabajo no obtuvieron diferencias significativas entre machos y hembras, entre realizar una proyección lateral derecha o izquierda y tampoco entre perros de conformación torácica ancha y perros de conformación torácica profunda.

Mediante esta metodología con la que se extrapolaba la altura y la amplitud cardíacas a la columna vertebral, se estandarizaba y unificaba el criterio para valorar la cardiomegalia, eliminando factores de variación (raza, sexo, peso).

Posteriormente, Buchanan en el año 2000 publicó una ligera variación en la obtención del *VHS*, ya que partió del límite dorsal de la vena cava caudal (*CVCC*) en la obtención del eje cardiaco menor en perros con incrementos de atrio izquierdo (para considerar el incremento de volumen correspondiente). En estos casos y con la misma finalidad, se trazó el eje cardiaco mayor a partir del límite ventral del bronquio principal izquierdo. Posteriormente, varios estudios relacionados con el *VHS* hallaron razas que podían presentar un *VHS* superior a 10.5 sin estar asociado a patología cardiaca y establecieron valores de referencia para dichas razas (Lamb *et al.*, 2000).

Existen diferencias significativas entre los valores del *VHS* de perros normales de diferentes razas. El Labrador Retriever, el Cavalier King Charles Spaniel, y especialmente el Boxer, presentan medias de *VHS* superiores a las establecidas previamente (Lamb *et al.*, 2001).

También se ha estudiado el *VHS* en cachorros de diferentes razas (cruzados, Labrador y Golden Retrievers, Beagle y Pastor Alemán) en diferentes fases del crecimiento. Se obtuvieron medias del *VHS*, a los 3, 6, 12 y 36 meses de edad, no detectándose diferencias significativas según la edad (Sleeper y Buchanan, 2001).

Kraetschmer *et al.* (2008) establecieron los valores de referencia del *VHS* para la raza Beagle. La media de *VHS* obtenida por los autores fue 10.3 (0.4), mostrando diferencias significativas con el estudio original de Buchanan. No se detectó efecto significativo del grado de inspiración sobre el *VHS*.

La influencia de la raza, del pedigrí y del entrenamiento sobre el tamaño cardiaco ha sido estudiada por Bavegems *et al.* (2005). Los autores utilizaron 44 perros de la raza Whippet libres de enfermedad cardiaca o respiratoria y evaluaron el *VHS* en las proyecciones lateral derecha, izquierda, dorsoventral y ventrodorsal de tórax. Los autores describieron valores del *VHS* superiores a los propuestos por Buchanan. Los perros entrenados presentaron valores del *VHS* significativamente superiores a los perros con pedigrí de exposición y a los perros no entrenados. No se pudo determinar si esta superioridad del *VHS* se debió a influencias genéticas, al entrenamiento, o a ambos. La utilización de las proyecciones laterales derechas frente a las izquierdas en la obtención del *VHS*, ha sido estudiada por Greco *et al.* (2008) en perros sanos de diferentes tamaños y conformación torácica. Sus resultados concluyeron que el *VHS* era significativamente superior en la proyección lateral derecha y, coincidiendo con los

autores que describieron el *VHS*, no estaba influido por el tamaño del animal, la conformación torácica ni el sexo.

Hansson *et al.* (2005) estudiaron la variabilidad en la medida del *VHS* entre observadores con diferentes niveles de experiencia en radiología torácica y en la práctica clínica de pequeños animales. Se describió por primera vez la distancia entre el límite ventral de la carina hasta la vértebra contigua y se denominó *Br-Spine*. Esta medida se utilizó para valorar la variabilidad del eje cardíaco mayor del *VHS*.

Los autores concluyeron que la metodología del *VHS* es independiente de la experiencia del observador pero dependiente de la selección de los puntos de referencia llevada a cabo por los observadores y la transformación de las dimensiones de los ejes cardíacos mayor y menor en unidades de *VHS*.

Otro estudio llevado a cabo por Guglielmini *et al.* (2009) valoró el *VHS* como medida radiográfica para diferenciar entre la tos debida a fallo cardíaco congestivo y la tos debida a causas no cardíacas en perros con regurgitación mitral. Los resultados demostraron que un $VHS \leq 11.4$ permite descartar, con una exactitud muy elevada, la tos de origen cardíaco en perros con insuficiencia de la válvula mitral, por lo que los autores sugieren que el *VHS* podría ser una herramienta complementaria para la diferenciación del origen de la tos en perros con insuficiencia mitral.

Un estudio reciente (Lord *et al.*, 2010) concluyó mediante el uso del *VHS*, en una población de perros de la raza Cavalier King Charles Spaniel con regurgitación mitral, que las cámaras cardíacas izquierdas aumentaban de tamaño rápidamente solo en el último año previo al fallo cardíaco congestivo.

Este estudio tuvo continuidad con el llevado a cabo un año más tarde (Lord *et al.*, 2011), en que se valoraba radiográficamente el tamaño del corazón y su velocidad de incremento como test para predecir el momento del fallo cardíaco en perros de raza Cavalier King Charles Spaniel. Con este propósito se determinó el valor total del *VHS* y su velocidad de incremento (ΔVHS en unidades por mes) para el diagnóstico y la predicción del inicio del fallo cardíaco congestivo. El resultado principal de este estudio fue que una velocidad de cambio o incremento del *VHS* superior a 0.08 vértebras por mes, era el mejor predictor para el fallo cardíaco congestivo.

En base a este estudio se publicó una carta al editor (Oyama, 2012) donde el autor proponía la combinación de ambas medidas radiográficas (*VHS* y ΔVHS) para la predicción del momento del fallo cardiaco ya que el valor total del *VHS* parecía ser un predictor más precoz del momento del fallo cardiaco que el ΔVHS .

Por lo tanto y según la bibliografía, el *VHS* es el criterio más objetivo para valorar cardiomegalia en el perro, pero debe tenerse en cuenta que la proyección utilizada y la raza del animal pueden afectar a esta medida. Además, como se está demostrando recientemente, el *VHS* también es un criterio útil para monitorizar la cardiomegalia y podría utilizarse como criterio predictor de fallo cardiaco (Lord *et al.*, 2011; Oyama, 2012).

Finalmente, comentar que el principal impulsor del *VHS* propuso determinar la distancia entre el límite del atrio izquierdo y la columna vertebral, ya que dicha distancia se ve disminuida cuando hay un incremento del atrio izquierdo (Buchanan, 2010).

3.3 ECOCARDIOGRAFÍA

La ecocardiografía es una herramienta que puede evaluar de manera más objetiva que la radiología las diferentes cámaras del corazón, ya que nos proporciona secuencias de vídeo dinámicas y la posibilidad de medir el tamaño de las diferentes partes del corazón, en distintos momentos del ciclo cardiaco.

TIPOS DE ECOCARDIOGRAFÍA

Existen distintos tipos de ecocardiografía. Los modos ecocardiográficos más utilizados son el monodimensional (modo M) y el bidimensional (modo B). Éstos evalúan la anatomía de las cámaras cardiacas y su movimiento. Las mejores imágenes se obtienen cuando las estructuras se sitúan perpendiculares al haz de ultrasonidos.

- Modo M (monodimensional): fue el primer, y más ampliamente utilizado, modo ecocardiográfico. Aunque el modo B ha substituido el modo M, éste último sigue teniendo valor y ciertas aplicaciones.

- Modo B (bidimensional): este modo ecográfico es anatómicamente más intuitivo que el modo M y proporciona imágenes en dos dimensiones. La *ecocardiografía transesofágica* utiliza un transductor de 2 dimensiones al final de un fibroendoscopio

flexible que se introduce en el interior del esófago para producir imágenes de alta calidad. Esto se consigue debido a la proximidad entre el transductor y el corazón.

- Ecocardiografía en 3 dimensiones: las ventajas de la ecocardiografía en 3 dimensiones incluyen la capacidad para evaluar la geometría anatómica y la función ventricular asociada.

- Técnicas ecocardiográficas especiales: ecocardiografía con contraste (microburbujas cuando no se dispone de Doppler) y Doppler (permite la evaluación de la velocidad del flujo sanguíneo y su dirección). La ecocardiografía Doppler (espectral y color) evalúa el flujo sanguíneo cardiovascular mediante la evaluación del cambio relativo en la frecuencia de retorno del ultrasonido comparada con la frecuencia de transmisión. La información es más precisa cuando las ondas de sonido del Doppler son paralelas a las células sanguíneas (Fox *et al.*, 1999).

La ecocardiografía en Modo B es la más ampliamente utilizada en la clínica. Para realizar una ecocardiografía disponemos de ventanas torácicas limitadas debido a estructuras anatómicas como las costillas y los campos pulmonares. Para una correcta exploración ecocardiográfica se recomienda el uso de un transductor sectorial o curvilíneo. Se necesita también una alta resolución temporal, lo que se consigue disminuyendo la profundidad de campo y minimizando el ángulo sectorial. Las frecuencias recomendadas son de 8-12MHz para perros pequeños, de 4-8 MHz para perros de entre 5-40 kg y de 2-4 MHz para perros grandes (>40 kg). Se recomienda también el uso de electrocardiograma juntamente con la ecocardiografía.

3.3.1 PROYECCIONES O CORTES ECOCARDIOGRÁFICOS

Thomas, en el año 1984, llevó a cabo una validación técnica y anatómica de la ecocardiografía para así poder realizar la evaluación o examen ecocardiográfico completo.

El eje central del ventrículo izquierdo puede ser conceptualizado como una línea imaginaria que se extiende, desde el ápex hasta la base, en el centro de la luz del ventrículo izquierdo. Cuando el transductor esté orientado de tal manera que el plano escaneado incluya o sea paralelo a este eje, se obtendrá una imagen en eje largo.

Eje largo:

- Proyecciones paraesternales derechas

Frecuentemente hay dos o más espacios intercostales disponibles para las proyecciones paraesternales derechas (*RPS* o *Right Parasternal*), incluyendo una localización craneal, que corresponde típicamente al cuarto espacio intercostal, y una localización más caudal, en el quinto espacio intercostal (Brown y Hugues, 2008).

Posicionamiento: (Fig 10)

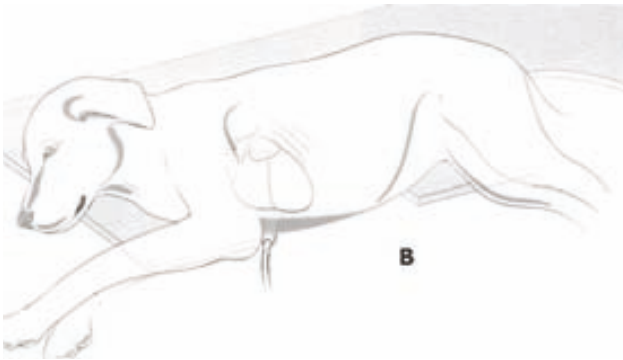


Fig 10. Posicionamiento para las proyecciones paraesternales derechas (Brown y Hugues, 2008).

Orientación de la sonda: (Fig 11)

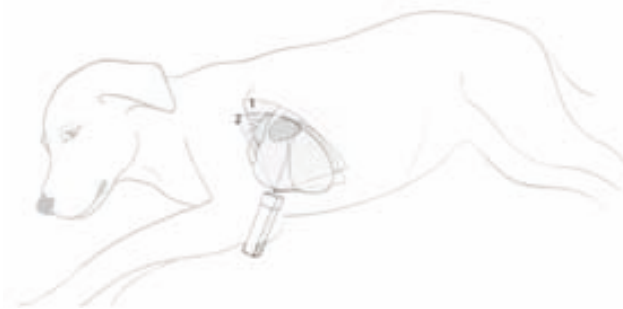


Fig 11. Representación de la orientación de la sonda para obtener imágenes ecocardiográficas en eje largo (Brown y Hugues, 2008).

- Salida del ventrículo izquierdo (flujo ventricular izquierdo)

1. Colocar al perro en decúbito lateral derecho encima de la mesa de exploración, dejando libre la zona del corazón.

2. Palpar el pulso apical en el lado derecho (punto del tórax donde se puede localizar el latido cardiaco).
 3. Colocar el transductor en la localización especificada en el punto anterior, de la siguiente manera:
 - Los cristales del transductor en dirección a la columna lumbar.
 - La marca de referencia en dirección al cuello.
 - Formar un ángulo de 45 grados entre el transductor y la pared torácica.
 - Sin cambiar la manera de sujetar la sonda, mover el transductor ventral y dorsalmente en el espacio intercostal hasta obtener el plano de imagen deseado.
- Cuatro cámaras (Fig 12)
1. Empezar con una buena proyección de flujo ventricular izquierdo.
 2. Rotar el transductor alejando la marca de referencia de la columna vertebral (hacia nosotros).
 3. Una vez se localice el septo interatrial, elevar y descender el transductor ligeramente, acercándose y alejándose del tórax del perro para crear una imagen más ancha y más larga de la cámara ventricular y definir mejor el septo interatrial (Boon, 1998).

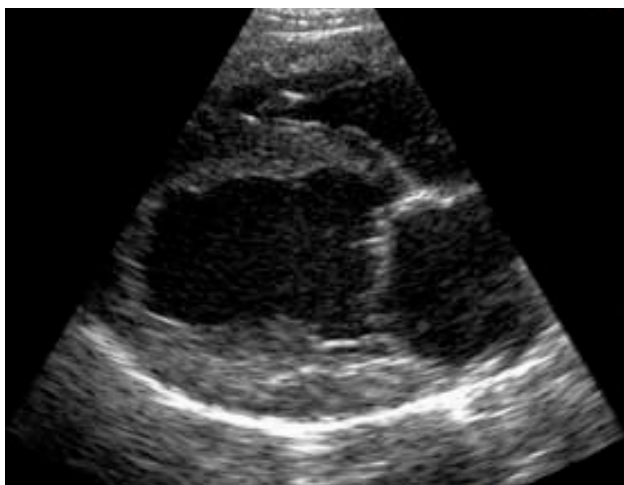


Fig 12. Imagen ecocardiográfica de 4 cámaras

Eje corto:

Cuando el plano escaneado sea perpendicular al eje central del ventrículo izquierdo se obtendrá una imagen en eje corto (Fig 13).

Los cortes transversales ecocardiográficos se adaptaron de medicina humana (O'Grady *et al.*, 1986).

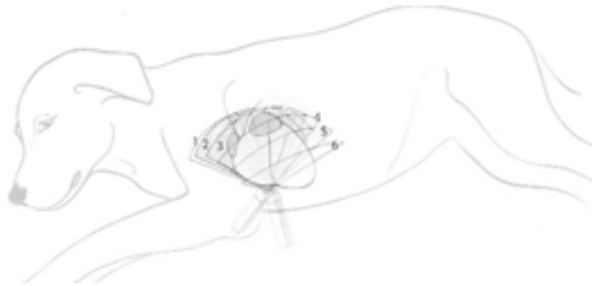


Fig 13. Representación de la orientación de la sonda para obtener imágenes ecocardiográficas en eje corto (Brown y Hugues, 2008).

- A nivel de músculos papilares (Fig 14)

1. Empezar con una buena proyección de flujo ventricular izquierdo.
2. Girar el transductor de tal manera que la marca de referencia se separe de la columna en dirección a los codos del animal.
3. Descender el transductor ligeramente pero manteniendo al menos un ángulo de 60 grados entre el transductor y el tórax.
4. Girar el transductor hasta que se aprecie en la imagen la aorta o la cámara ventricular izquierda redonda. Se ha rotado suficiente cuando el ventrículo izquierdo es simétrico y se distinguen claramente ambos músculos papilares.

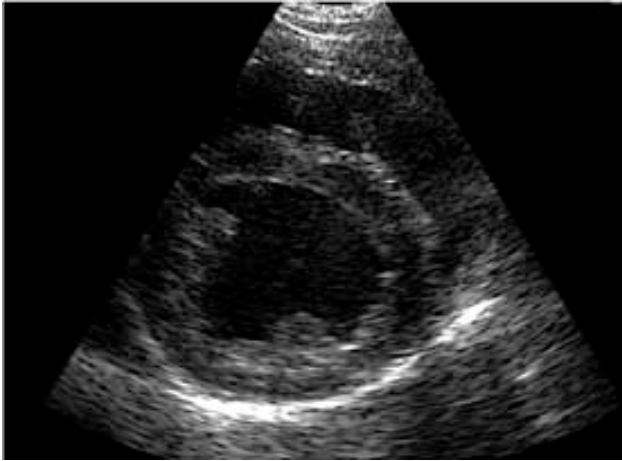


Fig 14. Imagen ecocardiográfica a nivel de los músculos papilares. Eje corto.

5. Desplazar el transductor dorsalmente para obtener los cortes siguientes:

- A nivel de la válvula mitral
- A nivel de la base del corazón (a nivel de la aorta y atrio izquierdo): cuando se visualiza la aorta de forma simétrica, con forma de trébol de tres hojas, y el atrio izquierdo en su totalidad, con forma de lágrima. Con este corte se obtiene la medida de la ratio LA/Ao (Fig 15).

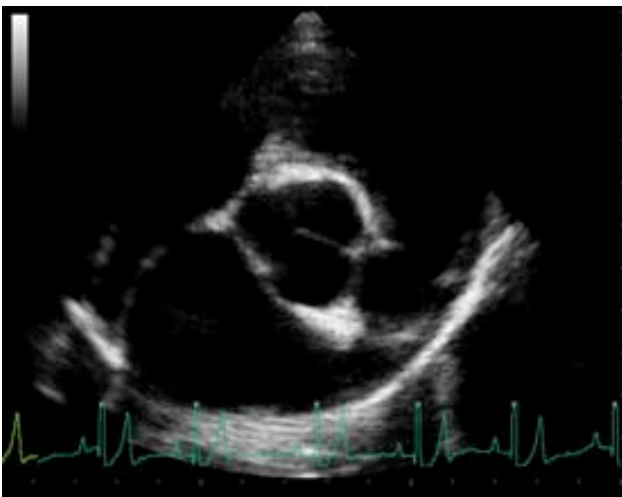


Fig 15. Proyección paraesternal derecha, eje corto. Imagen ecocardiográfica a nivel de la aorta y atrio izquierdo.

- A nivel de la base del corazón (a nivel de la arteria pulmonar)

- Proyecciones paraesternales izquierdas

El transductor se coloca en el hemitórax izquierdo del animal, en la porción craneal del corazón, a nivel del cuarto o quinto espacios intercostales, y a la altura de las uniones costocondrales (Brown y Hugues, 2008).

Eje largo:

- Flujo ventricular izquierdo craneal
- A nivel del atrio y aurícula derecha
- A nivel de la arteria pulmonar

Eje corto:

- Paraesternal izquierdo craneal, a nivel de la base del corazón

- Proyecciones apicales izquierdas

En estas proyecciones el transductor se coloca en una localización ventral y caudal acercándose a la región subcostal. El transductor se angula cranealmente de manera que el haz de ultrasonidos se dirige a la base del corazón a través del eje central del ventrículo izquierdo (Brown y Hugues, 2008).

- Paraesternal izquierda apical 4 cámaras
- Paraesternal izquierda apical 5 cámaras

3.3.2 MEDIDA ECOCARDIOGRÁFICA: la ratio LA/Ao

La ecocardiografía no está libre de factores condicionantes en el momento de interpretar los resultados obtenidos. Alrededor de 1984 y juntamente con la publicación del estudio de Thomas se desarrollaron medidas ecocardiográficas (Boon, 1983; Lombard, 1984; O'Grady *et al.*, 1986) derivadas principalmente de medicina humana, muchas de ellas dependientes del peso del animal.

Una de las excepciones es la ratio entre las dimensiones del atrio izquierdo y la aorta (ratio LA/Ao). Utilizar un índice para determinar el incremento de atrio izquierdo es mejor que utilizar la dimensión del mismo, normalizada según el peso del animal o

según el área de superficie corporal, ya que el índice es una relación independiente del peso del animal (Hansson *et al.*, 2002).

- Ratio LA/Ao

En la primera publicación en la especie humana en la que se describía este índice (Brown *et al.*, 1974), el diámetro de la aorta se utilizó como estructura interna de referencia ya que se podía observar de forma precisa y no parecía aumentar de tamaño frecuentemente como resultado de una patología cardíaca.

El cálculo de la ratio *LA/Ao* y el método de utilización del índice resultante como predictor del tamaño del atrio izquierdo en humanos, asumen que las dimensiones del atrio izquierdo y de la aorta son proporcionales. La misma asunción, referente a la relación proporcional entre el atrio izquierdo y la aorta, se consideró válida en perros normales y en la mayoría de los perros con enfermedad cardíaca adquirida que no evolucionaban a fallo cardíaco. Si la dimensión de la aorta aumenta o disminuye, debería alterar el resultado de la ratio y dar una subestimación o sobreestimación del tamaño del atrio izquierdo. En estas circunstancias, la ratio *LA/Ao*, ya sea obtenida mediante el modo M o mediante el modo B, se debería interpretar con cautela (Hansson *et al.*, 2002).

Esta medida se obtuvo inicialmente mediante el modo ecográfico monodimensional.

En el perro y el gato normal, la relación atrio izquierdo-raíz de la aorta es, generalmente, inferior a un valor comprendido entre 1.3 y 1.4 y, a menudo, cercano a 1.0 en el ecocardiograma modo M (Nyland y Mattoon, 2004; Jacobs y Knight, 1985; Allen y Downey, 1983).

Los valores superiores a 1.3 sugieren una dilatación atrial izquierda. Sin embargo, en la mayoría de los ecocardiogramas en modo M de perros y gatos, el haz de ultrasonidos atraviesa la aurícula izquierda o la porción craneal del atrio izquierdo sin atravesar realmente el cuerpo principal (como en el hombre) del atrio izquierdo (O'Grady *et al.*, 1986). Así, un aumento de la relación atrio izquierdo-aorta sugiere una dilatación atrial izquierda, pero una relación normal no permite descartar la existencia de este problema. Por lo tanto, debido a que la ratio obtenida en modo M incluye frecuentemente medidas de la aurícula o subestima las medidas del cuerpo del atrio izquierdo, se consideró que sería más preciso utilizar un índice que incorporara una dimensión más representativa del cuerpo del atrio izquierdo. Esto se puede conseguir utilizando el modo B mediante una proyección paraesternal derecha en eje corto, a nivel de la base del corazón

(Hansson *et al.*, 2002). Utilizando esta proyección las dimensiones de la aorta y del atrio izquierdo se pueden obtener de diferentes maneras.

Un estudio mediante ecocardiografía bidimensional estableció los valores de referencia del atrio izquierdo en perros adultos (Rishniw y Erb, 2000). Los autores coinciden en que se pueden realizar medidas precisas y repetibles, basándose en la correlación entre el peso corporal y la normalización con la aorta, mediante la ecocardiografía bidimensional. El método más sensible para medir la relación entre el atrio izquierdo y la raíz de la aorta fue el corte transversal a nivel de la base del corazón, obtenido a partir de la proyección paraesternal derecha (en el momento en el que las cúspides de la válvula aórtica están cerradas). La medida del diámetro transversal interno de la aorta se realizó mediante una línea trazada entre las cúspides no coronarias y coronaria derecha. El diámetro transversal interno del atrio izquierdo se realizó trazando una línea paralela a la línea entre las cúspides no coronaria y coronaria izquierda, que se prolonga a través del cuerpo del atrio izquierdo. Si utilizamos esta técnica, una relación entre el atrio izquierdo y la raíz de la aorta superior a 1.6 sugerirá incremento del atrio izquierdo (Nyland y Mattoon, 2004; Rishniw y Erb, 2000).

Uno de los trabajos más importantes sobre la medida de la ratio LA/Ao , citado anteriormente (Hansson *et al.*, 2002), aportó una ligera modificación en la metodología de obtención de esta ratio LA/Ao . En este estudio, para la medida de la aorta el primer cursor fue colocado en el punto medio de la cúspide coronaria derecha. El segundo cursor se colocó en el punto donde la pared aórtica y las cúspides aórticas no coronaria y coronaria izquierda coinciden (Fig 16).

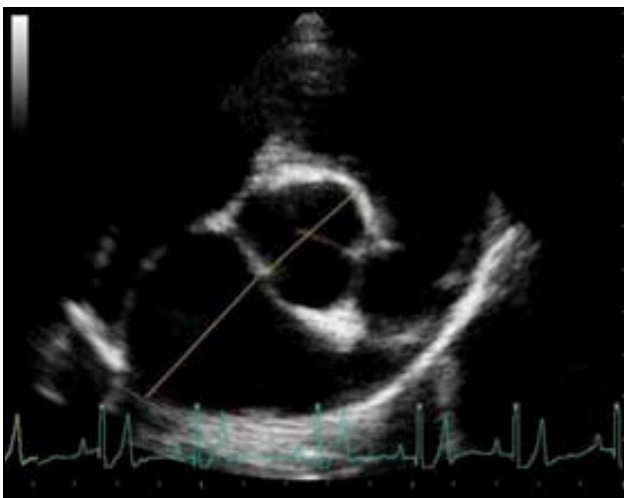


Fig 16. Representación de la ratio LA/Ao .

Esta modificación respecto al estudio de Rishniw se justificó con la presencia de un ligero incremento de ecogenicidad en el punto donde convergían las tres estructuras que facilitaba la obtención de la medida. La medida del atrio izquierdo se obtuvo a partir del punto donde finalizaba la medida para la aorta, extendiéndola hasta la interfase sangre-tejido de la pared del atrio izquierdo (Borgarelli *et al.*, 2004; Borgarelli *et al.*, 2008; Lord *et al.*, 2010; Dudás-Györki *et al.*, 2009). Si la vena pulmonar aparecía en la imagen, el cursor se colocaba como extrapolación del borde atrial o inmediatamente medial o lateral a la vena.

3.4 COMPARACIÓN DE LA RADIOLOGÍA Y LA ECOCARDIOGRAFÍA PARA LA DETECCIÓN DE INCREMENTOS DEL ATRIO IZQUIERDO

Las radiografías torácicas son muy útiles en la evaluación del paciente con enfermedad cardiovascular. Sin embargo, la radiología y la ecocardiografía son técnicas complementarias y es importante entender las limitaciones y beneficios de estas dos técnicas de diagnóstico por imagen en la evaluación de la enfermedad cardíaca. La ecocardiografía es mucho más precisa que la radiología en la identificación de incrementos de una cámara cardíaca y de otras anomalías estructurales. Aporta también información funcional vital que no se puede obtener radiográficamente. Sin embargo, las radiografías siguen siendo indispensables en la evaluación de los cambios vasculares pulmonares y del parénquima secundarios a la enfermedad cardíaca. Por ejemplo, una radiografía revelará rápidamente congestión venosa pulmonar y/o edema pulmonar cardiogénico en fallo cardíaco izquierdo, o efusión pleural en fallo cardíaco derecho. La radiología torácica resulta también muy valiosa en el seguimiento de la insuficiencia cardíaca.

Uno de los principales trabajos que han comparado la radiología y la ecocardiografía ha sido el de Nakayama *et al.* (2001). Los autores correlacionaron datos ecocardiográficos tales como la dimensión del ventrículo izquierdo (al final de la sístole y la diástole), el índice de la esfericidad cardíaca y la ratio LA/Ao (al final de la sístole en modo bidimensional, eje largo y en modo monodimensional), con datos electrocardiográficos (duración de la onda P y duración del complejo QRS) y con los valores de VHS (Buchanan y Bücheler, 1995) en una población de animales sometidos a patología cardíaca experimental. La correlación más alta obtenida en este estudio fue entre el VHS

y la ratio LA/Ao , (0.90). Posteriormente, otros autores (Hansson *et al.*, 2002; Hansson, 2004) compararon la ratio LA/Ao obtenida mediante modo B con la misma medida obtenida mediante el modo M en perros normales y en perros con incrementos de atrio izquierdo. También estudiaron el VHS en perros con diferentes rangos de incremento de tamaño del corazón medido por observadores con diferentes niveles de experiencia en radiología torácica. Estos autores aportaron una nueva variación al obtener el eje cardiaco menor del VHS a partir del punto medio de la altura de la CVC .

Schober *et al.* (2007) compararon la precisión diagnóstica de la electrocardiografía, la radiología torácica y la ecocardiografía bidimensional para valorar el tamaño del atrio izquierdo en gatos. En este estudio se utilizó también la ecocardiografía como prueba de referencia (*gold standard*) y se obtuvo una nueva medida radiográfica a partir del VHS , el *Left Atrial-VHS* ($LA-VHS$). Esta medida se obtuvo desde la intersección entre los ejes cardiacos mayor y menor del VHS hasta el contorno del atrio izquierdo, justo en el límite dorsal de la vena cava caudal. Se concluyó que la radiología torácica era superior a la electrocardiografía en la valoración de los incrementos de atrio izquierdo aunque esta primera podía sobre o subestimar el tamaño del atrio en la proyección radiográfica lateral (mediante $LA-VHS$). La precisión diagnóstica de esta medida para la detección de incrementos de atrio izquierdo fue superior en gatos que presentaban incrementos de atrio izquierdo moderados y graves.

En este estudio, se concluyó que la electrocardiografía y la radiología torácica resultaban específicas pero poco sensibles para la detección de incrementos del atrio izquierdo en gatos, y ninguna de las dos técnicas diagnósticas podía substituir a la ecocardiografía.

En perros, cuando hay un incremento de atrio izquierdo se produce una separación de los bronquios principales. En un estudio se valoró la medida del ángulo de la bifurcación traqueal como signo radiográfico de incremento del atrio izquierdo en perros (Le Roux *et al.*, 2012). Se comparó esta medida radiográfica con la ratio LA/Ao para determinar si este ángulo de la bifurcación traqueal permitía diferenciar perros normales de perros con incremento del atrio izquierdo. A partir de la proyección dorsoventral de tórax se obtuvieron las medidas radiográficas y se clasificó el incremento del atrio izquierdo en leve/moderado/grave. Se concluyó que, a pesar de las diferencias significativas entre perros normales y perros con incremento del atrio

izquierdo, el solapamiento de valores y la escasa sensibilidad de esta medida radiográfica le otorgaban poco valor diagnóstico para la detección de incrementos del atrio izquierdo.

3.5 RESONANCIA MAGNÉTICA CARDIACA (RMc)

En la pasada década la resonancia magnética ha tenido un rápido desarrollo en medicina humana. Se ha consolidado como una técnica segura y clínicamente importante para valorar la estructura cardíaca, la función, la perfusión y la viabilidad miocárdica. Su versatilidad y precisión resultan inigualables por cualquier otra modalidad de diagnóstico por imagen. Comparativamente con otras modalidades no invasivas de diagnóstico por imagen se ha mostrado superior, particularmente en la valoración de la morfología cardíaca y de los grandes vasos y en la valoración de la función del ventrículo izquierdo (Constantine *et al.*, 2004).

En cuanto a la RMc (Fig 17), en veterinaria se han desarrollado rápidamente sistemas de hardware y software para esta modalidad, pero a pesar de los varios estudios preliminares publicados, el crecimiento de esta técnica se ha visto limitado y actualmente se utiliza sobretodo en investigación clínica (Gilbert *et al.*, 2010); por ejemplo, en malformaciones cardíacas complejas (cuando el diagnóstico no es posible mediante ecocardiografía), malformaciones vasculares, tumores cardíacos (Mai *et al.*, 2010) y derrames pericárdicos (Boddy *et al.*, 2011).

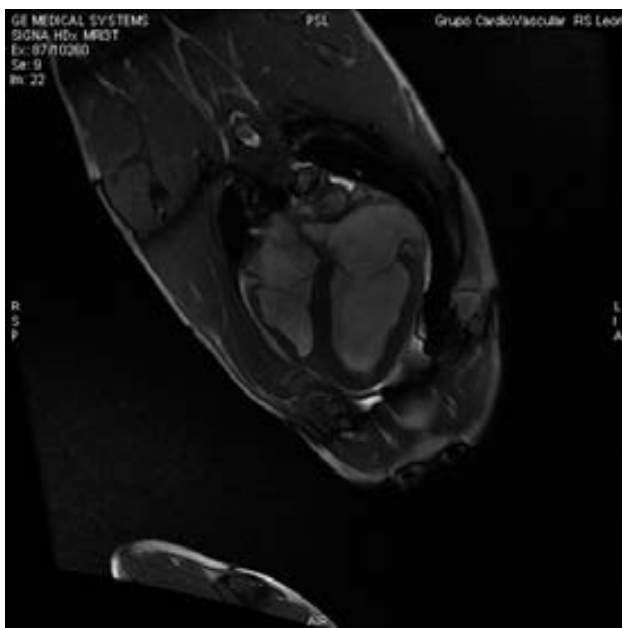


Fig 17. Imagen de resonancia magnética cardíaca en perro. Corte de cuatro cámaras.

La RMc (Fig 18) también permite una cuantificación más precisa de los volúmenes y la función cardíaca en comparación con la ecocardiografía, pero es considerablemente más cara que la radiología y la ecocardiografía (Johnson *et al.*, 2008).

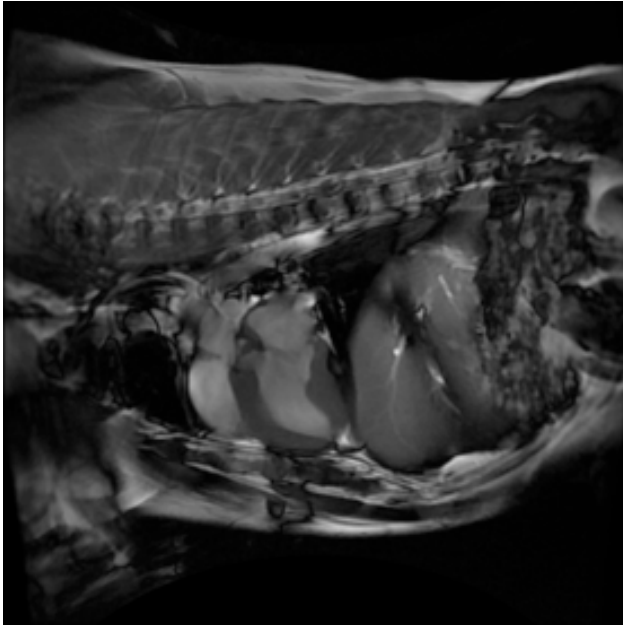


Fig 18. Imagen de resonancia magnética cardíaca en perro. Corte sagital en diástole auricular.

4. OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

La patología cardíaca más frecuente en el perro es la enfermedad de la válvula mitral, que conlleva una regurgitación y un incremento consecuente del atrio izquierdo secundario a insuficiencia crónica de la válvula mitral (Hansson *et al.*, 2002).

La insuficiencia crónica de la válvula mitral es una enfermedad que se caracteriza por la formación de nódulos diminutos sobre los bordes libres de la válvula que provocan el engrosamiento de las hojuelas valvulares. A medida que progresan las lesiones se observa deformación y debilidad de la válvula y sus cuerdas tendinosas que conlleva una regurgitación valvular y a la dilatación del atrio, anillo valvular y ventrículo adyacentes (Kittleson, 1998). Esta dilatación del atrio izquierdo puede detectarse radiológicamente mediante el *VHS* y, ecocardiográficamente, mediante la ratio *LA/Ao*.

La evaluación del tamaño del atrio izquierdo en perros con insuficiencia mitral es interesante para determinar la gravedad de la enfermedad y efectuar su seguimiento, ya que el grado de incremento del atrio izquierdo está relacionado con el grado de la regurgitación mitral (Hansson *et al.*, 2002).

La ratio *LA/Ao* es el predictor clínico y ecocardiográfico más significativo referente a la supervivencia en perros con insuficiencia mitral (Borgarelli *et al.*, 2008).

Nuestro propósito de definir una medida radiográfica objetiva para valorar el tamaño del atrio izquierdo viene avalado por la opinión de reconocidos cardiólogos veterinarios (Kittleson, 1998; Tilley *et al.*, 2008); que afirman, por un lado, que “la ecocardiografía ha suplantado a la radiología torácica para la determinación del tamaño cardíaco global y el incremento de cámaras concretas, ya que es una herramienta mucho más precisa; la excepción a esta norma es la determinación del tamaño del atrio izquierdo ya que, en este caso, la radiología torácica es generalmente tan fiable o más que la ecocardiografía”, y por el otro, que “en la mayoría de los casos, la radiología torácica es el elemento de aproximación diagnóstica más importante en la insuficiencia de la válvula mitral. Inicialmente, en el curso de la enfermedad, la silueta cardíaca es normal. Si se desarrolla la consecuente regurgitación mitral, se produce un incremento de la silueta cardíaca. Se debería reconocer que la capacidad de la radiología torácica en determinar incrementos de cámaras cardíacas concretas es limitada, pero en general, el atrio izquierdo se puede estudiar con fiabilidad. Esto es una ventaja ya que, en la gran

mayoría de los casos, el incremento del atrio izquierdo precede al desarrollo de fallo cardiaco congestivo.”

Hasta la fecha no se ha publicado una medida radiográfica que cuantifique de forma objetiva el tamaño del atrio izquierdo.

Dado que el *VHS* es el parámetro más objetivo para valorar cardiomegalia en el perro, y que la ratio *LA/Ao* es el parámetro ecocardiográfico más sensible y comúnmente utilizado para detectar incrementos del atrio izquierdo en el perro, y habiendo quedado demostrada la relevancia clínica del tamaño del atrio izquierdo, planteamos este estudio en el que se proponen los siguientes objetivos:

1. Evaluar la utilidad clínica de la nueva medida radiográfica llamada *RLAD* (*Radiographic Left Atrial Dimension*) para detectar incrementos del atrio izquierdo en perros.
2. Establecer un valor de referencia para la *RLAD* que permita diferenciar perros normales de perros con incremento del atrio izquierdo y estudiar la variabilidad intra e interobservador para el *VHS* (*Vertebral Heart Scale*) y la *RLAD*.
3. Proponer y evaluar la utilidad clínica de medidas radiográficas alternativas/complementarias (*Br-Spine* y *RLAD-Spine*) a la *RLAD*, para la detección de incrementos del atrio izquierdo, aplicables cuando los límites del atrio izquierdo son difíciles de delimitar.
4. Establecer un valor de referencia para *Br-Spine* y *RLAD-Spine* que permita diferenciar perros normales de perros con incremento del atrio izquierdo.
5. Describir el *VHS* Objetivo como simplificación de la metodología original, utilizando un método de estandarización directa y compararlo con el *VHS* de Buchanan.
6. Determinar la concordancia entre el *VHS* Objetivo y el *VHS* de Buchanan y estudiar la variabilidad intra e interobservador.

5. ESTUDIOS

5.1 ESTUDIO 1

A RADIOGRAPHIC MEASUREMENT OF LEFT ATRIAL SIZE IN DOGS

Abstract

Background: The size of the left atrium (LA) in mitral regurgitation (MR) cases is an indirect measurement of the severity of MR.

Objectives: Evaluate the clinical usefulness of a new radiographic measurement for detecting left atrial enlargement (LAE) in dogs-the radiographic left atrial dimension- (RLAD).

Animals: 31 dogs without LAE and 46 dogs with LAE.

Methods: Prospective study. LA size was quantified on lateral radiographs by measuring RLAD. Vertebral Heart Scale (VHS) was measured as previously described. Reference LA size was measured by LA to aorta ratio (LA/Ao) assessed by 2D echocardiography. LAE was considered if LA/Ao >1.6. RLAD was obtained by drawing a line bisecting the 90 degrees angle defined by the long and short cardiac axes lines of VHS, up to the dorsal border of the left atrium and comparing its length to the vertebral body length (v) starting from the cranial edge of the fourth thoracic vertebra. The correlation between these three methods was estimated, as well as their sensitivity and specificity for detecting LAE. Receiver Operating Characteristic (ROC) curves were used to estimate the optimal decision criteria for each method.

Results: A statistically significant positive correlation ($r > 0.78$) was observed between all three methods, and especially RLAD and LA/Ao ($r = 0.84$). RLAD's sensitivity and specificity for detecting LAE evaluated at the optimal cut-off value (1.8v) were 93.5% and 96.8% respectively. No statistical differences between AUC values were obtained, $p=0.2743$ (-0.0211 - 0.0744).

Conclusions and clinical importance: RLAD appears to be a clinically useful radiographic measurement for evaluating left atrial size. RLAD would provide clinicians with a simple and cost-effective tool for evaluating LAE.

Key words: RLAD, radiology, left atrium, mitral insufficiency.

INTRODUCTION

Myxomatous mitral valve disease (MVD) is the most prevalent heart disease in dogs.¹ It is characterised by a progressive degeneration of the valvular apparatus leading to mitral regurgitation (MR).¹

Thoracic radiographs are important in assessing the severity of MR caused by myxomatous mitral valve disease by determining the presence of generalised heart enlargement (HE) and left atrial enlargement (LAE).^{1,2,3}

As the LA is the receiving chamber of the regurgitant volume, it is of great interest to have reliable methods available to quantify changes in LA size. As the regurgitant fraction correlates to LA size it might be easier to monitor progression of MR by measuring changes of atrial size.⁴

Echocardiography is the standard method for noninvasive assessment of cardiac dimensions, providing a direct and accurate means of estimating left atrial size. Several measurement techniques have been described for this purpose and the most commonly used is the left atrium-to-aorta ratio (LA/Ao) derived from two-dimensional (2D) measurements obtained from a right parasternal short-axis view at the level of the heart base.⁵⁻⁷ Echocardiography is nonetheless technically challenging and not universally available.

In the past, before the advent of echocardiography, evaluation of cardiac dimensions relied mostly upon radiographic assessment of the size and shape of the cardiac silhouette.⁸ Even now, being virtually available to all veterinary clinicians, thoracic radiology is frequently employed to evaluate suspected cardiomegaly. In general, however, its subjective and indirect character renders it prone to interpretation errors, even with experienced examiners.^{3,8} In 1995, Buchanan and Bücheler introduced the Vertebral Heart Scale (VHS), a standardised method of cardiac size measurement using the thoracic vertebrae as a measurement unit.⁹ This method is based on the good correlation existing between cardiac size and thoracic vertebral body's length. Briefly, using a lateral radiographic projection, a line is drawn from the ventral border of the left main stem bronchus to the most distant ventral contour of the cardiac apex to determine the cardiac length (long axis). This distance is then superimposed to the thoracic vertebrae starting from the cranial edge of the fourth vertebra to obtain the length in vertebrae (v). The cardiac width (short axis) is measured in the same way by tracing a perpendicular line to the long axis in the central third region. To optimize inclusion of

the left atrial body, a slight variation was subsequently introduced which consists in obtaining the short axis starting from the dorsal limit of the caudal vena cava (CVC).¹⁰ The overall size of the heart is then normalized to body size by expressing it as units of vertebral length. This method provided an objective numerical measurement for evaluation of general heart size.

Thoracic radiographs have been shown to provide with a sensitive means of evaluating LAE, especially when moderate to severe.⁸ Several radiographic findings indicative of LAE have been described both in lateral and dorsoventral views. The most commonly used is the observation of a dorso-caudally located bulge of soft tissue opacity, or left atrial “tent”, on the lateral radiograph.^{11,12}

In this study, we sought to assess the usefulness of a new radiographic measurement (radiographic left atrial dimension, RLAD) for the evaluation of left atrial dimensions in normal dogs and dogs with MVD. The purpose of this study was (1) to study the correlation between VHS, RLAD and LA/Ao, (2) to calculate their sensitivity and specificity for detecting LAE, and (3) to establish a reference value for RLAD in normal dogs. Intra and interobserver variability for VHS and RLAD was also determined.

MATERIALS AND METHODS

Animals

A total of 77 dogs were prospectively included in this study. Fifty-four dogs were client-owned and were presented for a routine clinical examination and the remaining twenty-three belonged to the shelter facility. Dogs were assigned to one of two groups according to the absence (Group A) or presence (Group B) of LAE defined as LA/Ao > 1.6.⁷ Group A included 31 dogs, 22 males and 9 females, with a mean age of 4.2 years (1-7 years) and a mean weight of 15.8 kg (4.0-20.0 kg). Breeds represented in this group were mixed-breed (n=25), Cocker Spaniel (n=2) and one of each of the following: French Bulldog, Pug, Cavalier King Charles Spaniel and Pekingese. Group B included 46 mixed-breed dogs, 28 males and 18 females, with a mean age of 8.1 years (6-10 years) and a mean weight of 12.3 kg (4.8-21.4kg).

Methods

All dogs underwent a complete clinical evaluation including physical examination, complete blood count (CBC), biochemistry panel, and radiographic and

echocardiographic examinations. All dogs were examined by the same author (OD). Owner consent was obtained for all dogs enrolled.

Inclusion criteria:

Normal dogs as shown by history, physical exam, radiographic and echocardiographic exam. MVD diagnosis was based on the presence of systolic mitral regurgitation heart murmur and alterations on the echocardiographic examination.

Dogs presenting with radiographic and/or echocardiographic changes compatible with alveolar pulmonary oedema, pulmonary hypertension or right-sided cardiac disease, as well as cardiac diseases other than MVD, such as cardiomyopathy, myocarditis, congenital heart defects, and diagnosed arrhythmias were not included.

Radiographic Measurements

VHS

A digital/analog right lateral thoracic radiograph was used for measurement of the VHS as described by Buchanan.¹⁰ This procedure was performed by the same observer (XS) in all dogs. The long axis (L) was measured from the ventral border of the left main stem bronchus (carina) to the more distant point of the cardiac apex. The short axis (S) was measured starting at the level of the dorsal border of the CVC (Figure 1).

A commercially available computer software^a was used to apply a 90-degree rotation between L and S. L and S were then repositioned over the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the fourth thoracic vertebra, parallel to the vertebral column, and each length was then expressed in terms of the number of thoracic vertebrae to the nearest 0.1 vertebrae. The sum of the two was used as VHS (Figure 1).

RLAD

RLAD was obtained from the same radiographic images used for VHS quantification, and using the same computer software^a. This procedure was performed by the same observer (XS) in all dogs. A line bisecting the 90° angle formed by the intersection of the VHS L and S axes was drawn from this point to the radiographic projection of the dorsal border of the left atrium (Figure 1). The computer software was used to ensure a fixed 45° angle between this line and the intersection of L and S. This length was then normalized to the number of thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the

fourth thoracic vertebra and to the nearest 0.1 vertebrae as for VHS and used as RLAD. In cases where the anatomical limits of the dorsal border of the left atrium and the neighbouring pulmonary veins were difficult to separate, the most dorsal aspect of the soft tissue opacity seen at this level was routinely used for all measurements

Echocardiographic Measurements

A complete transthoracic echocardiographic examination (TTE) was performed in all dogs by the same author (OD). The unsedated dogs were placed in right and left lateral recumbency and the examinations were performed according to the American Society of Echocardiography standards and guidelines and other published recommendations.¹³ Diagnosis of MVD was based on characteristic valvular lesions of the mitral valve apparatus (thickened and /or mitral valve prolapse) on 2D echocardiography and the identification of mitral valve regurgitation by color Doppler examination, as described previously.^{14,15} We used the same criterion (LA/Ao value of 1.6) to define LAE⁷ based on the similarities between the studies' populations.

LA/Ao

LA/Ao was obtained by calculating the ratio between the left atrium (LA) and cross-sectional aortic (Ao) diameters obtained by 2D TTE from a right parasternal short axis view as described in earlier reports.^{16,17,18} The Ao diameter was obtained by placing the first caliper at the midpoint of the convex curvature of the wall of the right aortic sinus and the second caliper at the point of the aortic wall where the non-coronary and left coronary aortic cusps merged. The LA diameter was measured from this point by extending the Ao line to the blood-tissue interface of the LA wall. The measurement was performed in early ventricular diastole using the first frame after aortic ejection where the Ao appeared as a symmetrical three-leaf clover with closed aortic valves and a teardrop-shaped LA (Figure 2). Three measurements were performed in consecutive heartbeats and averaged to reduce measurement error.

Intra and Interobserver variability for VHS and RLAD

Intra and interobserver agreement was studied using a complementary pilot study in which 2 different observers (DP and XS) evaluated VHS and RLAD in radiographs from 5 dogs from group A and 5 dogs from group B. Each set of masked and randomized radiographs was evaluated in three occasions. Masking and randomization methods were applied in order to minimize potential biases. Observer bias was

measured as the mean difference for all measurements between observers. Interobserver variability was measured as the variability of the mean difference for each animal. Intraobserver variability was measured as the mean variability between replications for the same animal.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using a commercially available statistical software package^b. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Summary descriptive indexes (means, standard deviation and the corresponding minimum and maximum values) were obtained for the primary variables (VHS, RLAD, LA/Ao) in each subgroup. The association between measurements was obtained by means of Pearson correlation and simple regression model.

The accuracy of each test was measured by means of empirical Receiver Operating Characteristic (ROC) curves, the area under the curve (AUC) and their confidence intervals. The optimal cut-off value that jointly maximizes sensitivity and specificity for each test was determined using the Youden index. Sensitivity and specificity and their confidence intervals were computed at the optimal cut-off point.

RESULTS

Descriptive statistics

In group A, 3 dogs presented with MVD and the remaining 28 were normal. In group B, 44 dogs presented with MVD and 2 did not present signs of valvular disease. Dogs with MVD were classified according to the ACVIM consensus panel guidelines for disease staging¹⁹ as follows: 4 dogs in stage B1, 15 dogs in stage B2 and 24 dogs in stage C.

Dogs in stage A were patients at high risk for developing heart disease but that currently have no identifiable structural disorder of the heart. Dogs in stage B were patients with structural heart disease but that have never developed clinical signs caused by heart failure (Stage B1: asymptomatic patients that have no radiographic or echocardiographic evidence of cardiac remodeling. Stage B2: asymptomatic patients that have hemodynamically significant valve regurgitation, as evidenced by radiographic or echocardiographic findings of left-sided heart enlargement). Dogs in stage C were patients with past or current clinical signs of heart failure associated with

structural heart disease. Dogs in stage D were patients with end-stage disease with clinical signs of heart failure that are refractory to standard therapy.

Group B showed greater values for all variables: Mean RLAD value was 1.41 \pm 0.23 in group A, and 2.54 \pm 0.52 in group B; mean VHS value was 10.19 \pm 0.60 in group A, and 12.05 \pm 1.17 in group B and finally, mean LA/Ao values was 1.33 \pm 0.13 in group A, and 2.47 \pm 0.55 in group B. Boxplots for each variable are shown in Figure 3.

Pearson correlation, sensitivity and specificity

A statistically significant positive correlation ($r > 0.78$) was observed between VHS and RLAD (Table 1), with the highest correlation being between RLAD and LA/Ao ($r = 0.84$).

Sensitivity and specificity values determined for VHS and RLAD were considered regarding the detection of LAE with the criterion LA/Ao > 1.6 .

The sensitivity and specificity for VHS were 76.1% (63.04-87.01) and 93.5% (83.87-100) respectively; whereas for RLAD these indexes were 93.5% (84.78-100) and 96.8% (90.32-100) respectively. ROC curve and AUC for RLAD are depicted in Figure 4. The VHS and RLAD optimal cut-off values which provided the greatest sensitivity and specificity for detecting LAE (maximal reference values) were of 11.05v and 1.8v respectively. ROC curves comparisons between VHS and RLAD are depicted in Figure 5: No statistical differences between AUC values were obtained, $p = 0.2743$ (-0.0211-0.0744). The AUC and confidence limits for VHS and RLAD were respectively 0.9425 (0.8952-0.9898) and 0.9691 (0.9281-1.00). The confidence interval of ROC curves for VHS and RLAD are depicted in Figure 6.

Intra and Interobserver variability

Regarding VHS, observer 1 (DP) presented with a 0.08 variability between measurements and observer 2 (XS) with a 0.03 (Table 2). Regarding RLAD, both observers presented with a 0.01 variability between measurements (Table 2). An interobserver variability of 0.26 and 0.17 was observed for VHS and RLAD measurements with observer biases of -0.09 and 0.06 respectively.

DISCUSSION

This study describes, for the first time, an objective measurement (RLAD) to estimate LAE based on thoracic radiology in dogs with MVD. LA/Ao ratio is the most commonly echocardiographic measurement used to detect LAE.⁵⁻⁷

Using an index (LA/Ao ratio) to determine LAE is superior to using other LA measurements normalized to body weight or body surface area, as the index is an independent internal ratio.⁶

The RLAD was devised to measure the extent of this “bulging” through a VHS-derived measurement and therefore estimate left atrial dimensions.

In cases with only mild LAE, it can be difficult to accurately differentiate the dorsal border of the left atrium due to the superimposition of the bronchial tree but also and most importantly, the neighbouring pulmonary veins. The latter will show the same radiographic opacity. Previous radiographic references have almost certainly included these veins within the soft tissue opacity described as LAE.¹¹ The authors acknowledge this anatomical pitfall of the RLAD but recommend including the most dorsal aspect of the soft tissue opacity situated caudal to the carina to increase the level of consistency of the obtained measurements. The dorsal edge of a markedly enlarged left atrium is easier to differentiate from the veins.

The usefulness of this measurement is depicted by the strong correlation ($r = 0.84$) observed between RLAD and LA/Ao in this study. Similarly, a good correlation was also observed between VHS and LA/Ao ($r = 0.8$), although less strong than previously reported in another study ($r = 0.9$).²⁰ This difference in correlation strength may be due to the fact that this study addresses naturally occurring disease, consequently increasing population variability or to difference in heart sizes spectrum in each study.

In that previous study, cardiomegaly was experimentally induced by ventricular pacing in a more homogenous population.

RLAD and VHS provide therefore a good estimate of left atrial dimensions when compared to the current standard method used for this purpose (LA/Ao).

In order to assess the value of these two measurements for the quantification of LAE, their respective sensitivity and specificity for this purpose was estimated and respective optimal cut-off values were determined. In our study, RLAD proved to be the most sensitive (93.5%) and specific (96.8%) tool for this purpose, with an optimal cut-off value of 1.8v. VHS was less sensitive (76.1%) and specific (93.5%) with an optimal

cut-off value of 11.05v. The optimal cut-off values obtained in this study for VHS were higher than those reported previously^{9,10}. This may be due to 1) differences in study populations, especially in regard to breed and different patterns of LA enlargement in different stages of disease 2) interobserver variability²¹ 3) the method of defining “normal”: we used a population defined as $LA/Ao \leq 1.6$.

Mild improvement on AUC and sensitivity values using RLAD as compared to VHS for evaluating left atrial size indicate the potential value of this new radiographic diagnostic tool.

Intra and interobserver variability were also assessed for RLAD to determine its repeatability and reproducibility, both important characteristics for any objective measurement tool, and since one landmark for RLAD is taken from the bisection of the VHS axes the same was performed for the latter. No significant differences were found in agreement between observers for both indexes VHS and RLAD. Mean and CV for both radiographic variables were similar between observers. Intraobserver variability was small, especially in the case of RLAD intraobserver variability (0.01), confirming the repeatability of the measurements for the same observer. Observer bias was also negligible for both tests. Thus, a high reproducibility and repeatability were observed for RLAD and VHS.

Limitations of the study

The MVD population in this study consisted of a series of dogs arbitrarily presented to cardiology referral centers. In this way, this population may not be representative of the general canine population with MVD, possibly including a higher proportion of dogs in a more advanced disease state.

In fact, 24 out of 46 dogs in group B were classified in disease stage C, with 37 out of 46 dogs presenting with a $LA/Ao > 2$. This fact contributes to the high correlation observed between RLAD and LA/Ao . Further studies are needed in order to get enough observations in the clinical spectrum of LA/Ao to be able to produce statistics for clinically useful cut-off values for mild, moderate and severe left atrial enlargement, especially in dogs presenting with only mild to moderate LAE.

Furthermore LAE was estimated only by 2D echocardiography, which although widely accepted non-invasive clinically useful method, it does not constitute a real gold standard method for this purpose as could be MRI (magnetic resonance imaging). MRI

should be used in the following studies involving LAE assessment with RLAD as a gold standard method.

Conclusion

The new radiographic measurement named RLAD showed high sensitivity and specificity for detecting LAE with a strong correlation with LA/Ao ratio. The proposed optimal cut-off value for RLAD is 1.8v. RLAD would provide clinicians with a simple and cost-effective tool for the detection of LAE in dogs with MVD.

FOOTNOTES

- a. Microsoft ® Office Powerpoint 2007 (©Microsoft Corporation, USA)
- b. SAS ® System v9.1.3 software package (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.) and R v2.12

References:

1. Olsen LH, Häggström J, Petersen HD. Acquired valvular heart disease. In: Ettinger SJ, Feldman EC, eds. Textbook of Veterinary Internal Medicine, 7th ed. St. Louis: Saunders Elsevier; 2010.
2. Borgarelli M, Savarino P, Crosara S, et al. Survival characteristics and prognostic variables of dogs with mitral regurgitation attributable to myxomatous valve disease. J Vet Intern Med 2008;22:120-128.
3. Lord P, Hansson K, Kvarn C, et al. Reader performance in radiographic diagnosis of signs of mitral regurgitation in cavalier King Charles spaniels. J Small Anim Pract 2010;51:210-218.
4. Hansson K. Diagnostic imaging of cardiopulmonary structures in normal dogs and dogs with mitral regurgitation. Doctoral thesis. Swedish university of agricultural sciences. Uppsala, 2004.
5. Boon JA. Evaluation of size, function and haemodynamics. In: Cann CC, ed. Manual of Veterinary Echocardiography. Baltimore: Williams & Wilkins; 1998:151-179.

6. Hansson K, Haggstrom J, Kwart C, et al. Left atrial to aortic root indices using two-dimensional and M-mode echocardiography in cavalier King Charles spaniels with and without left atrial enlargement. *Vet Radiol Ultrasound* 2002;43:568-575.
7. Rishniw M, Erb HN. Evaluation of four 2-dimensional echocardiographic methods of assessing left atrial size in dogs. *J Vet Intern Med* 2000;14:429-435.
8. Kittleson MD. Radiography of the cardiovascular system. In: Kittleson MD, Kienle RD, eds. *Small Animal Cardiovascular Medicine* Mosby, St Louis; 1998:47-71.
9. Buchanan JW, Bucheler J. Vertebral scale system to measure canine heart size in radiographs. *J Am Vet Med Assoc* 1995;206:194-199.
10. Buchanan JW. Vertebral scale system to measure heart size in radiographs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2000;30:379-393, vii.
11. Johnson V, Hansson K, Maï W et al. The heart and major vessels. In: *BSAVA manual of canine and feline thoracic imaging*, 1st ed British Small Animal Veterinary Association; 2008:86-176.
12. Carlsson C, Haggstrom J, Eriksson A, et al. Size and shape of right heart chambers in mitral valve regurgitation in small-breed dogs. *J Vet Intern Med* 2009;23:1007-1013.
13. Thomas WP, Gaber CE, Jacobs GJ, et al. Recommendations for standards in transthoracic two-dimensional echocardiography in the dog and cat. *Echocardiography Committee of the Specialty of Cardiology, American College of Veterinary Internal Medicine. J Vet Intern Med* 1993;7:247-252.
14. Pedersen H, Kristensen B, Norby B, et al. Echocardiographic study of mitral valve prolapse in Dachshunds. *Zentralbl Veterinarmed A* 1996;43:103-110.
15. Olsen L, Martinussen T, Pedersen H. Early echocardiographic predictors of myxomatous mitral valve disease in Dachshunds. *Vet Rec* 2003;152:293-297.
16. Hetyey C, Voros K, Reiczigel J. Comparison of two-dimensional echocardiographic measurements of the left atrium in healthy dogs. *Acta Vet Hung* 2005;53:23-33.
17. Dudas-Gyorki Z, Bende B, Hetyey C, et al. Two-dimensional echocardiographic measurements of the left atrium in dogs with cardiac disease. *Acta Vet Hung* 2009;57:203-215.
18. Häggström J, Hansson K, Karlberg, et al. Plasma concentration of atrial natriuretic peptide in relation to severity of mitral regurgitation in Cavalier King Charles Spaniels. *Am J Vet Res* 1994;55(5):698-703.

19. Atkins C, Bonagura J, Ettinger S, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of canine chronic valvular heart disease. ACVIM Consensus Statement. *J Vet Intern Med* 2009; 1–9.
20. Nakayama H, Nakayama T, Hamlin RL. Correlation of cardiac enlargement as assessed by vertebral heart size and echocardiographic and electrocardiographic findings in dogs with evolving cardiomegaly due to rapid ventricular pacing. *J Vet Intern Med* 2001;15:217-221.
21. Hansson K, Häggström J, Kvarn C, et al. Interobserver variability of vertebral heart size measurements in dogs with normal and enlarged hearts. *Vet Radiol Ultrasound* 2005;46:122-130.

FIGURES

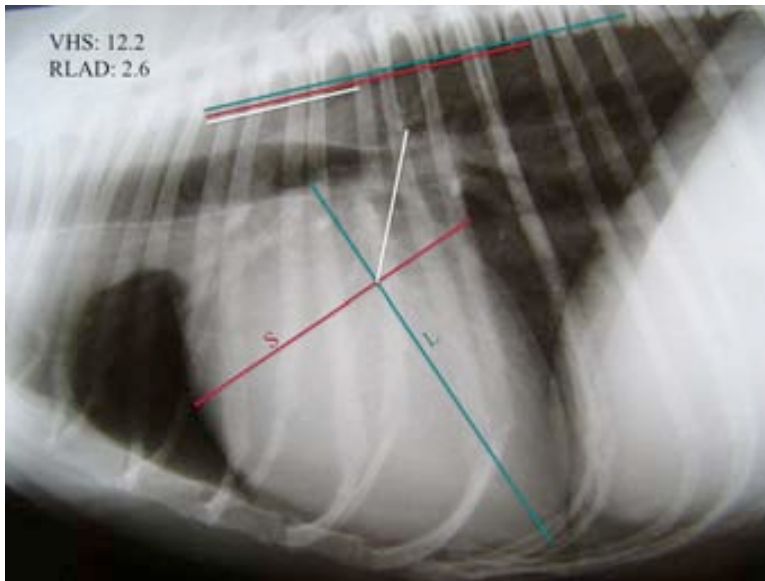


Fig.1. Right lateral thoracic radiograph. Vertebral Heart Scale (VHS), long (L) and short (S) cardiac axes are shown. VHS is expressed as total units of vertebral length: 12.2v. Radiographic left atrial dimension (RLAD) is shown (white line). All measurements were repositioned parallel to the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the fourth thoracic vertebra (T4). The size of the LA was thus expressed as total units of vertebral length: 2.6v.

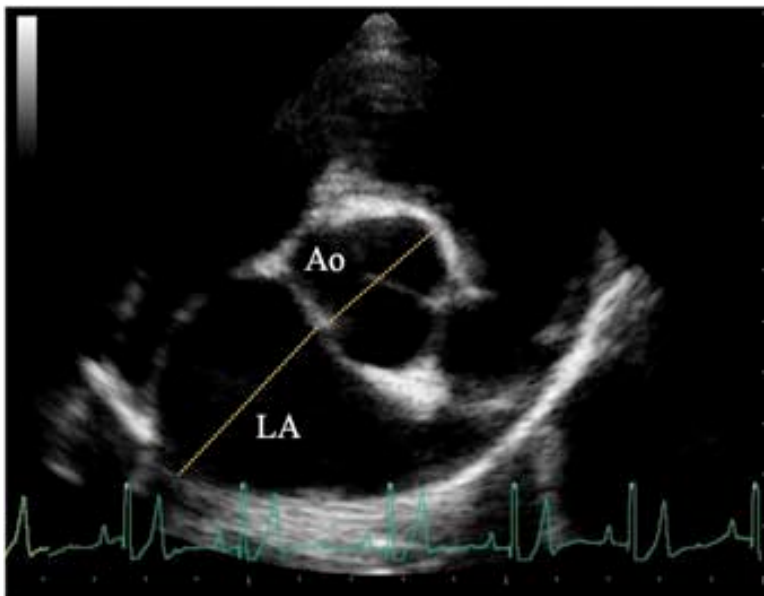


Fig.2. 2D-right parasternal short-axis view at aortic root level. The right coronary, left coronary and noncoronary cusps of the aorta can be seen. Aorta (Ao), left atrium (LA).

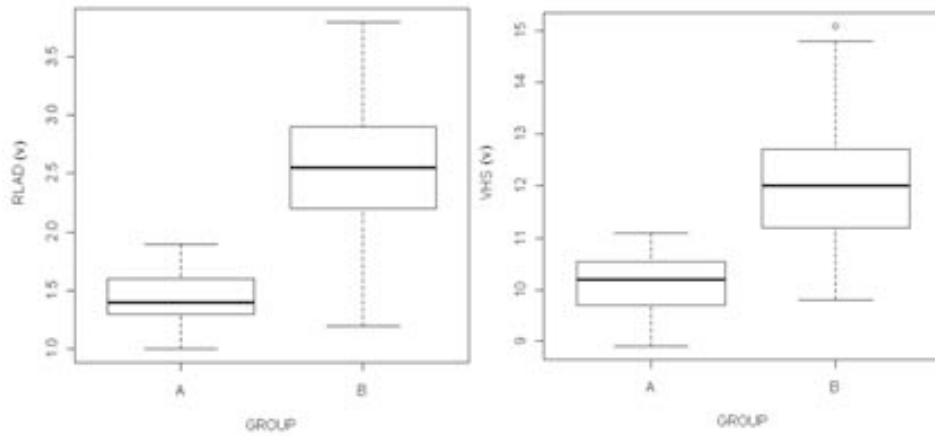


Fig.3. Boxplot of Distribution of VHS and RLAD in group A and group B.

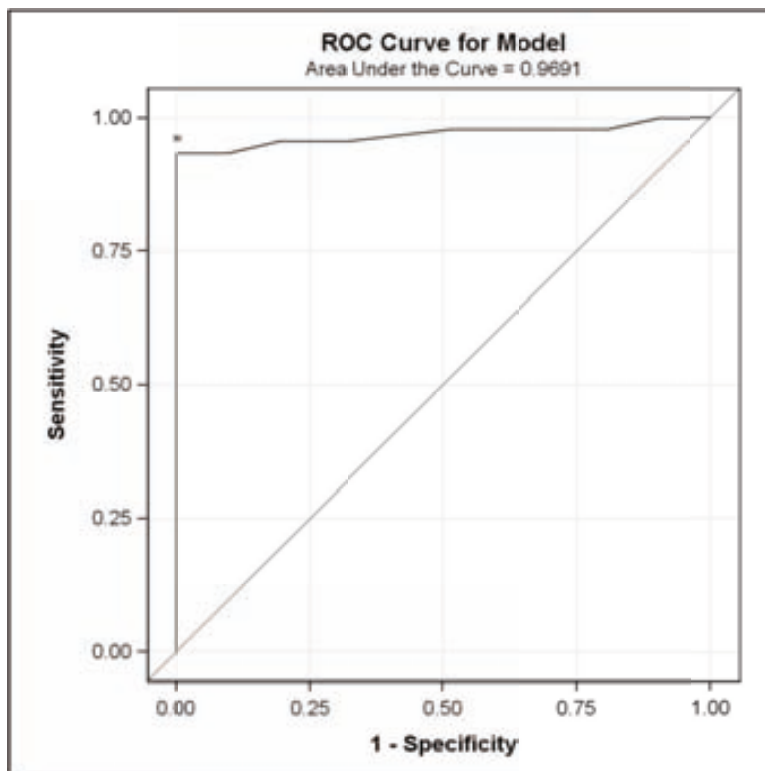


Fig.4. ROC curve and the area under the curve (AUC) for variable RLAD. The optimal cut-off point (or reference value) for this variable is shown and quantified in 1.8 vertebral bodies (*). AUC value was 0.97.

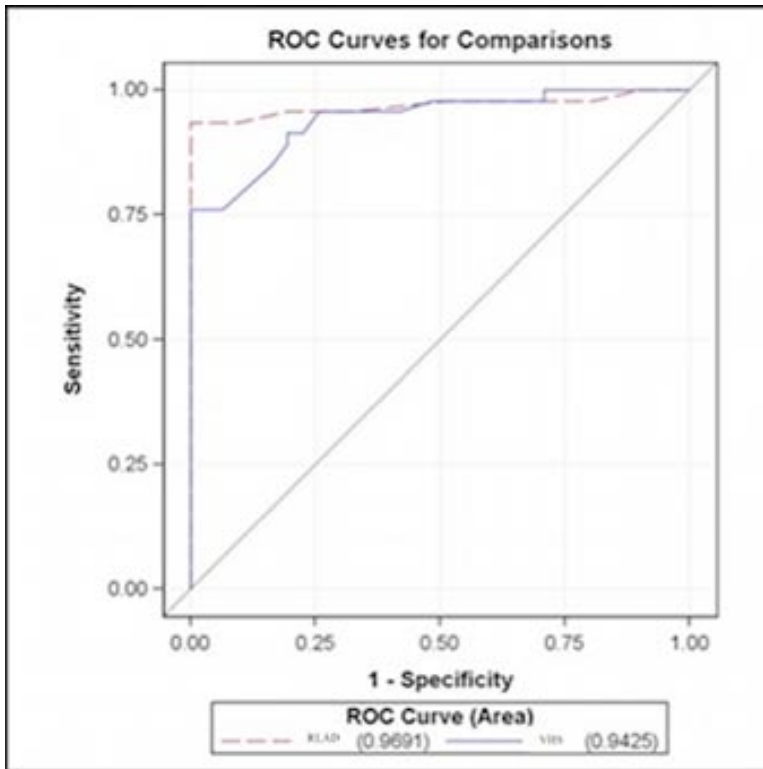


Fig.5. Comparisons between ROC curves and areas under the curve (AUC) for variables VHS and RLAD. The optimal cut-off point (reference value) for these variables are shown and quantified in 11.05 and 1.8 vertebral bodies. AUC for VHS was 0.94 and AUC for RLAD was 0.97.

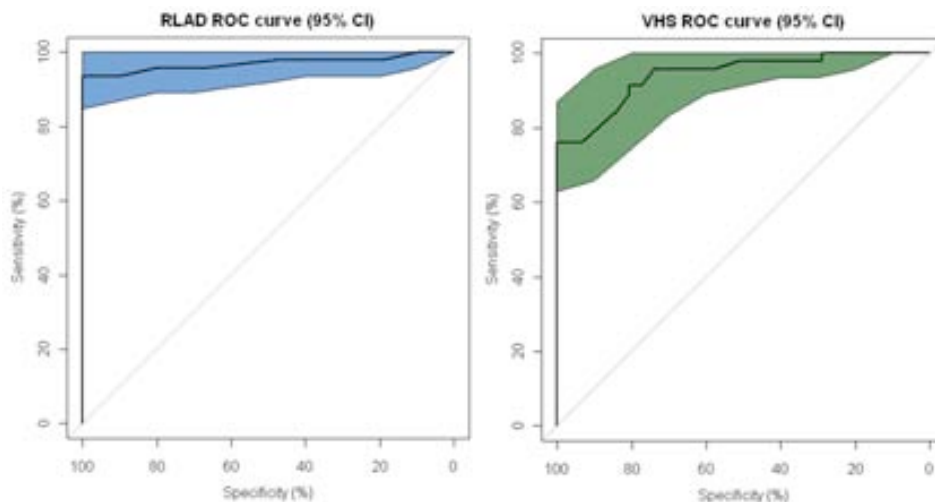


Fig.6. Confidence interval for ROC curves of VHS and RLAD

TABLES

Table 1. Table of Pearson correlation coefficients (*r*) between diagnostic tests. (*n* = 77, *p* < 0.05)

	Pearson Correlation	P-Value
VHS vs RLAD	0.786	<0.0001
LA/Ao vs RLAD	0.838	<0.0001
VHS vs LA/Ao	0.802	<0.0001

VHS: Vertebral Heart Scale, LA/Ao: left atrium-to-aorta ratio, RLAD: Radiographic left atrial dimension.

Table 2. Intraobserver agreement for VHS and RLAD

	Observer	N	Mean	Std Dev	CV	Intra-Obs Var
VHS	1	30	11.36	0.48	4.22	0.08
	2	30	11.44	0.59	5.16	0.01
RLAD	1	30	1.97	0.57	29.03	0.03
	2	30	1.91	0.63	32.67	0.01

N: Number of observations, Std Dev: Standard Deviation and CV: Coefficient of Variation, Intra-Obs Var: Intraobserver variability

5.2 ESTUDIO 2

HEART TO SPINE MEASUREMENTS TO DETECT LEFT ATRIAL ENLARGEMENT IN DOGS WITH MITRAL INSUFFICIENCY

Abstract

Echocardiography has supplanted thoracic radiography to determine overall cardiac size and specific chamber enlargement in most situations. The one exception to this rule is determination of left atrial size. Recently, the authors have described Radiographic Left Atrial Dimension (RLAD) as a new radiographic measurement to evaluate left atrial size.

Objectives: To evaluate the clinical usefulness of 2 radiographic measurements, named bronchus to spine (Br-Spine) and RLAD to spine (RLAD-Spine) to detect and quantify left atrial enlargement (LAE). These measurements were compared to RLAD and to left atrium to aortic root ratio (LA/Ao). To propose an alternative measurement to RLAD when the boundaries of the LA are difficult to determine but LAE is suspected and/or wants to be quantified.

Methods: Retrospective study. Br-spine was performed as previously described. RLAD was obtained by bisecting Vertebral Heart Scale (VHS) cardiac axes to the roof of the left atrium. RLAD-Spine was measured from RLAD endpoint perpendicularly to spine. Left atrium to aorta ratio (LA/Ao) assessed by 2D echocardiography was calculated.

Results: Br-Spine and RLAD-Spine sensitivity for detecting LAE were respectively 32.00% and 64.00%. Br-Spine and RLAD-Spine specificity were 96.00%. RLAD and LA/Ao ratio showed the highest correlation (0.88) in this study.

Clinical significance: Br-Spine and RLAD-Spine appear to be less sensitive radiographic measurements than RLAD in detecting LAE in dogs. These measurements could be interesting alternatives to RLAD when the boundaries of the LA are difficult to determine.

Key words: Br-Spine, RLAD-Spine, left atrium measurement, dog.

INTRODUCTION

Echocardiography is superior to radiography to determine cardiac chamber enlargement. However, cardiac radiography is a simple and useful tool to detect left sided cardiac enlargement, particularly LAE.¹ A bulging soft tissue opacity located dorso-caudally to the carina on the latero-lateral view is the most frequently used radiographic sign of LAE.² A new radiographic measurement to evaluate left atrial size, called RLAD, obtained by bisecting the short (S) and long (L) cardiac axes used to calculate VHS, has been described.³

RLAD demonstrated significant correlation with LA/Ao as well as high sensitivity and specificity to detect LAE⁴ in dogs affected by mitral insufficiency.

The distance between the main stem bronchus and the spine (Br-Spine) on the latero-lateral view was described, for the first time, in a study⁵ on interobserver variability of Vertebral Heart Scale measurements (VHS) in dogs with normal and enlarged hearts.

The aim of this measurement was to determine whether variations in long axis measurements of the VHS arose from variation in identifying the reference point at the heart base or the cardiac apex. This measurement was not evaluated as an indicator of cardiac enlargement. As the heart enlarges, however, the distance from its base to the neighbouring vertebrae diminishes. The degree of reduction of this distance could help in evaluating heart enlargement. On one hand, left sided cardiac enlargement leads to a decrease in the distance from the main stem bronchus to the vertebrae;³ on the other hand, LAE causes an enlargement of the dorso-caudally located bulging soft tissue opacity on the latero-lateral view.²

Identifying the exact location of the LA roof is straightforward in cases with moderate to severe LAE but it is difficult to determine its exact position in some normal dogs as several structures are superimposed to each other in this area: left and right main stem bronchi, main pulmonary veins and the bronchial and vascular trees.⁶

Consequently, a radiographic measurement of LAE free of this superimposition could be useful.

Several echocardiographic methods have been published to measure LA dimension.^{7,8,9,10} The most commonly used is the LA to Ao root index (LA/Ao ratio).

Aim of the study: based on measurements obtained in normal dogs and mitral insufficiency (MI) dogs, the aims of this retrospective study are as follows:

- 1) To test if the Br-Spine measurement, previously described, could help in evaluating left atrial enlargement.
- 2) To test if measuring the distance between RLAD endpoint and the neighbouring vertebrae (RLAD-Spine) could help in evaluating the presence of LAE.
- 3) To compare the clinical usefulness of these two radiographic measurements with the LA/Ao ratio, in cases with LAE.
- 4) To propose an alternative measurement to RLAD when the boundaries of the LA are difficult to determine but LAE is suspected and/or wants to be quantified.
- 5) To establish a reference value for Br-Spine and RLAD-Spine in normal dogs.

MATERIALS AND METHODS

Animals

A total of 50 dogs were included in this retrospective study and were divided into 2 groups, according to the absence (Group A) or presence (Group B) of LAE defined as $LA/Ao > 1.6$.⁷ Group A – control group, composed of 25 dogs without LAE (18 males, 7 females; aged 1-7 years; weighing 4–20 kg) and Group B, composed of 25 dogs with LAE (14 males, 11 females; aged 6-10 years; weighing 4.8–21.4 kg). Breeds included mainly mixed breed dogs (n=46). Represented pure breeds included: French Bulldog, Pug, Cavalier King Charles Spaniel and Pekingese (n=1 each).

All dogs had a complete radiographic and echocardiographic examination, complete clinical evaluation including physical exam, complete blood count (CBC) and biochemistry panel.

Owner consent was obtained for all dogs enrolled.

Exclusion criteria

Any dog with cardiac disease either with a sole diagnosis different from mitral valve disease (MVD) or any disease complex including MVD and another condition were excluded from the study. Dogs with pulmonary hypertension or radiographic changes compatible with left sided congestive failure were also excluded.

Radiographic Measurements

All radiographic measurements were obtained using the same software^a. The observers were blinded to all patient details and all measurements were performed in a randomised fashion.

- Br-Spine

The Br-Spine was measured by the same observer (XS) in all dogs from a latero-lateral thoracic radiograph with the dog in right lateral recumbency.

Br-Spine distance was measured in a straight vertical line from the ventral border of the main stem bronchus to the ventral border of the vertebra situated immediately dorsal to the heart base. The dorsal reference point was defined as the intersection point between the vertical measurement from the heart base and an imaginary line between the cranio-ventral and caudo-ventral surface of the vertebrae dorsal to the heart base⁵ (usually T5) (Figure 1).

This measurement was repositioned parallel to the long axis of the thoracic vertebrae from the cranial edge of the fourth thoracic vertebra (T4). Br-Spine was thus expressed as total units of vertebral length to the nearest 0.1 vertebra (v).

For consistency, a Br-Spine value of one unit included the length of a vertebral body and the width of the caudally positioned intervertebral disc.

- RLAD

The RLAD was measured by the same observer (XS) in all dogs from a latero-lateral thoracic radiograph with the dog in right lateral recumbency.

A line bisecting the 90° angle formed by the intersection of the VHS L and S axes was drawn from this point to the radiographic projection of the roof of the left atrium (Figure 2). Computer software was used to ensure an exact 45° angle between this line and the intersection of L and S. This length was then expressed in terms of the equivalent of thoracic vertebra body lengths measuring from the cranial edge of the fourth thoracic vertebra and to the nearest 0.1v.

-RLAD-Spine

The RLAD-Spine was measured by the same observer (XS) in all dogs from a latero-lateral thoracic radiograph with the dog in right lateral recumbency.

RLAD-Spine distance was measured perpendicularly to the vertebrae in a straight line from the endpoint of RLAD to the ventral aspect of the vertebral column. The dorsal reference point was defined as the intersection point between the vertical measurement from the left atrial roof and an imaginary line between the cranio-ventral and caudo-ventral surface of the vertebrae dorsal to LA (usually T6) (Figure 3).

This measurement was repositioned parallel to the long axis of the thoracic vertebrae from the cranial edge of T4. RLAD-Spine was thus expressed as total units of vertebral length to the nearest 0.1v. For consistency, a RLAD-Spine value of one unit included the length of a vertebral body and the width of the caudally positioned intervertebral disc.

Echocardiographic Measurements

A complete transthoracic echocardiographic examination (TTE) was performed in all dogs by the same author (OD). The dogs were placed in right and left lateral recumbency, unsedated, and the examinations were performed according to the American Society of Echocardiography standards and guidelines and other published recommendations.¹¹

LA/Ao

LA/Ao ratio was obtained as the ratio between the left atrium (LA) and cross-sectional aortic (Ao) diameters obtained by 2D TTE from a right parasternal short axis view as described in earlier reports.^{10,12,13} The Ao diameter was obtained by placing the first caliper at the midpoint of the convex curvature of the wall of the right aortic sinus and positioning the second caliper at the merging point of the non-coronary and left coronary aortic cusps on the opposite aortic wall. The LA diameter was measured from this point by extending the Ao line to the blood-tissue interface of the distant LA wall. The measurement was performed in early ventricular diastole using the first frame after aortic ejection where the Ao appeared as a symmetrical three-leaf clover with closed aortic valves and a teardrop-shaped LA (Figure 4). Three measurements were performed in consecutive cardiac cycles and averaged to reduce measurement error.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using a commercially available software package^b.

In all statistical decisions, statistical significance was set at $p < 0.05$.

Descriptive statistical analysis, including mean, standard deviation and the corresponding minimum and maximum values for quantitative variables (Br-Spine, RLAD, RLAD-Spine, LA/ Ao) or counts and percentages for qualitative variables were obtained for each group.

Pearson correlation coefficients and statistical significance were calculated in order to evaluate the agreement between diagnostic tests.

Accuracy for each test was obtained by means of empirical Receiver Operating Characteristic (ROC) curves and area under the curve (AUC). Confidence intervals for AUC values were obtained using Mann-Whitney's method. The optimal cut-off value that jointly maximizes sensitivity and specificity for each test was determined using the Youden index.¹⁴ In order to compare the accuracy for each diagnostic test, statistical comparisons between AUC values were performed using DeLong's method.¹⁵

RESULTS

The results of the statistical analysis for Br-Spine, RLAD, RLAD-Spine and LA/Ao ratio for both groups are summarised in Table 1.

Br-Spine and RLAD-Spine are inversely correlated to RLAD and LA/Ao ratio. The highest correlations obtained in this study were between RLAD-Spine and Br-Spine and between RLAD and LA/Ao ratio (0.88 in both cases). Table 2 shows a matrix of correlation coefficients of the 4 variables.

In order to measure the accuracy of Br-Spine, RLAD and RLAD-Spine to discriminate between LAE dogs and dogs without LAE, ROC curve plots were obtained (Figure 5). For a given diagnostic test, its ROC curve represents sensibility and specificity values for each possible cut-off criteria used to classify animals. Thus, an optimal cut-off criterion was chosen from the ROC curve selecting the point maximizing the sum of sensibility and specificity. This procedure gives the Youden Index. RLAD optimal decision criteria was 1.8v, whereas Br-Spine and RLAD-Spine optimal cut-off values were 1v and 0.8v, respectively.

Based on these optimal decision criteria, sensibility and specificity are presented in Table 3. RLAD sensitivity (96%) to detect LAE was higher than the sensitivity of Br-Spine (32%) and RLAD-Spine (64%). RLAD, Br-Spine and RLAD-Spine showed the same specificity to detect LAE (96%).

Finally, a global accuracy measure for each marker was also obtained using the area under the ROC curve (AUC). Results are summarised in Table 4. These AUC values were compared by pairs using DeLong's test.

Table 5 shows paired comparisons between AUC values for all markers. Br-Spine accuracy index is statistically lower as compared to other markers. RLAD-Spine accuracy index is slightly lower than RLAD.

DISCUSSION

Thoracic radiology is a very useful tool to detect general cardiac enlargement, and it is possible to some extent to infer the location of the major chambers on a radiograph and to identify pathological changes in their size.⁶

Right sided cardiac enlargements are difficult to diagnose on thoracic radiographs and it is easy to overestimate this enlargement. Cardiac radiography is mainly useful in detecting left sided enlargement, being particularly accurate in detecting LAE.¹

In the study presented here, 2 new radiographic measurements to detect and quantify LAE (Br-Spine, RLAD-Spine) were described and compared to RLAD and LA/Ao ratio. These new measurements showed the same specificity but lower sensitivity than RLAD in detecting LAE.

In our study the highest correlations were observed between Br-Spine and RLAD-Spine and between RLAD and LA/Ao ratio.

Br-Spine and RLAD-Spine showed a strong correlation, probably because they quantify the distance from the heart base (left main stem bronchus and RLAD endpoint respectively) to the spine and they are similarly affected by left sided enlargement.

High correlation between RLAD and LA/Ao ratio (0.85) was shown in a previous study.⁴ Br-Spine and RLAD-Spine correlate well to LA/Ao ratio but less than RLAD. This is clinically relevant as it demonstrates that RLAD remains the best radiographic tool to detect LAE while LA/Ao ratio remains the best imaging tool to detect LAE.

Having said that, Br-Spine and RLAD-Spine could become clinically relevant alternatives when RLAD is difficult to measure.

In this study, RLAD and RLAD-Spine showed the highest correlation between radiographic measurements; RLAD-Spine showed a higher correlation to LA/Ao ratio than Br-Spine, probably because the latter does not specifically detect LAE.

In our study, RLAD-Spine and, especially Br-Spine, showed low sensitivity to detect LAE. RLAD showed the highest sensitivity and specificity to detect LAE.

A possible explanation consists in the greater effect that the dog's thoracic conformation has on these 2 new radiographic measurements when compared to RLAD. In addition, several technical factors can have a significant effect on these 2 new radiographic measurements, as has been previously described in reference to the VHS;¹⁶ the respiratory phase, variations in the conformation of individual dogs of the same breed and slight inconsistencies in positioning for radiography can all decrease or increase the heart to spine distance.

In our study, RLAD, RLAD-Spine and Br-Spine detect all normal dogs without LAE and give 4% false negatives.

On one hand, high AUC indexes for RLAD indicate its diagnostic value; on the other hand, lower Br-Spine AUC index indicates a lower diagnostic value.

Even if RLAD shows higher sensitivity than RLAD-Spine, no statistically significant differences have been shown between these 2 markers in detecting LAE (Table 5 and Fig.5). However, in a clinical setting, the use of RLAD is recommended. This is based on its high sensitivity and sensibility in detecting LAE, as well as its high correlation with LA/Ao and high AUC.

In our study, values of 1v, 0.8v and 1.8v for Br-Spine, RLAD-Spine and RLAD, respectively, helped in differentiating animals with or without LAE.

Thus, using these reference values could decrease the overlap between normal dogs and dogs with LAE.

Limitations of the study

In several normal dogs the roof of LA did not match the end of RLAD (due to 45° angle use); in these dogs, we propose an alternative measurement, which was initially

suggested by Buchanan (ACVIM 2010, personal communication) from the visualized roof of the LA to the spine.

Conclusions

Br-Spine and RLAD-Spine constitute new radiographic measurements to detect and objectively quantify LAE. They both appear to be less sensitive radiographic measurements than RLAD in detecting LAE in dogs.

When LA boundaries are radiographically well visualized (in the majority of cases, especially in dogs with moderate or severe LAE) we still propose RLAD as the best method of detecting and quantifying LAE. Nevertheless RLAD-Spine could help in assessing LAE.

When the boundaries of the LA are not easily identifiable radiographically, the use of VHS or Br-Spine measurement may constitute a useful clinical alternative.

FOOTNOTES

- a. Microsoft ® Office Powerpoint 2007 (©Microsoft Corporation, USA)
- b. SAS ® System v9.1.3 software package (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.)

References:

1. Kittleson MD. Radiography of the cardiovascular system. In: Kittleson MD, Kienle RD, eds. *Small Animal Cardiovascular Medicine*. St. Louis, Mosby; 1998:47-71.
2. Hansson K, Häggström J, Kvarn C, Lord P. Reader performance in radiographic diagnosis of signs of mitral regurgitation in Cavalier King Charles spaniels. *Journal of Small Animal Practice* 2009; 50:44-53.
3. Buchanan JW. Vertebral scale system to measure heart size in radiographs. In: Watrous BJ, ed. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice Clinical Radiology*. Philadelphia, PA: WB Saunders; 2000:379–393.

4. Sanchez X, Prandi D, Domenech O. A new radiologic measurement to study left atrial enlargement in dogs with mitral insufficiency: preliminary study. ACVIM Annual Meeting, Anaheim,CA, 2010.
5. Hansson K, Häggström J, Kvarn C, Lord PF. Interobserver variability of vertebral heart size measurements in dogs with normal and enlarged hearts. *Vet Radiol Ultrasound* 2005; 46:122-130.
6. Johnson V, Hansson K, Maï W, et al. The heart and major vessels. In: Tobias Schwarz and Victoria Johnson, eds. *BSAVA manual of canine and feline thoracic imaging*. 1st ed. British Small Animal Veterinary Association; 2008: 86-176.
7. Hansson K, Häggström J, Kvarn C, Lord PF. Left atrial to aortic root indices using two-dimensional and M-mode echocardiography in Cavalier King Charles spaniels with and without left atrial enlargement. *Vet Radiol Ultrasound* 2002; 43:568-575.
8. Boon J, Wingfield WE, Miller CW. Echocardiographic indices in the normal dog. *Vet Radiol* 1983; 24:214-221.
9. Lombard CW. Normal values of the canine M-mode echocardiogram. *Am J Vet Res* 1984; 45:2015-2018.
10. Rishniw M, Erb HN. Evaluation of four 2-dimensional echocardiographic methods of assessing left atrial size in dogs. *J Vet Intern Med* 2000; 14:429-435
11. Thomas WP, Gaber CE, Jacobs GJ, et al. Recommendations for standards in transthoracic two-dimensional echocardiography in the dog and cat. Echocardiography Committee of the Specialty of Cardiology, American College of Veterinary Internal Medicine. *J Vet Intern Med* 1993;7:247-252.
12. Hetyey C, Voros K, Reiczigel J. Comparison of two-dimensional echocardiographic measurements of the left atrium in healthy dogs. *Acta Vet Hung* 2005;53:23-33.
13. Dudas-Gyorki Z, Bende B, Hetyey C, et al. Two-dimensional echocardiographic measurements of the left atrium in dogs with cardiac disease. *Acta Vet Hung* 2009;57:203-215.
14. Youden WJ. Index for rating diagnostic tests. *Cancer* 1950; 3:32-35.
15. DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 1988; 44:837-845.

16. Lamb CR, Wilkeley H, Boswood A, Pfeiffer DU. Use of breed-specific ranges for the vertebral heart scale as an aid to the radiographic diagnosis of cardiac disease in dogs. *Vet Rec* 2001; 148:707-711.

FIGURES

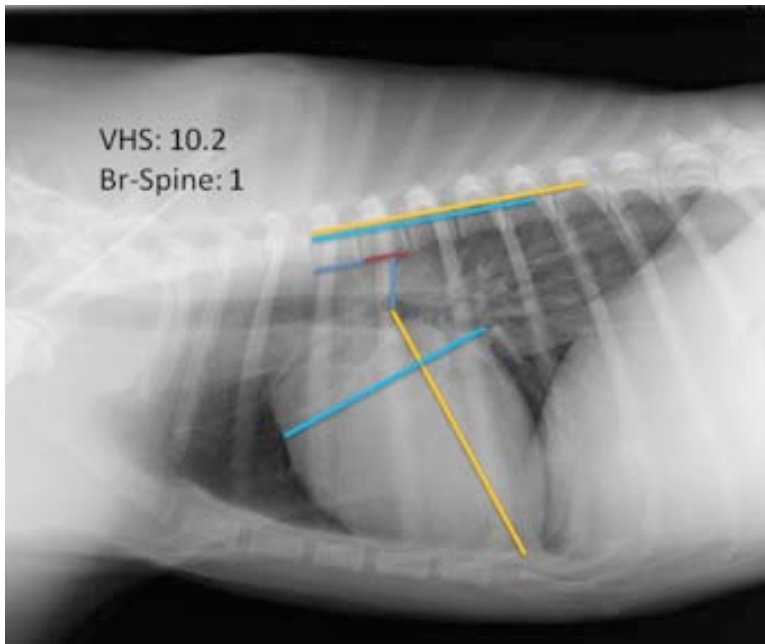


Fig.1. Right latero-lateral thoracic radiograph. The Vertebral Heart Scale (VHS), long (L) (yellow) and short (S) (cyan) cardiac axes are shown. VHS is expressed as total units of vertebral length: 10.2v in this particular case.

Bronchus to spine measurement (dark blue line) and the distance between the cranio-ventral and caudo-ventral surface of the vertebrae dorsal to the heart base (red line) were shown.

(L), (S) and Br-Spine measurements were repositioned parallel to the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the fourth thoracic vertebra (T4).

Br-Spine was thus expressed as total units of vertebral length: 1v.

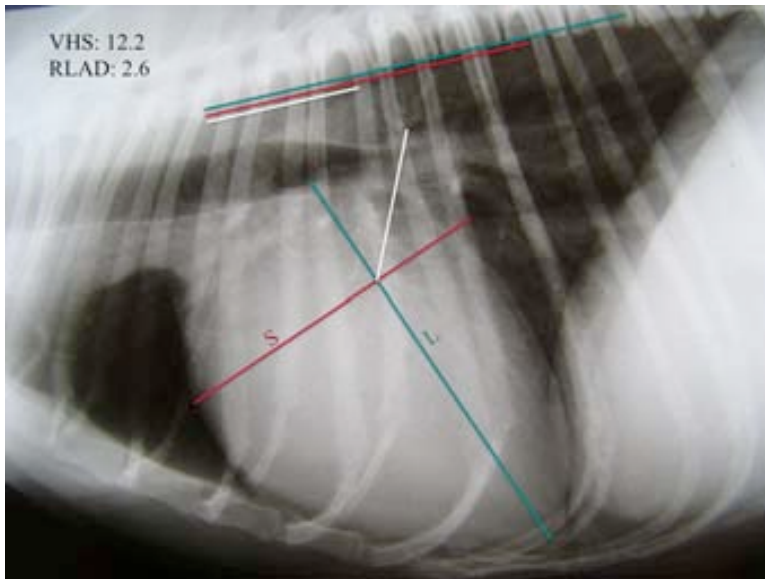


Fig.2. Right lateral thoracic radiograph. Vertebral Heart Scale (VHS), long (L) and short (S) cardiac axes are shown. VHS is expressed as total units of vertebral length: 12.2v. Radiographic left atrial dimension (RLAD) is shown (white line). All measurements were repositioned parallel to the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the fourth thoracic vertebra (T4). The size of the LA was thus expressed as total units of vertebral length: 2.6v

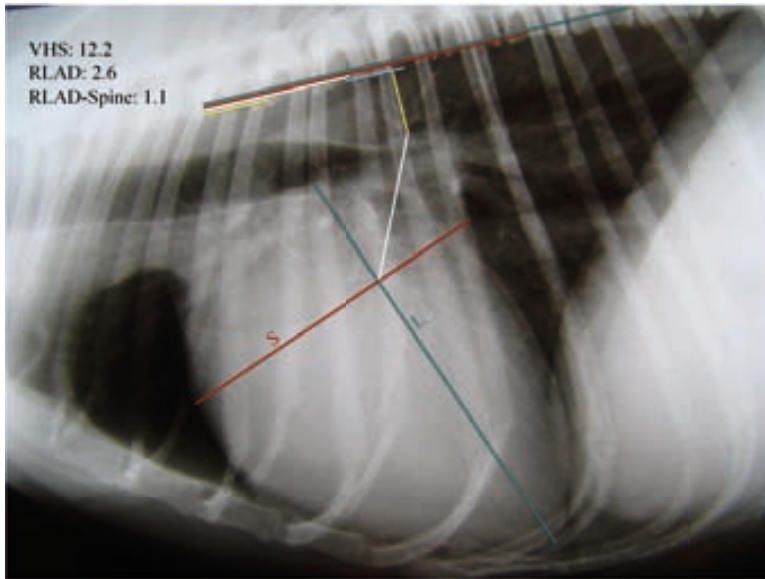


Fig.3. Right lateral thoracic radiograph. Vertebral Heart Scale (VHS), long (L) and short (S) cardiac axes are shown. VHS is expressed as total units of vertebral length: 12.2v. Radiographic left atrial dimension (RLAD) is shown (white line). RLAD to spine measurement (yellow line) and the distance between the cranio-ventral and caudo-ventral surface of the vertebrae dorsal to the heart base (blue line) are shown. (L), (S) and RLAD-Spine were repositioned parallel to the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of the fourth thoracic vertebra (T4). RLAD-Spine was thus expressed as total units of vertebral length: 1.1v in this case.

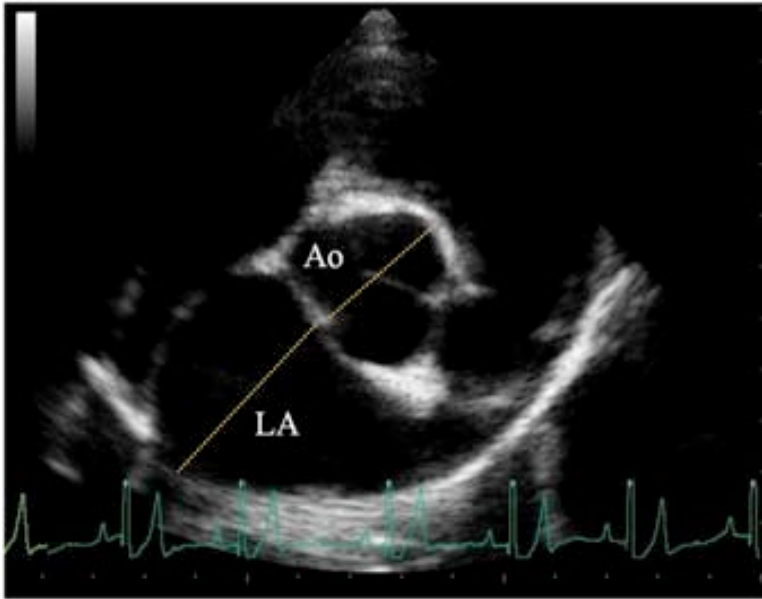


Fig.4. Right parasternal short-axis grey scale ultrasonographic image at Ao root level. The right coronary, left coronary and noncoronary cusps of the Ao valve are visible. Aorta (Ao). Left atrium (LA).

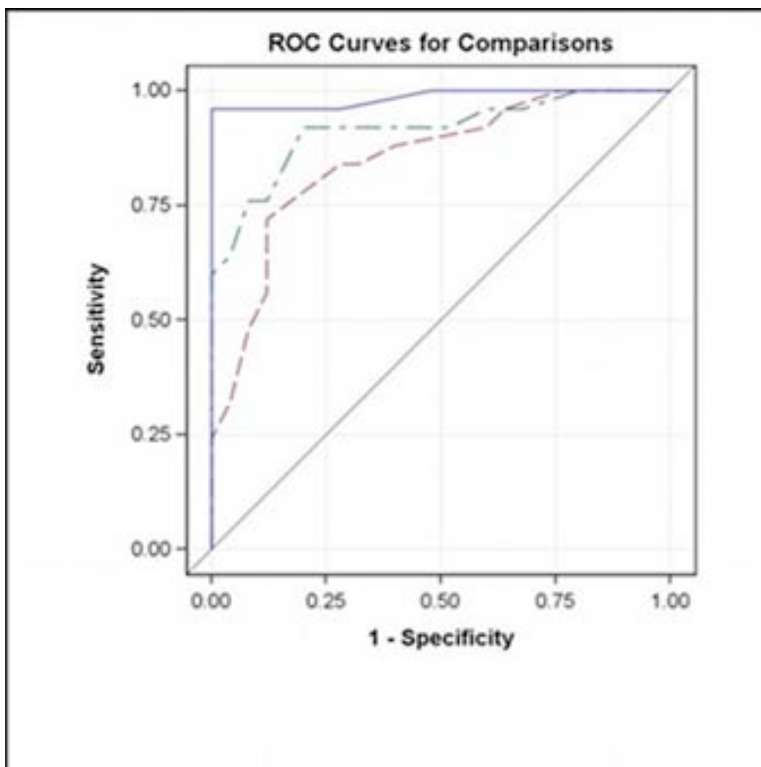


Fig.5. ROC curves for Br-Spine (red line), RLAD (blue line) and RLAD-Spine (green line).

TABLES

Table 1. Descriptive statistical analysis

Group	n	Variable	Mean	SD	Minimum	Maximum
A	25	Br-Spine	1.58	0.32	0.90	2.00
		RLAD-Spine	1.44	0.35	0.70	2.00
		RLAD	1.4	0.23	1.00	1.90
		LA/Ao	1.33	0.13	1.06	1.60
B	25	Br-Spine	1.10	0.34	0.40	1.80
		RLAD-Spine	0.57	0.48	-0.40	1.70
		RLAD	2.62	0.55	1.40	3.80
		LA/Ao	2.52	0.56	1.60	3.50

Br-Spine: Bronchus to Spine, RLAD-Spine: RLAD to Spine, RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension. LA/Ao: left atrium-to-aorta ratio. SD: standard deviation.

Table 2. Matrix of correlation coefficients (*r*) and *p*-values between diagnostic tests (*n*= 50)

Pearson Correlation	Br-Spine	RLAD-Spine	RLAD
RLAD-Spine	0.882 (<0.0001)		
RLAD	-0.549 (<0.0001)	-0.752 (<0.0001)	
LA/Ao	-0.655 (<0.0001)	-0.764 (<0.0001)	0.885 (<0.0001)

Br-Spine: Bronchus to spine, RLAD-Spine: RLAD to spine, RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension, LA/Ao: left atrium-to-aorta ratio.

Table 3. Sensitivity and Specificity of Br-Spine, RLAD-Spine, RLAD to detect LAE

	Br-Spine	RLAD-Spine	RLAD
Sensitivity	32%	64%	96%
Specificity	96%	96%	96%

Br-Spine: Bronchus to spine, RLAD-Spine: RLAD to spine, RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension.

Table 4. AUC values for Br-Spine, RLAD-Spine and RLAD

	AUC	Lower Confidence Limit (95%)	Upper Confidence Limit (95%)
Br-Spine	0.8504	0.744	0.957
RLAD-Spine	0.9144	0.834	0.995
RLAD	0.9848	0.954	1.000

Br-Spine: Bronchus to spine, RLAD-Spine: RLAD to spine, RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension.

Table 5. Paired statistical comparisons between AUC values for Br-Spine, RLAD-Spine, RLAD and LA/Ao

	Br-Spine	RLAD-Spine
RLAD-Spine	0.064 (0.0461)	
RLAD	0.1344 (0.0185)	0.0704 (0.1029)

Br-Spine: Bronchus to spine, RLAD-Spine: RLAD to spine, RLAD: Radiographic Left Atrial Dimension. Values represented are raw difference (p-value).

5.3 ESTUDIO 3

A NEW METHOD OF COMPUTING THE VERTEBRAL HEART SCALE BY MEANS OF DIRECT STANDARDIZATION

Abstract:

The Vertebral Heart Scale (VHS) method described by Buchanan is considered a good objective radiographic measurement to detect cardiac enlargement in dogs. The methodology used can be time-consuming and may benefit from simplification at the time of measuring it.

Objectives: The aim of this study was to describe and compare a simplified VHS computation method based on the previous methodology (Objective VHS) with the methodology used in the original study (Buchanan VHS).

Methods: Objective vs Buchanan methodology of computation of the VHS was compared in 42 dogs: 14 healthy dogs and 28 dogs with mitral insufficiency. In the case of Objective VHS, the sum of the length of the long and short axes of the cardiac silhouette obtained in centimetres using a metric ruler was subsequently converted into units of vertebral length by means of a direct standardization method. The Buchanan VHS was obtained as previously described.

Results: No significant differences in VHS values were found between methodologies in all dogs. A strong positive correlation between Objective and Buchanan VHS was found (0.99).

Clinical significance: The use of direct standardization based on a unit conversion allows obtaining Objective VHS values without transposing long and short axes to the cranial edge of T4.

Keywords: vertebral heart scale, methodology, direct standardization, dog, radiography.

INTRODUCTION

Radiography is a useful tool in the diagnosis of canine cardiac disease, and different authors^{1,2,3,4,5,6} originally proposed different methods to evaluate the presence of cardiomegaly.

Subsequently, other authors,⁷ described the Vertebral Heart Scale (VHS) as a new index to assess cardiac size. They defined the cardiac long axis (L) as the line extending from the heart base to the apex of the cardiac silhouette, and the cardiac short axis (S) as the line perpendicular to the previous one and running across the zone of maximum width of the same silhouette. Both axes were repositioned over the thoracic vertebrae starting from the cranial aspect of the fourth thoracic vertebra (T4) and expressed as total units of vertebral length (v). Their sum defined the VHS. The normal range was 9.7 ± 0.5 vertebrae. A variation on the methodology of obtaining the VHS was published later on by one of the authors.⁸ In dogs with a large left atrium and elevated left caudal lung lobe bronchus caudal to the tracheal bifurcation, the (L) measurement was obtained from the ventral edge of the elevated bronchus to the apex of the cardiac silhouette and the (S) measurement was obtained at the level of the dorsal border of the caudal vena cava to reflect the increase in dimensions of the cardiac silhouette.

Subsequently, some studies related to the VHS^{9,10,11,12} demonstrated that a higher VHS normal value (10.5v) could be expected with several breeds (Boxer, Labrador Retriever, Whippet, Cavalier King Charles Spaniel, Greyhound). One of these studies¹⁰ described breed-specific ranges for six breeds in which the mean VHS was higher than 10.5 in three out of those six breeds: Cavalier King Charles spaniel ($10.6 \pm 0.5v$), Labrador Retriever ($10.8 \pm 0.6v$) and Boxer ($11.6 \pm 0.8v$). In particular, measurements of Boxer dogs showed a higher Vertebral Heart Scale than other breeds. Furthermore, females had smaller mean values than males. As a consequence, interbreed differences, and possibly gender, should be taken into consideration when evaluating the possibility of cardiomegaly on the basis of the VHS.

To date, the VHS remains the most objective radiographic measurement to detect cardiac enlargement in dogs. The methodology used in previous publications to obtain this measurement effectively measures the long axis (L) and short axis (S) in millimetres.^{7,8,13}

In this study we describe an Objective VHS, an adaptation and simplification of the methodology used in previous publications (“Buchanan VHS” from now on in this publication). The Objective VHS uses a direct standardization method to obtain the VHS value. This simplified method could lead to an increase in VHS use by practitioners, particularly when working with digital radiography.

Objectives of the study:

1) to describe and compare the Objective and the Buchanan VHS computation methods and 2) to assess the concordance between them.

Intra and interobserver variability for Objective and Buchanan VHS was also determined.

MATERIALS AND METHODS

Animals

The study consisted of a retrospective analysis of 42 thoracic radiographs from privately owned dogs divided into two groups: Group A: 14 healthy dogs, 8 males and 6 females, with a mean age of 4.5 years and of 4.8–19 kg weight range, used as control group. Breeds represented in this group were mixed-breed (n=10) and one of each of the following: French Bulldog, Pug, Cavalier King Charles Spaniel and Pekingese.

Group B: 28 mixed-breed dogs with mitral insufficiency (17 males and 11 females, with a mean age of 8.3 years and of 5.1–21.2 kg weight range); all animals underwent complete radiographic and echocardiographic examinations as well as a complete clinical evaluation including physical examination, blood pressure, complete blood count (CBC) and biochemistry panel.

In addition, a set of 9 animals, that were part of the study population, was included into a validation protocol comparing both measuring methodologies. Three observers with different expertise at assessing thoracic radiographs (lecturer, PhD student and clinical practitioner) evaluated each animal in three different occasions on three different days. The cases were randomly presented to each observer in each occasion. Each case was evaluated using both radiographic measuring methodologies.

Radiographic Measurements

Only good quality right lateral recumbent thoracic radiographs were used to obtain the measurements (through photographs of the analog images or digital radiographs), aiming to minimize any difficulties in identifying relevant anatomical landmarks.

All images were exported into a commercially available computer software^a that was used to ensure a 90-degree rotation between L and S; this offered continuity through the measuring process, regardless of the origin (analog or digital) of the radiographs.

The **Buchanan method** to obtain the VHS value was performed as follows:

L and S were measured as previously described⁸ (Figure 1).

Using computer software^a, the long axis of the VHS was obtained selecting “line” under the drawing menu. Subsequently, a line (L) was drawn from the ventral border of the left main stem bronchus to the most ventral point of the cardiac apex.

To obtain the short axis, L was selected, duplicated and, through the “size and position” option for this line, a 90 degree rotation was applied. After closing the window “size and position”, the second line, or S distance, was repositioned at the dorsal boundary of the caudal vena cava at the widest craniocaudal region of the cardiac silhouette.

The length of S distance could be adjusted to the size of the cardiac silhouette by first selecting it with the right mouse button. Clicking then with the left mouse button while pressing “shift” to maintain its angulation, its length could be adjusted.

Both distances were repositioned over the thoracic vertebrae starting at the cranial aspect of the fourth thoracic vertebra, running parallel to the long axis of the vertebral column; to do so, both distances were copied and pasted and, using the rotate option previously described, positioned parallel to the vertebral column. The short and long axis dimensions were then added to yield the VHS. The sum of the long and short axes was expressed as total units of vertebral length to the nearest 0.1 vertebra (v).^{7,8}

The Objective (Direct Standardization) method to calculate the VHS was performed as follows:

Measurements were obtained using a ruler^b.

A 5-vertebrae long index of vertebral body length was obtained by measuring in cm the distance from the cranial aspect of T4 to the caudal aspect of T8, running parallel to the

vertebral column. The cardiac long and short axes obtained as previously described were then measured in cm and translated onto VHS units (to the decimal point) by the statistician by means of unit conversion (Figure 2) using the following equation:

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{X}$$

where the variable to be evaluated is in the right-hand denominator. The unit conversion states that:

$$X = \frac{BC}{A}$$

A = T4-T8 distance (cm)

B = sum of long and short axes (cm)

C = T4-T8 distance expressed as total units of vertebral length (v), equivalent to what the Buchannan method would have done when transferring the L and S measurements to the vertebral column. The distance between T4 and T8 in units of vertebral length measures 5 and is considered a statistical constant in this equation.

X = sum of long and short axes (VHS) expressed as total units of vertebral length (v)

Example: (Figure 2)

A= 4.52 cm

B= 4.89 + 3.57 = 8.46 cm

C= 5v

X=(8.46 x 5)/4.52 = 9.36 v

Measurement improvement: Bias correction

In order to correct some mild proportional bias between the Objective VHS method and the Buchanan VHS method (see results and discussion sections), a simple correction could be used, if desired:

OBJECTIVE VHS_{Bias corrected} = 0.74 + 0.93 X

Comparison of measurements

Considering that both methods use the long and short axis measurements, and in order to compare both methodologies eliminating a possible repeatability bias, these measurements (L and S) were only obtained in one occasion per evaluation (i.e. once for each case in the Objective VHS-Buchanan VHS comparison study and once for each case-observer - different day combination in the validity assessment).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using a commercially available software package^c.

Summary descriptive indexes (means, standard deviations and the corresponding minimum and maximum values) were obtained for the two primary variables (Objective VHS and Buchanan VHS) in each subgroup population (normal and mitral insufficiency dogs). The concordance between both measurements was tested by means of 1) Pearson correlation together with a simple regression model and 2) evaluated graphically by means of a Bland-Altman plot (Figure 3). The variance components for this primary analysis (population and intra-case) were computed using a mixed model using case as a random factor. The internal and external validity of both measurements was examined without applying any bias correction using the group of cases, which were randomly evaluated by three different observers on three different days. The different variance components (population, interobserver and intraobserver variances) were obtained using a mixed model for each method including the observer and case as random factors.

Statistical significance was determined by the criterion $p < 0.05$.

RESULTS

Descriptive statistical analysis

The mean Objective VHS value was $10.46 \pm 0.61v$ (9.28, 11.35v) in Group A (normal dogs), $12.14 \pm 1.28v$ (9.91, 15.29v) in Group B (MI dogs), and $11.58 \pm 1.35v$ (9.28, 15.29v) for the complete study population.

Mean Buchanan VHS value was $10.49 \pm 0.59v$ (9.30, 11.30v) in Group A, $12.04 \pm 1.21v$ (9.90, 15.10v) in Group B and $11.52 \pm 1.27v$ (9.30, 15.10v) for the complete study population.

No significant differences between mean Objective and Buchanan VHS values were detected for the two groups and for the study population as a whole.

Concordance between measurement methods

A significant positive Pearson's correlation (0.99, $p < 0.0001$) was found between Objective and Buchanan VHS in normal dogs and dogs with mitral insufficiency (0.99, $p < 0.0001$) and in the complete study population (0.99, $p < 0.0001$).

The concordance between the two measurements is shown graphically using a Bland-Altman plot in Figure 3. From a descriptive point of view, the mean difference in absolute value is 0.146 (v), while the largest difference does not exceed 0.5 (v), which represents less than 5% of imprecision between the two methods. The raw variability for the difference between methods is 0.033 and the corresponding variance component was 0.018. A proportional bias is observed, however, indicating that similar results are obtained for low values by both methodologies, whereas the Objective VHS produces slightly larger values than the Buchanan VHS when the observed magnitude becomes larger. The magnitude of this mean bias is less than 2% in absolute terms for the most extreme cases. Consequently, if a more reliable reproduction of Buchanan VHS was needed, a simple correction to the computation of the Objective VHS could be applied:

$$\text{OBJECTIVE VHS}_{\text{Bias corrected}} = 0.74 + 0.93 X$$

This correction is obtained from a direct linear regression taking the Buchanan VHS as the response variable and the Objective VHS as the explanatory variable.

Validity assessment

Table 1 shows the results of the analysis assessing and comparing the validity of both methods, as described in the materials and methods. The components of variance for both methodologies are very similar. The population variance component is smaller for the Buchanan VHS method indicating that the Objective VHS values are more widely spread. The interobserver variability is negligible with both methodologies. Finally, the assessment of intraobserver variability offered again similar results for both methodologies, although they were slightly more variable for the Buchanan VHS. The magnitudes of the interobserver variance component show that there is a natural imprecision in the measuring process (0.072 and 0.086 for Objective and Buchanan methods, respectively), which is considerably larger than the intra-case variability associated to the difference between methods (0.018, as shown previously).

DISCUSSION

VHS variability factors

The Vertebral Heart Scale is considered the most objective radiographic measurement for detecting cardiac enlargement in dogs, but several factors can lead to variability in its results. Previous studies¹³ have shown that the long axis measurement is more variable than the short axis measurement. This is due to the difficulty in accurately determining the exact location of the apex of the cardiac silhouette due to skin folds, superimposed ribs, pleural effusion and/or the most cranial portions of the liver,¹⁴ as well as the effects of the presence of neighbouring fat and cardiomegaly, when present.

The presence of cardiogenic pulmonary oedema can significantly hinder the measurement of the VHS because of the associated perihilar increase in radiopacity, potentially also obscuring the caudal vena cava. In previous studies,¹³ pulmonary oedema did not introduce variation in the long axis measurements. In our opinion, it is the accuracy of the short axis measurement that can be particularly compromised by the presence of pulmonary oedema as S is obtained using the caudal vena cava as an anatomical landmark, either at a point halfway from its ventral to its dorsal border,¹³ or from its dorsal border.⁸ Radiographs with radiographic changes compatible with left sided congestive failure / pulmonary oedema were therefore excluded from our study.

Radiographic technique also plays an important role in the measuring process of the cardiac axes, particularly the short axis, as alterations in the position of the caudal vena cava can modify this measurement's starting point.

Finally, interobserver variability at the time of measuring the VHS and the known considerable overlap between the VHS values of dogs with cardiac disease and the reported normal ranges should also be taken into consideration with respect of the variability of VHS values.⁹

Descriptive statistics and concordance

In this study, the mean values of Objective and Buchanan VHS in **normal dogs** were 10.46 +/- 0.61v (9.28, 11.35v) and 10.49 +/- 0.59v (9.30, 11.30v) respectively. No significant differences were found between Objective and Buchanan VHS means in normal dogs.

No significant differences were found either between Objective and Buchanan VHS means in dogs with **mitral insufficiency**.

These values also reiterate the overlap between the VHS values of dogs with cardiac disease and the reported normal ranges, as previously published.⁹

There were no significant differences between means of Objective and Buchanan VHS for two separately groups and for the complete study population.

A significant positive concordance between Objective and Buchanan VHS values in normal dogs, dogs with mitral insufficiency and for the whole study population was found (0.99). In our opinion, these results can encourage practitioners to calculate the VHS using the Objective method in a clinical setting.

The concordance between both methods is also confirmed by the fact that the difference in the values obtained by both methodologies is of a smaller magnitude than that associated to intraobserver variability. Having said that, a slight proportional bias was found (i.e. for those patients with VHS values towards the higher end of the spectrum of results, the obtained values of the Objective VHS tended to be higher than those obtained using the Buchanan VHS). This bias may be associated with the fact that the T4-T8 distance was always used for the former, whereas a longer portion of the vertebral column is used with the latter in cases with severe cardiomegaly. The potential difference in vertebral body length and intervertebral disc space width in areas caudal to T8 was considered a potential explanation. This hypothesis should be confirmed in further studies.

It must be emphasised that this bias can be eliminated using the simple correction included in the results' section.

Direct Standardization

We propose the unit conversion as a mathematical formula to accurately measure the Objective VHS without the need to transpose the long and short axes to the cranial aspect of the body of the fourth thoracic vertebra. This simplified methodology decreases slightly the variability introduced into the VHS value from the transposition of these measurements to the vertebral column, despite this variability not being statistically significant. Moreover, the validity assessment has shown that intraobserver variability is slightly lower when using the Objective VHS instead of the Buchanan VHS.

The internal and external validity of both measurements was examined without applying any bias correction in order to preserve the original measurements. If the correction had been applied, the internal validity of the Objective VHS would have been even lower.

Minimal differences were found between the values obtained by the three different observers with diverse expertise. In this study, the values obtained using the Buchanan VHS and the Objective VHS were independent from observers' expertise.

The direct standardization method evaluates cardiac size irrespectively of the size of the patient and its thoracic conformation, as the Buchanan VHS does. If a more precise measurement was required, this objective VHS can be bias corrected using a simple transformation.

The Objective VHS is based on the relationship between the distance from the cranial aspect of T4's vertebral body to the caudal aspect of T8's vertebral body (measured in cm) and the measurements of the long and short axes of the cardiac silhouette. If the long axis and short axis of the cardiac silhouette as well as the T4-T8 distance are quantified in cm, the final and Objective VHS value can be obtained without the need of any transposition.

The proposed formula for the calculation of the Objective VHS is particularly useful for those clinicians using digital radiography. The use of a digital version of the formula would allow a very quick calculation of the VHS. The authors feel this is the main and most significant advantage of this new methodology.

When digital radiography is not available, clinicians can either calculate the Buchanan (clinical) VHS using a sheet of paper as previously described^{7,10} or the Objective VHS measuring L, S and T4-T8 with a metric ruler and calculating VHS value using the direct standardization formula.

Conclusion

No significant differences in VHS values were observed when using the Objective and the Buchanan VHS methodologies. Concordance between the Objective and the Buchanan VHS methods was confirmed. The use of direct standardization based on unit conversion helps in calculating the Objective VHS values without the need of

transposing the measurements of the long and short axes of the cardiac silhouette to the cranial aspect of T4's vertebral body.

Providing clinicians with a precise description of how to accurately measure L, S¹³ and T4-T8, as well as with the direct standardization formula, would decrease the variability affecting the quantification of the VHS value and would offer reliable results. These could potentially be obtained even more quickly when using digital radiography equipment and a digital version of the formula.

FOOTNOTES

- a. Microsoft ® Office Powerpoint 2007 (©Microsoft Corporation, USA)
- b. Screen Calipers 4.0, Iconico, NY
- c. SAS ® System v9.1.3 software package (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.)

References:

1. Rhodes WH, Patterson DF, Detweiler DK. Radiographic anatomy of the canine heart. Part I. J Am Vet Med Assoc 1960;137:283-9.
2. Rhodes WH, Patterson DF, Detweiler DK. Radiographic anatomy of the canine heart. Part II. J Am Vet Med Assoc 1963;143:137-48.
3. Wyburn RS, Lawson DD. Simple radiography as an aid to the diagnosis of heart disease in the dog. J Small Anim Pract 1967;8:163-70.
4. Hamlin RL. Prognostic value of changes in the cardiac silhouette in dogs with mitral insufficiency. J Am Vet Med Assoc 1968;153:1436-45.
5. Hamlin RL. Analysis of the cardiac silhouette in dorsoventral radiographs from dogs with heart disease. J Am Vet Med Assoc 1968;153:1446-60.

6. Suter PF, Lord PF. A critical evaluation of the radiographic findings in canine cardiovascular diseases. *J Am Vet Med Assoc* 1970;158:358-71.
7. Buchanan JW, Bücheler J. Vertebral scale system to measure canine heart size in radiographs. *J Am Vet Med Assoc* 1995;206:194-9.
8. Buchanan JW. Vertebral scale system to measure heart size in radiographs. In Watrous BJ (ed): *Vet Clin North Am. Small Animal Practice-Clinical Radiology*, Philadelphia, WB Saunders 2000;379-93.
9. Lamb CR, Tyler M, Boswood A, Skelly BJ, Cain M. Assessment of the value of the vertebral heart scale in the radiographic diagnosis of cardiac disease in dogs. *Vet Rec* 2000;146:687-90.
10. Lamb CR, Wilkeley H, Boswood A, Pfeiffer DU. Use of breed-specific ranges for the vertebral heart scale as an aid to the radiographic diagnosis of cardiac disease in dogs. *Vet Rec* 2001;148:707-11.
11. Bavegems V, Van Caelenberg A, Duchateau L, Sys SU, Van Bree H, De Rick A. Vertebral heart size ranges specific for whippets. *Vet Radiol Ultrasound* 2005;46:400-3.
12. Marin L, Brown J, McBrien C, Baumwart R, Samii V, Couto G. Vertebral Heart Size in retired racing Greyhounds. *Vet Radiol Ultrasound* 2007;48:332-334.
13. Hansson K, Häggström J, Kvarn C, Lord P. Interobserver variability of vertebral heart size measurements in dogs with normal and enlarged hearts. *Vet Radiol Ultrasound*, 2005;46:122-30.
14. Nakayama H, Nakayama T, Hamlin RL. Correlation of cardiac enlargement as assessed by vertebral heart size and echocardiographic and electrocardiographic findings in dogs with evolving cardiomegaly due to rapid ventricular pacing. *J Vet Intern Med*, 2001;15:217-21.

FIGURES

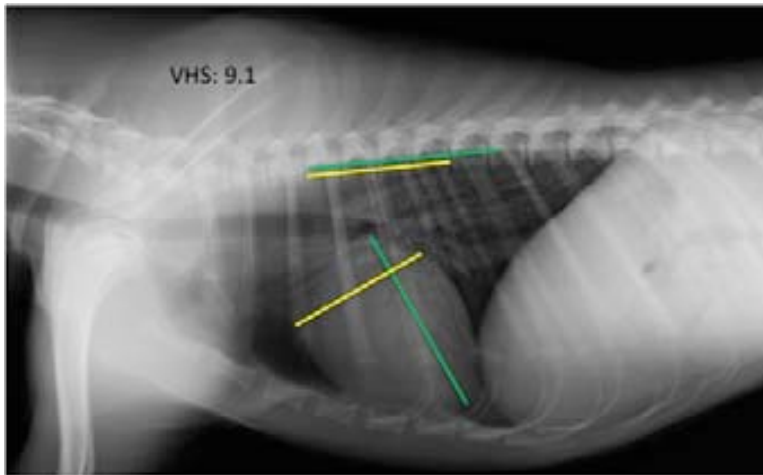


Fig.1. Right latero-lateral thoracic radiograph. Buchanan Vertebral Heart Scale (Buchanan VHS), long (green line) and short (yellow line) cardiac axes are shown. VHS is expressed as total units of vertebral length: 9.1v after repositioning these measurements over the thoracic vertebrae beginning at the cranial edge of T4's vertebral body.

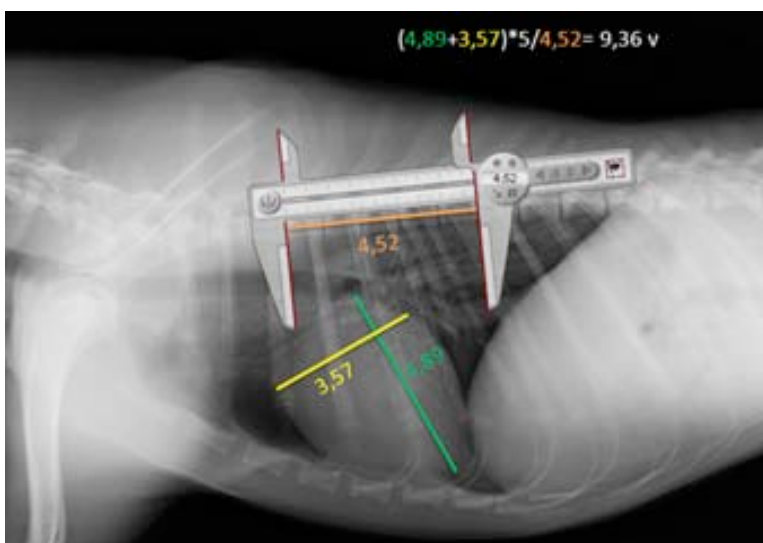


Fig.2. Right latero-lateral thoracic radiograph. Objective Vertebral Heart Scale (Objective VHS), long (green line), short (yellow line) cardiac axes and T4-T8 distance (orange line) are shown (4,89 cm, 3,57 cm and 4,52 cm respectively). Screen caliper is shown measuring T4-T8 distance in cm. VHS is expressed as total units of vertebral length after direct standardization: 9.36v.

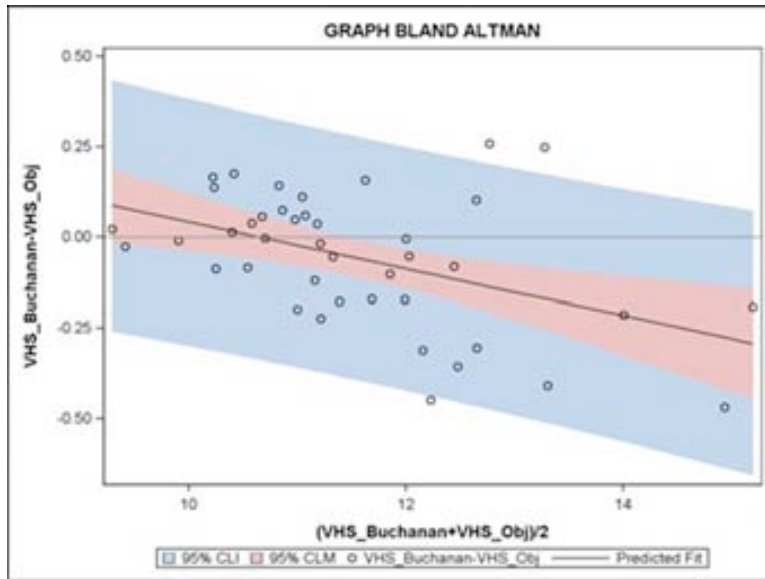


Fig.3. Bland Altman, this graph shows that Buchanan VHS gives lower values than Objective VHS. However, the differences between the two methods do not exceed 0.5 units.

TABLES

Table 1. Validity assessment of Objective and Buchanan VHS (n=9).

Variable	Variance Components			
	Mean	Population	Interobserver	Intraobserver
objvhs	11.50	0.256	0.011	0.072
Buchvhs	11.35	0.222	0.001	0.086

objvhs: Objective VHS, Buchvhs: Buchanan VHS.

6. DISCUSIÓN GENERAL

6. DISCUSIÓN GENERAL

Este estudio describe 3 medidas radiográficas objetivas para detectar incrementos del atrio izquierdo en perros con insuficiencia mitral: la *RLAD*, la *RLAD-Spine* y el *Br-Spine*. Estas nuevas medidas radiográficas se compararon con la ratio *LA/Ao* ya que ésta es la medida ecocardiográfica más común para detectar incrementos de atrio izquierdo (Hansson *et al.*, 2002; Rishniw y Erb, 2000; Nyland y Mattoon, 2004; Borgarelli *et al.*, 2004; Borgarelli *et al.*, 2008; Lord *et al.*, 2010; Dudás-Györki *et al.*, 2009).

La utilidad clínica de la *RLAD* se demostró mediante diversos hallazgos: la alta correlación que presentó con la ratio *LA/Ao* (0.84), siendo esta correlación la más alta del estudio (superior a la obtenida entre el *VHS* y la ratio *LA/Ao*); el área bajo la curva que presentó la *RLAD* (mejor que la presentada por el *VHS*) y las superiores especificidad y sensibilidad (para el valor de corte de 1.8) de la nueva medida radiográfica con respecto al *VHS*.

La correlación entre el *VHS* y la ratio *LA/Ao* obtenida en nuestro estudio (0.8) fue inferior a la obtenida en el estudio de Nakayama (0.9), lo que podría deberse a la diferencia entre las poblaciones utilizadas en ambos estudios. La población utilizada en el estudio de Nakayama era experimental, en la que se provocaba una insuficiencia de la válvula mitral; en nuestro estudio, en cambio, se utiliza una población clínica en la que la patología se presenta de forma natural. De esta manera, la población del estudio de Nakayama es más homogénea, pudiendo repercutir en esta alta correlación entre el *VHS* y la ratio *LA/Ao*.

El valor de referencia obtenido para el *VHS* fue 11.05v, superior a los publicados previamente (Buchanan y Bücheler, 1995; Buchanan, 2000) y podría deberse a las diferencias entre las poblaciones utilizadas, a la variabilidad interobservador o al criterio utilizado para clasificar a perros normales (ratio *LA/Ao* \leq 1.6).

Una de las limitaciones de nuestro estudio viene dada por la población de animales que presentaban incremento del atrio izquierdo. Dicha población acudía a centros de referencia, y en la mayoría de los casos presentaba un estadio clínico avanzado de la enfermedad. Esta población, con una proporción mayor de perros con incrementos moderados/graves del atrio izquierdo, pudo repercutir en la alta correlación obtenida entre la *RLAD* y la ratio *LA/Ao*. En futuros estudios se debería utilizar, a pesar de las

dificultades que presenta en la práctica clínica, una población patológica más representativa de la población general afectada de insuficiencia de la válvula mitral, incluyendo una proporción mayor de casos con incrementos ligeros del atrio izquierdo. Clínicamente también sería interesante poder diferenciar y clasificar estos incrementos del atrio izquierdo como incrementos ligeros/moderados/graves en base a diferentes valores de corte de la *RLAD*. Para ello, se debería partir de una población de animales con incremento del atrio izquierdo distribuida de modo más equilibrado entre los distintos estadios clínicos de insuficiencia mitral.

En cuanto a la variabilidad interobservador, no se hallaron diferencias significativas entre los observadores ni para el *VHS*, ni para la *RLAD*. La baja variabilidad intraobservador de la *RLAD* contribuye a que esta nueva medida radiográfica sea repetible.

La *RLAD* es una medida radiográfica derivada del *VHS* que cuantifica la protrusión del atrio izquierdo en la proyección lateral de tórax. El límite dorsal del atrio izquierdo puede ser difícil de delimitar en los casos en los que se observa un incremento del atrio izquierdo ligero o sutil. La superposición de estructuras anatómicas a este nivel, como el árbol bronquial, y especialmente, las venas pulmonares (presentan la misma radiopacidad que el atrio izquierdo) dificulta en estos casos establecer de forma precisa el punto donde termina la *RLAD*.

En la bibliografía radiográfica previa, esta radiopacidad característica de las venas pulmonares se considera como parte del incremento del atrio izquierdo (Johnson *et al.*, 2008). En este estudio establecemos como límite del atrio izquierdo el límite dorsal de la radiopacidad tejido blando, situado caudal a la carina. Esta consideración metodológica se llevó a cabo con la finalidad de aumentar la solidez y la repetibilidad de la nueva medida radiográfica.

En los casos en que se observa un ligero incremento del atrio izquierdo y resulta difícil diferenciar donde termina el atrio y donde empiezan las venas pulmonares, resulta de ayuda observar los diferentes vasos pulmonares (craneales) para ver si existe congestión y la presencia/ausencia de edema pulmonar. La presencia o ausencia de otros signos de congestión venosa nos ayudará a discernir si existe o no dilatación de las venas pulmonares a nivel del atrio izquierdo.

Debido a esta limitación, se planteó el segundo estudio en el que se evaluaron 2 nuevas medidas radiográficas, llamadas *Br-Spine* y *RLAD-Spine*, para así resolver la limitación de la *RLAD* mediante la misma técnica de diagnóstico por imagen, la radiología.

Las medidas *Br-Spine* y *RLAD-Spine* presentaron la misma especificidad que la *RLAD* para la detección de incrementos del atrio izquierdo (para los valores de corte de 1 y 0.8v respectivamente), pero una sensibilidad inferior. Este resultado concuerda con lo descrito en otros estudios que evalúan medidas radiográficas con el mismo propósito, como en el caso del *LA-VHS* (Schober *et al.*, 2007) y del ángulo de la bifurcación traqueal (Le Roux *et al.*, 2012).

Las correlaciones más altas obtenidas en este segundo estudio fueron entre la *RLAD* y la ratio *LA/Ao* (confirmando la alta correlación obtenida también entre estas dos medidas en el estudio anterior) y entre el *Br-Spine* y la *RLAD-Spine*. Esta última puede deberse a que ambas medidas cuantifican la distancia entre el corazón (bronquio principal izquierdo y el punto donde termina la *RLAD* respectivamente) y la columna vertebral.

El *Br-Spine* y la *RLAD-Spine* correlacionan bien con la ratio *LA/Ao* pero menos que la *RLAD* con esta última. La *RLAD* es la mejor medida radiográfica del estudio para detectar incrementos del atrio izquierdo.

La correlación entre la *RLAD* y la *RLAD-Spine* fue superior a la obtenida entre la *RLAD* y el *Br-Spine*. La *RLAD-Spine* se correlacionó más con la ratio *LA/Ao* que el *Br-Spine* ya que probablemente, esta última medida no detectaría específicamente incrementos concretos del atrio izquierdo.

En cuanto a los valores de referencia proporcionados por este estudio, el obtenido para la *RLAD* fue el mismo que en el primer estudio, 1.8v.

La sensibilidad inferior del *Br-Spine* y de la *RLAD-Spine* para determinar los incrementos del atrio izquierdo puede deberse a la conformación torácica del perro (los perros de conformación torácica estrecha presentan corazones de morfología más alargada) y a la técnica radiográfica (la fase respiratoria y el posicionamiento). Dependiendo de estos factores, la distancia entre el corazón y la columna puede ser superior o inferior, independientemente del tamaño del corazón. Estos factores afectarían en menor escala al *VHS* y a la *RLAD* ya que son medidas que se obtienen

directamente a partir de la silueta cardiaca y no de la distancia entre ésta y la columna vertebral.

Por lo tanto, cuando el límite del atrio izquierdo es visible, recomendamos la *RLAD* para la detección de incrementos del atrio izquierdo. Como alternativa a la *RLAD-Spine* y a propuesta de Buchanan (2010), se puede trazar la misma medida pero partiendo del techo del atrio izquierdo y no desde el punto concreto en que termina la *RLAD*. Esta medida permitiría partir de cualquier punto visible del límite dorsal del atrio izquierdo y no estrictamente del punto concreto donde termina la *RLAD*. La trayectoria de la medida, que forma un ángulo de 45 grados con los ejes cardiacos mayor y menor del *VHS*, tiene a veces como punto final un lugar del techo del atrio izquierdo no perfectamente visible radiográficamente.

Cuando el límite del atrio izquierdo no es fácilmente visible o distinguible de las venas pulmonares, los autores recomiendan el uso del *VHS* o del *Br-Spine* para determinar incrementos del atrio izquierdo, ya que de esta manera se utilizarían medidas radiográficas alejadas del mismo y se evitaría el límite caudodorsal de esta cámara cardiaca, región anatómica donde desembocan las venas pulmonares.

La ratio *LA/Ao* no es estrictamente un método de referencia verdadero ya que la RMc presentaría una imagen anatómica más precisa y fiable. Esta técnica nos permitiría superar la limitación de nuestro trabajo referente a la delimitación del atrio izquierdo en casos con incrementos ligeros de esta cámara, y por tanto obtener la validación anatómica de la *RLAD*. Los autores de este trabajo están llevando a cabo un estudio sobre la *RLAD*, mediante RMc, en perros sanos para así obtener dicha validación anatómica.

Sin embargo, el coste y la poca disponibilidad de aparatos de RMc en veterinaria hacen que la ratio *LA/Ao* (y la ecocardiografía en general) se utilice como método de referencia (Le Roux *et al.*, 2012).

El *VHS* se considera la medida radiográfica más objetiva para detectar incrementos de tamaño del corazón en perros; no obstante no está libre de factores de variación; Hansson *et al.* (2005) demostraron que el eje cardiaco mayor presentaba más variabilidad que el eje cardiaco menor. Esto se derivaba de las dificultades en determinar de forma precisa el punto correspondiente al ápex cardiaco debido a la

presencia de pliegues de piel, la superposición de costillas, el derrame pleural y/o la porción más craneal del hígado, así como la presencia de grasa y la propia cardiomegalia (Nakayama *et al.*, 2001). También influye en los valores obtenidos la variabilidad interobservador (Lamb *et al.*, 2000).

En nuestro estudio, el eje cardiaco mayor se obtuvo a partir del límite ventral del bronquio principal izquierdo (Buchanan y Bücheler, 1995) y el eje cardiaco menor a partir del límite dorsal de la vena cava caudal, para incluir los incrementos del atrio izquierdo (Buchanan, 2000; Schober *et al.*, 2007).

Se descartaron aquellas radiografías con cambios compatibles con fallo cardiaco congestivo izquierdo y edema pulmonar puesto que, la presencia de un patrón alveolar (incremento de la radiopacidad debido al edema pulmonar) en la zona perihilar impediría la visualización del límite del atrio izquierdo y la obtención del eje cardiaco menor del *VHS* (ya sea a partir de la zona de máxima amplitud cardiaca o a partir del punto medio de la altura o del límite dorsal de la vena cava caudal).

La técnica radiográfica, concretamente la fase respiratoria, es de vital importancia ya que influye en la posición y la angulación de la vena cava caudal (Rudorf *et al.*, 2008), repercutiendo de esta manera en el punto de partida y la perpendicularidad del eje cardiaco menor del *VHS*.

Debido a que la obtención del *VHS* resulta laboriosa en la práctica clínica, el tercer estudio de nuestro trabajo tuvo como propósito simplificar la metodología de obtención de este valor, proponiendo una fórmula matemática. La nueva metodología permite obtener el *VHS* (*VHS* Objetivo) de forma precisa y repetible sin necesidad de transponer los ejes cardiacos mayor y menor al inicio de T4, disminuyendo la variabilidad derivada de dicha transposición (punto de inicio del cuerpo vertebral de T4, paralelismo respecto a la columna vertebral, precisión en determinar el valor decimal del *VHS*). La fórmula resulta especialmente interesante para aquellos clínicos que utilizan radiología digital, ya que si se desarrollara una nueva aplicación de software que incluyera esta nueva metodología, permitiría una obtención rápida de la medida. Cuando no está disponible la radiología digital, los clínicos pueden obtener el *VHS* de Buchanan, mediante su aplicación práctica descrita en la publicación original (Buchanan y Bücheler, 1995) o el *VHS* Objetivo, midiendo los ejes cardiacos mayor, menor y la distancia entre T4-T8 con una cinta métrica y utilizando la estandarización directa.

La variabilidad intraobservador del *VHS* Objetivo fue ligeramente inferior a la del *VHS* de Buchanan y se hallaron diferencias mínimas en la valoración de la variabilidad interobservador.

Esta nueva metodología cobra más importancia dados los estudios que señalan, por un lado, el interés del *VHS* como medida complementaria en la diferenciación de tos de origen no cardíaco de la tos de origen cardíaco (Guglielmini *et al.*, 2009), y por el otro, la utilidad de la velocidad de incremento del *VHS* como medida para predecir el momento del fallo cardíaco en perros (Lord *et al.*, 2010; Lord *et al.*, 2011; Oyama, 2012).

Estos estudios recientes relacionados con el *VHS* abren una nueva vía de investigación aplicable a las nuevas medidas radiográficas, especialmente la *RLAD*. En primer lugar, las 3 nuevas medidas radiográficas propuestas en este trabajo (*RLAD*, *Br-Spine* y *RLAD-Spine*), al transponerse todas ellas al inicio de la cuarta vértebra torácica como en el caso del *VHS*, pueden simplificarse también mediante estandarización directa de la misma forma en la que se obtiene el *VHS* Objetivo.

En segundo lugar, futuros estudios en los que se obtuviera la información clínica y radiográfica en distintos momentos de la evolución de la enfermedad, nos permitirían evaluar la velocidad de incremento de estas nuevas medidas radiográficas ($\Delta RLAD$, $\Delta RLAD-Spine$ y $\Delta Br-Spine$) y valorar si permiten predecir el momento del fallo cardíaco.

7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

1. Se demostró la utilidad de la *RLAD* para la detección del incremento del atrio izquierdo en perros con insuficiencia mitral.
2. El valor propuesto para la *RLAD* para la diferenciación de perros normales de perros con incremento del atrio izquierdo fue 1.8 cuerpos vertebrales. No se hallaron diferencias significativas en el acuerdo entre observadores para las medidas *VHS* y *RLAD*.
3. El *Br-Spine* y la *RLAD-Spine* mostraron su capacidad para detectar objetivamente incrementos del atrio izquierdo en el perro. El *VHS* y el *Br-Spine* son medidas radiográficas aplicables cuando los límites del atrio izquierdo son difíciles de delimitar.
4. Los valores de referencia del *Br-Spine* y de la *RLAD-Spine* propuestos para la diferenciación de perros normales y perros con incremento del atrio izquierdo fueron 1v y 0.8v respectivamente.
5. La utilización de la estandarización directa basada en una conversión de unidades permite obtener valores del *VHS* Objetivo sin transponer los ejes cardiacos mayor y menor al inicio de la cuarta vertebra torácica. No se hallaron diferencias significativas entre los valores del *VHS* Objetivo y los del *VHS* de Buchanan.
6. Se observó una elevada correlación positiva entre ambas metodologías. La variabilidad intraobservador fue ligeramente inferior en el caso del *VHS* Objetivo y se hallaron diferencias mínimas entre los valores obtenidos por los diferentes observadores. Los autores proponen esta estandarización directa para simplificar la obtención del *VHS*, especialmente útil para sistemas de radiología digital.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Allen, D.C., Downey, R.S., 1983. Echocardiographic assessment of cats anesthetized with xylazine-sodium pentobarbital. *Canadian Journal of Comparative Medicine* 47:281-283.

Bavegems, V., Van Caelenberg, A., Duchateau, L., Sys, S., Van Bree, H., De Rick, A., 2005. Vertebral Heart Size ranges specific for whipetts. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 46:400-403.

Boddy, K.N., Sleeper, M.M., Sammarco, D.C., Weisse, C., Ghods, S., Litt, H.I., 2011. Cardiac magnetic resonance in the differentiation of neoplastic and non-neoplastic pericardial effusion. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 25:1003-1009.

Boon, J., Wingfield, W.E., Miller, C.W., 1983. Echocardiographic indices in the normal dog. *Veterinary Radiology* 24:214-221.

Boon, J., 1998. *Manual of Veterinary Echocardiography*. Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland, 15 pp.

Borgarelli, M., Zini, E., D'Agnolo, G., Tarducci, A., Santilli, R., Chiavegato, D., Tursi, M., Prunotto, M., Häggström, J., 2004. Comparison of primary mitral valve disease in German Shepherd dogs and in small breeds. *Journal of Veterinary Cardiology* 6:27-34.

Borgarelli, M., Savarino, P., Crosara, S., Santilli, R.A., Chiavegato, D., Poggi, M., Bellino, C., La Rosa, G., Zanatta, R., Häggström, J., Tarducci, A., 2008. Survival characteristics and prognostic variables of dogs with mitral regurgitation attributable to myxomatous valve disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 22:120-128.

Brown, D., Gaillot, H., 2008. Heart. *In Atlas of Small Animal Ultrasonography*. D.G. Penninck and A. D'Anjou (Eds.). Blackwell, Oxford, UK, pp. 151-216.

Brown, O.R., Harrison, D.C., Popp, R.L., 1974. An improved method for echographic detection of left atrial enlargement. *Circulation* 50:58-64.

Buchanan, J.W., Bucheler, J., 1995. Vertebral scale system to measure canine heart size in radiographs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 206:194-199.

Buchanan, J.W., 2000. Vertebral scale system to measure heart size in radiographs. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice* 30:379-393.

Buchanan, J.W., 2010. Personal communication. ACVIM Forum, Anaheim, California.

Constantine, G., Shan, K., Flamm, S.D., Sivananthan, M.U., 2004. Role of MRI in clinical cardiology. *Lancet* 363:2162-71.

Dudás-Györki, Z., Bendei, B., Hetey, C., Manczur, F., Reiczigel, J., Vörös, K., 2009. Two-dimensional echocardiographic measurements of the left atrium in dogs with cardiac disease. *Acta Veterinaria Hungarica* 57:203-215.

Fox, P., Sisson, D., Moise, S., 1999. *Textbook of canine and feline cardiology: principles and clinical practice*. Saunders, London, 109 pp.

Gilbert, S., McConnell, F., Holden, A., Sivananthan, M., Dukes-McEwan, J., 2010. The potential role of MRI in veterinary clinical cardiology. *The Veterinary Journal* 183:124-134.

Greco, A., Meomartino, L., Raiano, V., Fatone, G., Brunetti, A., 2008. Effect of left vs. right recumbency on the Vertebral Heart Score in normal dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 49:454-455.

Guglielmini, C., Diana, A., Pietra, M., Di Tommaso, M., Cipone, M., 2009. Use of the Vertebral Heart Score in coughing dogs with chronic degenerative mitral valve disease. *Journal of Veterinary Medical Science* 71:9-13.

Hamlin, R.L., 1968. Prognostic value of changes in the cardiac silhouette in dogs with mitral insufficiency. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 153:1436-1445.

Hansson, K., Häggström, J., Kvarn, C., Lord, P., 2002. Left atrial to aortic root indices using two-dimensional and M-mode echocardiography in cavalier King Charles spaniels with and without left atrial enlargement. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 43:568-575.

Hansson, K., 2004. Diagnostic imaging of cardiopulmonary structures in normal dogs and dogs with mitral regurgitation. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

- Hansson, K., Häggström, J., Kwart, C., Lord, P., 2005. Interobserver variability of Vertebral Heart Size measurements in dogs with normal and enlarged hearts. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 46:122-130.
- Jacobs, G., Knight, D.H., 1985. Changes in M-mode echocardiographic values in cats given ketamine. *American Journal of Veterinary Research* 46:1712-1713.
- Johnson, V., Hansson, K., Maï, W., Dukes-McEwan, J., Lester, N., Schwarz, T., Chapman, P., Morandi, F., 2008. The heart and major vessels. *In* BSAVA Manual of Canine and Feline Thoracic Imaging. T. Schwarz and V. Johnson (Eds.). British Small Animal Veterinary Association, Shurdington, UK, pp. 86-176.
- Kealy, J.K., McAllister, H., Graham, J.P., 2011. Diagnostic radiology and ultrasonography of the dog and cat. Saunders Elsevier, Philadelphia, 298 pp.
- Kittleson, M.D., 1998. Radiography of the cardiovascular system. *In* Small Animal Cardiovascular Medicine. M.D. Kittleson and R.D. Kienle (Eds.). Year Book Medical, Mosby, St Louis, pp. 47-71.
- Kraetschmer, S., Ludwig, K., Meneses, F., Nolte, I., Simon, D., 2008. Vertebral Heart Scale in the beagle dog. *Journal of Small Animal Practice* 49:240-243.
- Lamb, C.R., Tyler, M., Boswood, A., Skelly, B.J., Cain, M., 2000. Assessment of the value of the Vertebral Heart Scale in the radiographic diagnosis of cardiac disease in dogs. *Veterinary Record* 146:687-690.
- Lamb, C.R., Wilkeley, H., Boswood, A., Pfeiffer, D.U., 2001. Use of breed-specific ranges for the Vertebral Heart Scale as an aid to the radiographic diagnosis of cardiac disease in dogs. *Veterinary Record* 148:707-711.
- Le Roux, A., Rademacher, N., Saelinger, C., Rodriguez, D., Pariaut, R., Gaschen, L., 2012. Value of the tracheal bifurcation angle measurement as a radiographic sign of left atrial enlargement in dogs. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 53:28-33.
- Lombard, C.W., 1984. Normal values of the canine M-mode echocardiogram. *American Journal of Veterinary Research* 45:2015-2018.

Lord, P., Hansson, K., Kwart, C., Häggström, J., 2010. Rate of change of heart size before congestive heart failure in dogs with mitral regurgitation. *Journal of Small Animal Practice* 51:210-218.

Lord, P., Hansson, K., Carnabuci, C., Kwart, C., Häggström, J., 2011. Radiographic heart size and its rate of increase as tests for onset of congestive heart failure in cavalier King Charles spaniels with mitral valve regurgitation. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 25:1312-1319.

Mai, W., Weisse, C., Sleeper, M.M., 2010. Cardiac magnetic resonance imaging in normal dogs and two dogs with heart base tumor. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 51:428-435.

Nakayama, H., Nakayama, T., Hamlin, R.L., 2001. Correlation of cardiac enlargement as assessed by Vertebral Heart Size and echocardiographic and electrocardiographic findings in dogs with evolving cardiomegaly due to rapid ventricular pacing. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 15:217-221.

Nyland, T.G., Mattoon, J.S., 2004. Diagnóstico ecográfico en pequeños animales. *Multimédica Ediciones Veterinarias, Barcelona*, 382 pp.

O'Grady, M.R., Bonagura, J.D., Powers, J.D., Herring, D.S., 1986. Quantitative cross-sectional echocardiography in the normal dog. *Veterinary Radiology* 27:34-49.

Oyama, M., 2012. Letter to editor. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 26:227.

Rishniw, M., Erb, H.N., 2000. Evaluation of four 2-dimensional echocardiographic methods of assessing left atrial size in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 14:429-435.

Rudorf, H., Taeymans, O., Johnson, V., 2008. Basics of thoracic radiography and radiology. *In BSAVA Manual of Canine and Feline Thoracic Imaging*. T. Schwarz and V. Johnson (Eds.). British Small Animal Veterinary Association, Shurdington, UK, pp. 1-19.

Schober, K.E., Maerz, I., Ludewig, E., Stern, J.A., 2007. Diagnostic accuracy of electrocardiography and thoracic radiography in the assessment of left atrial size in cats:

comparison with transthoracic 2-dimensional echocardiography. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 21:709-718.

Sleeper, M.M., Buchanan, J.W., 2001. Vertebral scale system to measure heart size in growing puppies. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 219:57-59.

Suter, P.F., Lord, P., 1984. Cardiac Diseases. *In Thoracic radiography: a text atlas of thoracic diseases of the dog and cat.* P.F. Suter (Eds.). Wettswil, Switzerland, 362 pp.

Thomas, W.P., 1984. Two-dimensional, real-time echocardiography in the dog. Technique and Anatomic Validation. *Veterinary Radiology* 25:50-64.

Tilley, L.P., Smith, F.W.K., Oyama, M.A., Sleeper, M.M., 2008. *Manual of canine and feline cardiology.* Saunders Elsevier, Philadelphia, 115 pp.