

## Características radiográficas, artroscópicas y biomecánicas de perros con ruptura del ligamento cruzado anterior

Radiographic, arthroscopic and biomechanical findings in dogs with ruptured anterior cruciate ligament

RF Silva<sup>a,b\*</sup>, JU Carmona<sup>a</sup>, CMF Rezende<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Investigación Terapia Regenerativa, Departamento de Salud Animal, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>b</sup>Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

### SUMMARY

The aims of this study were to describe the clinical signs associated with gait disturbances, and correlate the results of radiographic and arthroscopic examination and gait analysis in force platform, in dogs with naturally occurring rupture of the anterior cruciate ligament (ACL). 10 dogs with clinical rupture LCA were used in this study. On admission each dog was evaluated to find out the degree of arthroscopic and radiologic joint damage and the type of gait disturbance by force plate gait analysis. Radiographic examination was not correlated with arthroscopic findings. Radiological changes were less severe than the direct joint evaluation during arthroscopy. There was variation in gait disturbances. The distribution of body mass support was 66.38% for forelimbs and 33.62% for the affected limbs. We found a strong negative correlation ( $\rho = -0.80$ ) between the degree of synovitis and gait speed. The results derived from this research let us to conclude that 1) arthroscopy is necessary to establish the actual joint compromise. 2) Radiographic signs are not correlated with arthroscopic findings and, 3) synovitis was the main cause of abnormal gait in the dogs of this study.

*Palabras clave:* ligamento cruzado anterior, perro, marcha, artroscopía.

*Key words:* anterior cruciate ligament, dog, gait, arthroscopy.

### INTRODUCCIÓN

La ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA) es la lesión ortopédica más frecuente que causa claudicación en los miembros posteriores del perro (Canapp 2007). Los principales factores de riesgo involucrados en la degeneración del LCA son: raza, edad, masa corporal (Vasseur y col 1985), inmovilización (Laros y col 1971), estenosis distal de la escotadura intercondílea del fémur (Comerford y col 2006) y angulación del plato tibial (Cabrera y col 2008). El daño mecánico puede no ser el único factor involucrado en la ruptura del LCA; también se ha implicado el papel de moléculas inmunológicas, citocinas proinflamatorias y enzimas colagenolíticas dentro del espacio articular (Rabillard y col 2012). La ruptura total o parcial de este ligamento causa inestabilidad de la articulación femoro-tibio-patelar (FTP), lo que produce una serie de alteraciones inflamatorias y celulares, que resultan en sinovitis, lesión meniscal y, finalmente, osteoartritis. Todos estos eventos alteran la cinética normal de la articulación (Canapp 2007).

Se ha reportado que los signos clínicos de ruptura del LCA se pueden presentar como cojera aguda sin apoyo del miembro o apoyo característico “*en la punta del miembro*”, o como una cojera crónica que mejora con el reposo, pero que nunca se resuelve completamente (Harasen 2002). En la práctica clínica, el diagnóstico se basa en el examen ortopédico (prueba positiva del cajón craneal, prueba positiva de desplazamiento craneal de la tibia, o ambas) y en el examen radiográfico, como ayuda para confirmar el diagnóstico (Harasen 2002). Sin embargo, actualmente la artroscopia se ha convertido en una importante ayuda diagnóstica, especialmente para casos de ruptura parcial del LCA en el perro (Kraye y col 2008).

En años recientes se ha considerado la determinación de las fuerzas transferidas a través de la articulación como una medida objetiva para identificar la limitación dinámica durante el movimiento (Evans y col 2005). La determinación de las fuerzas de reacción del suelo ha sido utilizada para evaluar la claudicación y en el perro está establecida como una medida primaria de evaluación objetiva (Evans y col 2005). Para el análisis de la marcha mediante plataforma de fuerza, la medida de las fuerzas verticales de reacción del suelo como el pico de fuerza vertical y el impulso vertical, han sido extensamente utilizadas como evaluación primaria de la función biomecánica del miembro (Budsberg 2001).

Acceptado: 04.10.2012.

\* Calle 65 N° 26-10, Manizales, Caldas, Colombia; raul.silva@ucaldas.edu.co

A la luz de estos conceptos, el examen artroscópico y el análisis de la marcha mediante plataforma de fuerza se convierten respectivamente en herramientas objetivas de diagnóstico y valoración del grado de claudicación en pacientes caninos con ruptura de LCA. Estos mismos elementos son también fundamentales para conocer la evolución de la enfermedad y su respuesta al tratamiento.

Los objetivos de este estudio fueron describir los signos clínicos relacionados con alteraciones de la marcha y correlacionar los resultados del examen radiográfico, del examen artroscópico y el análisis de la marcha en plataforma de fuerza en perros con ocurrencia natural de ruptura de LCA.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### ANIMALES

Se utilizaron 10 perros con diferentes tipos de alteración de la marcha y anamnesis de presencia de la alteración no mayor a siete días (lesión aguda). Las características de cada animal se describen en el cuadro 1. Los factores de inclusión para los pacientes en este estudio fueron: signos de ruptura del LCA al examen ortopédico (prueba positiva del cajón craneal y prueba positiva de desplazamiento craneal de la tibia), confirmada por artroscopia y sin presencia de otras alteraciones asociadas, cooperación del propietario y temperamento del paciente. Todos los pacientes fueron sometidos a evaluación clínica ortopédica del grado de inestabilidad articular por las pruebas de compresión tibial y desplazamiento craneal de la tibia en relación al fémur. También fue descrito el tipo de alteración de la marcha como manifestación clínica de la ruptura del LCA, así como la evaluación artroscópica, radiográfica y en plataforma de fuerza.

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética en Experimentación Animal de la Universidad Federal de Minas Gerais (Brasil), protocolo número 125/2009.

### EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA

Fueron tomadas radiografías en las vistas medio-lateral y craneocaudal del miembro afectado. Al examen radiográfico fueron evaluados signos clínicos de osteoartritis de acuerdo a la escala de Innes y col (2004), considerando: efusión articular (0-2), osteofitosis (0-3), mineralización intraarticular (0-2) y esclerosis subcondral tibial (0-1). En este sentido 0 es normal. Cada parámetro fue evaluado individualmente.

### EVALUACIÓN EN PLATAFORMA DE FUERZA

La evaluación de la marcha para determinar el grado objetivo de claudicación fue realizada en plataforma de fuerza, colocada en una pista de marcha de tres metros de largo por 50 cm ancho y 10 cm de altura. Las fuerzas verticales

de reacción al suelo que actuaban entre el miembro y la plataforma fueron evaluadas durante la fase de apoyo del ciclo de marcha. Cada paciente caminó a su propio ritmo. La velocidad de marcha fue calculada en base al tiempo de ciclo de la extremidad anterior izquierda, mediante la fórmula: velocidad = frecuencia (ciclos/s) x amplitud (m) (Bertram y Ruina, 2001), para lo cual se utilizó una videocámara de 60 Hz (Sony DCR-SX63, China). Se evaluaron tres ciclos válidos por cada miembro. Se consideró como ciclo válido el apoyo ipsilateral de los miembros. Los datos fueron adquiridos a una velocidad de 300 Hz y procesados con el programa DasyLab 10 (Measurement Computing, USA). Los datos evaluados fueron el pico de fuerza vertical ( $Pf_z$ ) y el impulso vertical ( $If_z$ ). Estos fueron normalizados a la masa corporal (N/kg y N/kg/s, respectivamente). Cada variable fue expresada en porcentaje del total de fuerza-impulso ejercido por todos los miembros mediante la fórmula:  $X\%_{(\text{miembro A})} = F_{(\text{miembro A})} / (F_{(\text{miembro A})} + F_{(\text{miembro B})} + F_{(\text{miembro C})} + F_{(\text{miembro D})})$  (Katic y col 2009), donde  $X\%$  representa el porcentaje de masa corporal distribuida a través del miembro; A, B, C y D representan los cuatro miembros y F representa el valor de fuerza-impulso del miembro correspondiente. Para cada análisis, los miembros se clasificaron como miembro afectado (A), contralateral (B), ipsilateral (C), contralateral anterior (D). Se calculó la media del valor de los tres ciclos de marcha por miembro para la normalización de las variables y se utilizó este valor para los análisis.

### EVALUACIÓN ARTROSCÓPICA

Se realizó inicialmente punción articular para recolección y medición de la cantidad de líquido sinovial en jeringa de 3 mL que contenía 0,2 ml de heparina sódica, seguida de distensión articular con 10 a 15 ml de solución Ringer lactato. Se realizó una incisión cutánea de cerca de 5 mm en la región parapatelar lateral para introducción de la vaina artroscópica guiada por trocar romo (Karl Storz, Alemania). Una vez hecha la conexión del sistema de irrigación a la vaina artroscópica, se removió el trocar romo y fue substituido por el artroscopio de 2,7 mm (Karl Storz, Alemania), 30°, acoplado a una cámara. La evaluación artroscópica se hizo en base a la división articular en compartimientos. Se inició por el compartimento lateral con visualización de la membrana sinovial, cóndilo lateral del fémur, tendón del músculo extensor digital, fosa intercondilar, plato tibial, meniscos, ligamento intermeniscal y ligamentos cruzados. En el compartimento medial se evaluó el cóndilo medial del fémur, articulación femoropatelar (superficies articulares del fémur y patela, bordes trocleares) y receso suprapatelar. Se consideraron la alteración de las vellosidades y la vascularización en la membrana sinovial. Para ello se empleó la escala de sinovitis de McIlwraith y Fessler (1978), donde: 0 (normal), I discreta (vellosidades delgadas, filamentosas, atrofiadas, blancas o rosadas, con presencia

de vasos sanguíneos ingurgitados), II moderada (vellosidades en forma de pólipo, abanico, rama de árbol, bastón, rojizas, con vascularización e hiperemia de la membrana sinovial), III acentuada (vellosidades numerosas, densas en forma de coliflor, de fleco, de aspecto hemorrágico y coloración roja, con hipervascularización, hiperemia, y hemorragia articular). También fueron evaluadas las alteraciones del cartílago y clasificadas según la escala de Outerbridge (Beale y col 2003) donde: 0 (normal), I (condromalacia), II (fibrilación, fisuras superficiales con apariencia aterciopelada, erosión superficial, lesiones sin exposición del hueso subcondral), III (fisuras profundas con exposición del hueso subcondral, úlceras profundas sin exposición del hueso subcondral), IV (exposición del hueso subcondral con o sin formación de cavidad ósea), V (eburnación ósea). Finalmente se evaluó la presencia de osteofitos (Beale y col 2003) como: discreta (osteofitos poco visibles), moderada (osteofitos aislados y claramente visibles y con superficie lisa), avanzada (series continuas de osteofitos medianos o grandes, con aspecto nudoso).

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables del estudio fueron analizadas con relación a la normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk. Para comparar el comportamiento de los valores de la plataforma de fuerza entre miembros contralaterales se utilizó una prueba t pareada. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) para determinar el grado de asociación entre el peso, la velocidad y los parámetros cinéticos evaluados. Se calculó también el coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ) para determinar el grado de asociación entre la edad, el grado de sinovitis, la clasificación macroscópica Outerbridge del cartílago articular, el grado de osteofitosis, cantidad extraída de líquido

sinovial y los parámetros cinéticos evaluados. Se aceptó una diferencia estadísticamente significativa de  $P < 0,01$  para todos los análisis.

## RESULTADOS

### EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA

Al examen radiográfico no se encontraron signos de efusión articular. La esclerosis subcondral tibial se observó en todos los pacientes. En un paciente se presentó mineralización intraarticular grado 1, al igual que osteofitosis grado 1. En otros seis pacientes se encontró osteofitosis grado 1 (cuadro 2).

### EVALUACIÓN EN PLATAFORMA DE FUERZA

Se realizó clasificación del tipo de alteración de la marcha como signo clínico de ruptura del LCA de cada paciente durante el análisis de la marcha en plataforma de fuerza; la alteración de la marcha varió desde no apoyo hasta zancadas largas y rápidas, pasando por zancadas cortas y lentas, apoyo en punta del miembro, circunducción del miembro e hipermetría (cuadro 1).

La velocidad media de los pacientes fue de  $1,97 (\pm 0,38)$  m/s. El análisis del  $Pf_z$  demostró que los pacientes apoyaban el 66,38% de la masa corporal en el tren anterior y 33,62% en el posterior. Se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,01$ ) entre los valores de  $Pf_z$  del miembro A (33,62%) y B (22,42%). Las mayores valores de  $If_z$  se encontraron en los miembros C y D. También se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,01$ ) al comparar entre miembros contralaterales. Los valores de las variables estudiadas durante el análisis de la marcha en plataforma de fuerza se presentan en el cuadro 3.

**Cuadro 1.** Características de los pacientes incluidos en el estudio.

Signalment of the patients involved in the study.

Paciente	Raza	Sexo	Edad (años)	Masa corporal	Miembro afectado	Alteración de la marcha
1	Sharpei	Hembra	2	19	Derecho	Zancadas cortas y lentas
2	Pit bull	Macho	3	24	Izquierdo	Zancadas largas y rápidas
3	Pit bull	Hembra	2	17	Izquierdo	No apoyo
4	Boxer	Macho	4	34	Derecho	Zancadas cortas y lentas
5	Boxer	Macho	2	23	Derecho	Hipermetría
6	Labrador	Macho	8	38	Derecho	Zancadas cortas y lentas
7	Bull Dog	Macho	2	34	Izquierdo	Circunducción
8	Rottweiler	Hembra	2	34	Izquierdo	Zancadas cortas y lentas
9	Pit bull	Hembra	5	22	Derecho	Zancadas largas y rápidas
10	Rottweiler	Hembra	7	40	Izquierdo	Apoyo en punta de miembro

**Cuadro 2.** Características radiográficas y artroscópicas de la articulación femoro-tibio-rotuliana de los pacientes del estudio.  
Radiographic and arthroscopic findings of the knee joint of the patients under study.

Paciente	Evaluación radiográfica			Líquido sinovial (mL)	Clasificación vellosidades y vascularización	Clasificación macroscópica Outerbridge	Osteofitosis
	O	MIA	EST				
1	0	0	1	1	II	III	Avanzada
2	1	1	1	1	III	IV	Avanzada
3	1	0	1	1,8	II	IV	Avanzada
4	1	0	1	1	III	IV	Avanzada
5	1	0	1	1	II	IV	Avanzada
6	1	0	1	1	II	III	Avanzada
7	1	0	1	1	II	IV	Avanzada
8	1	0	1	2	III	IV	Avanzada
9	0	0	1	1	II	III	Avanzada
10	0	0	1	1,5	II	III	Avanzada

O: osteofitosis, MIA: mineralización intraarticular, EST: esclerosis subcondral tibial.  
O: osteophytosis, MIA: intraarticular mineralization, EST: tibial subchondral sclerosis.

**Cuadro 3.** Media de la distribución porcentual del pico de fuerza vertical ( $Pf_z$ ) e impulso vertical para los miembros: afectado (A), contralateral (B), ipsilateral (C) y contralateral anterior (D). (media, error estándar de la media) de los pacientes del estudio.

Percentage distribution mean of peak vertical force ( $PF_z$ ) and vertical impulse for limbs: affected (A), contralateral (B), ipsilateral (C) and contralateral anterior (D) (mean, standard error of the mean) of patients under study.

Miembro	Pico de fuerza vertical ( $Pf_z$ )	Impulso vertical ( $If_z$ )
Tren posterior		
A	11,20 (2,93) a	10,15 (2,57) a
B	22,42 (2,15) b	20,21 (0,22) b
Tren anterior		
C	33,11 (0,99) a	31,99 (0,88) a
D	33,27 (0,86) a	37,64 (0,90) b

Medias seguidas de letras diferentes en las columnas difieren significativamente por la prueba de t pareada ( $P < 0,01$ ).  
Means followed by different letters in columns differ significantly by paired t test ( $P < 0,01$ ).

#### EVALUACIÓN ARTROSCÓPICA

La cantidad de líquido sinovial extraído varió entre uno y dos mililitros. Los resultados del examen artroscópico mostraron que los pacientes presentaban alteraciones de las vellosidades y vascularización en la membrana sinovial como indicador del grado de sinovitis (McIlwraith y Fessler, 1978) con clasificación entre moderada (II) y acentuada (III). La clasificación macroscópica Outerbridge (Beale y col 2003) del cartílago articular se presentó entre los grados III y IV. La presencia de osteofitos se clasificó en

todos los pacientes como avanzada (Beale y col 2003). Los resultados de la evaluación artroscópica se resumen en el cuadro 2.

#### CORRELACIONES

Se encontró una correlación negativa fuerte ( $r = -0,80$  ( $P < 0,01$ )) entre el grado de sinovitis y la velocidad de desplazamiento.

#### DISCUSIÓN

En términos generales, los resultados del análisis radiográfico en el presente estudio concuerdan con lo reportado por Harasen (2002), quien señaló que los hallazgos radiográficos son inespecíficos, inconsistentes e inevitablemente menos graves que los resultados del examen artroscópico. Esto sugiere que el examen radiográfico resulta poco sensible para el diagnóstico de ruptura de LCA y no ofrece gran ayuda para emitir un pronóstico. En tal sentido, el examen artroscópico es de gran valor no sólo para la confirmación del diagnóstico, sino para la elección del tratamiento y la emisión del pronóstico de cada caso.

Con frecuencia se reportan los signos de alteración de la marcha en pacientes con ruptura del LCA como no apoyo o apoyo en "punta del miembro" en casos agudos o como una cojera de presentación intermitente en los casos crónicos (Harasen 2002, Vasseur 2003, Piermattei y col 2006, Canapp 2007). Sin embargo, en el estudio presentado aquí se evidenció un abanico más amplio de alteraciones de la marcha como signo clínico de ruptura aguda del LCA, lo que sugiere que no existe un tipo de alteración de la marcha característico de ruptura aguda del LCA. Por el contrario, los signos clínicos reflejados como alteración de la marcha pueden ser variados e

inclusive poco sugestivos de ruptura de este ligamento, lo que coincide con lo descrito por Johnson y Johnson (1993), quienes afirmaron que los signos clínicos varían tremendamente y poco contribuyen con el diagnóstico de ruptura de LCA en el perro.

Lee y col (1999) afirman que bajo condiciones normales los miembros delanteros soportan el 60% de la masa corporal. También se ha reportado que en perros con marcha normal el porcentaje de distribución para cada miembro del  $Pf_z$  es en promedio 58,9% para los miembros anteriores y 41,1% para los miembros posteriores (Budsberg y col 1987). En el presente estudio los resultados del análisis de la marcha en plataforma de fuerza mostraron que los pacientes con ruptura del LCA, en términos de  $Pf_z$  e  $If_z$ , apoyaban mayor porcentaje de masa corporal en el tren anterior (66,38%), y prácticamente apoyan dos veces la cantidad de masa corporal en el miembro contralateral en relación al miembro afectado. Lo anterior demuestra que perros con ruptura del LCA distribuyen el apoyo de la masa corporal hacia los miembros anteriores y porcentualmente la mayoría hacia el miembro contralateral, en función de la disminución de la función del miembro afectado. Este hallazgo sugiere que la sobrecarga sobre el miembro contralateral podría predisponer la ruptura del LCA de ese miembro, previamente sano. Estos hallazgos concuerdan con la afirmación de que la ruptura del LCA del miembro contralateral es un riesgo inminente en estos pacientes (Johnson y Johnson 1993).

En nuestro estudio, tres medidas válidas para cada miembro permitieron obtener medias representativas para la evaluación de la marcha en plataforma de fuerza, diferente de lo reportado en otros trabajos (Besancon y col 2004, Mölsä y col 2010, Voss y col 2010). En esos estudios se obtuvieron medias para análisis en plataforma de fuerza a partir de cinco medidas válidas por cada miembro en perros sin alteraciones ortopédicas y previamente adiestrados para caminar en la plataforma (Besancon y col 2004, Mölsä y col 2010, Voss y col 2010). En el presente estudio se trabajó con pacientes sin adiestramiento previo para caminar en la plataforma. Por otra parte, se tenía limitación de tiempo para trabajar con ellos en la plataforma, y principalmente algunos pacientes presentaban dolor intenso del miembro afectado. Todo esto indiscutiblemente dificultó e inclusive impidió que los pacientes caminaran en la plataforma hasta obtener cinco pasadas válidas. Sin embargo, la obtención de tres medidas producto de pasadas válidas por miembro permitió obtener datos confiables de los parámetros cinéticos evaluados. Ese hecho, unido a que no se encontró correlación con la velocidad de desplazamiento, indicó, en las condiciones de estudio, que tres medidas pueden ser confiables para obtener una media y utilizarla en el análisis de la marcha en plataforma de fuerza.

La determinación del grado de asociación entre los parámetros evaluados mediante los análisis de correlación reveló una fuerte asociación negativa entre el grado de sinovitis y la velocidad de desplazamiento de los pacientes,

o sea, a mayor grado de sinovitis menor velocidad de desplazamiento, sugiriendo que la sinovitis fue uno de los principales factores causantes de alteración de la marcha en los pacientes del estudio. Por lo tanto, el tratamiento inicial en pacientes con ruptura del LCA debería estar enfocado a controlar la sinovitis. La no evidencia de correlaciones entre los otros parámetros evaluados coincide con lo reportado por Bleedorn y col (2011), quienes no encontraron correlación entre la masa corporal, la edad, el grado de claudicación, los hallazgos radiográficos y el grado de sinovitis por examen artroscópico en perros con ruptura del LCA.

En pacientes con ruptura del LCA, los resultados obtenidos bajo las condiciones del presente estudio permiten concluir que: 1) los signos clínicos en perros con ruptura del LCA presentan alteraciones de la marcha variadas e impredecibles, 2) el examen radiográfico es poco sensible para el diagnóstico y de poca ayuda para la emisión de un pronóstico, 3) la distribución del apoyo de la masa corporal se redistribuye hacia los miembros anteriores y principalmente hacia el miembro contralateral, 4) la sinovitis podría ser uno de los principales factores productores de alteración de la marcha y 5) La artroscopia, además de permitir valorar o no la presencia de sinovitis en la articulación afectada, permite el diagnóstico de ruptura de LCA. Este tipo de estudio con pacientes clínicos si bien presenta una serie de limitaciones cuando se compara con estudios experimentales controlados, refleja la realidad de la práctica clínica rutinaria y para el caso específico de LCA presenta datos reales de animales con ruptura natural de este ligamento.

## RESUMEN

Los objetivos de este estudio fueron describir los signos clínicos asociados con alteraciones de la marcha, y correlacionar los resultados del examen radiológico, artroscópico y análisis de la marcha en la plataforma de fuerza en perros con ruptura natural del ligamento cruzado anterior (LCA). 10 perros con ruptura clínica del LCA se utilizaron en este estudio. Durante el ingreso cada perro fue evaluado para conocer el grado del daño articular artroscópico y radiológico, además del tipo de trastorno de la marcha por análisis de la marcha en plataforma de fuerza. El examen radiográfico no se correlacionó con los hallazgos artroscópicos. Los cambios radiológicos fueron menos severos que la evaluación directa de la articulación durante la artroscopia. Las alteraciones de la marcha fueron variadas. La distribución de la masa corporal fue de 66,38% para los miembros anteriores y 33,62% para los miembros afectados. Se encontró una fuerte correlación negativa ( $\rho = -0,80$ ) entre el grado de sinovitis y la velocidad de desplazamiento. Los resultados obtenidos de esta investigación permiten concluir que: 1) la artroscopia es necesaria para establecer el compromiso real de la articulación, 2) los signos radiográficos no se correlacionan con los hallazgos artroscópicos, y 3) la sinovitis fue la principal causa de alteración de la marcha en los perros de este estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior (CAPES) y a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## REFERENCIAS

- Beale BS, DA Hulse, KS Schulz, WO Whitney, J Doval. 2003. *Small Animal Arthroscopy*. Elsevier, Philadelphia, USA, Pp 61, 152.
- Bertram JEA, A Ruina. 2001. Multiple walking speed-frequency relations are predicted by constrained optimization. *J Theor Biol* 209, 445-453.
- Besancon MF, MG Conzemius, RB Evans, MJ Ritter. 2004. Distribution of vertical forces in the pads of Greyhounds and Labrador Retrievers during walking. *Am J Vet Res* 65, 1497-1501.
- Bleedorn JA, EN Greuel, PA Manley, SL Schaefer, MD Markel, G Holzman, P Muir. 2011. Synovitis in dogs with stable stifle joints and incipient cranial cruciate ligament rupture: a cross-sectional study. *Vet Surg* 40, 531-543.
- Budsberg SC, MC Verstraete, RW Soutas-Little. 1987. Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *Am J Vet Res* 48, 915-918.
- Budsberg SC. 2001. Long-term temporal evaluation of ground reaction forces during development of experimentally induced osteoarthritis in dogs. *Am J Vet Res* 62, 1207-1211.
- Cabrera SY, TJ Owen, MG Mueller, PH Kass. 2008. Comparison of tibial plateau angles in dogs with unilateral versus bilateral cranial cruciate ligament rupture: 150 cases (2000-2006). *J Am Vet Med Assoc* 232, 889-892.
- Canapp SO. 2007. The canine stifle. *Clin Tech Small Anim Pract* 22, 195-205.
- Comerford EJ, JF Tarlton, NC Avery, AJ Bailey, JF Innes. 2006. Distal femoral intercondylar notch dimensions and their relationship to composition and metabolism of the canine anterior cruciate ligament. *Osteoarthritis Cartilage* 14, 273-278.
- Evans R, C Horstman, M Conzemius. 2005. Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Vet Surg* 34, 445-449.
- Harasen G. 2002. Diagnosing rupture of the cranial cruciate ligament. *Can Vet J* 43, 475-476.
- Innes JF, M Costello, FJ Barr, H Rudorf, ARS Barr. 2004. Radiographic progression of osteoarthritis of the canine stifle joint: a prospective study. *Vet Radiol Ultrasound* 45, 143-148.
- Johnson JM, AL Johnson. 1993. Cranial cruciate ligament rupture: pathogenesis, diagnosis and postoperative rehabilitation. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 23, 717-733.
- Katic N, BA Bockstahler, M Mueller, C Peham. 2009. Fourier analysis of vertical ground reaction forces in dogs with unilateral hind limb lameness caused by degenerative disease of the hip joint and in dogs without lameness. *Am J Vet Res* 70, 118-126.
- Krayer M, U Rytz, A Oevermann, MG Doherr, F Forterre, A Zurbriggen, DE Spreng. 2008. Apoptosis of ligamentous cells of the cranial cruciate ligament from stable stifle joints of dogs with partial cranial cruciate ligament rupture. *Am J Vet Res* 69, 625-630.
- Laros GS, CM Tipton, RR Cooper. 1971. Influence of physical activity on ligament insertions in the knees of dogs. *J Bone Joint Surg Am* 53, 273-287.
- Lee DV, JEA Bertram, RJ Todhunter. 1999. Acceleration and balance in trotting dogs. *J Exp Biol* 202, 3565-3573.
- McIlwraith CW, JF Fessler. 1978. Arthroscopy in the diagnosis of equine joint disease. *J Am Vet Med Assoc* 172, 263-268.
- Mölsä SH, AK Hielm-Björkman, OM Laitinen-Vapaavuori. 2010. Force platform analysis in clinically healthy Rottweilers: comparison with Labrador Retrievers. *Vet Surg* 39, 701-707.
- Piermattei DL, GL Flo, CE DeCamp. 2006. The stifle joint: cranial cruciate ligament rupture. In: Piermattei DL, Flo GL, DeCamp CE (eds). *Handbook of small animal orthopedics and fracture repair*. 4th ed. Saunders-Elsevier, St. Louis, USA, Pp 582-607.
- Rabillard M, R Danger, IP Doran, GW Niebauer, S Brouard, O Gauthier. 2012. Matrix metalloproteinase activity in stifle synovial fluid of cranial cruciate ligament deficient dogs and effect of postoperative doxycycline treatment. *Vet J* 193, 271-273.
- Vasseur PB, RR Pool, SP Arnoczky, RE Lau. 1985. Correlative biomechanical and histologic study of the cranial cruciate ligament in dogs. *Am J Vet Res* 46, 1842-1854.
- Vasseur PB. 2003. Stifle joint: cranial cruciate ligament rupture. In: Slatter D (ed). *Textbook of small animal surgery*. 3th ed. Saunders, Philadelphia, USA, Pp 2091-2116.
- Voss K, L Galeandro, T Wiestner, M Haessig, PM Montavon. 2010. Relationships of body weight, body size, subject velocity, and vertical ground reaction forces in trotting dogs. *Vet Surg* 39, 863-869.