

## **MORFOMETRÍA Y COMPRESIÓN EN LA MITAD DE LA DIÁFISIS DEL FÉMUR DE PERRO**

Rita Cecilia Fioretti Fessia<sup>1</sup>, Alicia Rolando Giordano<sup>2</sup>, Ada Mónica Galán Macagno<sup>3</sup>, Rosana Maricel Moine<sup>4</sup>, Pablo Gerardo Varela Farah<sup>5</sup>, Facundo Ubaldo Bonino<sup>6</sup>, Rolando Javier Quinteros<sup>7</sup>, José Natali Osimani<sup>8</sup>

1 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Río Cuarto, Argentina.

2 Profesora Titular, Biología Celular y Embriología, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

3 Profesora Adjunta, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

4 Profesora Adjunta, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

5 Profesor Asociado, Laboratorio Ensayo de Materiales, Fac. Ing. UNRC.

6 Jefe de trabajos prácticos- Área Matemática- Departamento de Estudios básicos y Agropecuarios, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

7 Ayudante de Primera- Área Matemática- Departamento de Estudios básicos y Agropecuarios, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

8 Profesor Titular, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

cfioretti@ayv.unrc.edu.ar

### **RESUMEN**

Los diversos parámetros morfométricos cuantifican el comportamiento biomecánico del tejido óseo. Los diámetros del hueso están asociados a su forma y están diseñados para neutralizar tensiones. El objetivo del trabajo es aportar conocimientos de las características biomecánicas del hueso fémur de perro con finalidad clínico-quirúrgica en Medicina Veterinaria, mediante la determinación del comportamiento mecánico ante cargas de compresión y características morfológicas en el tercio medio de su diáfisis. Para el estudio morfométrico se utilizó un programa computacional de análisis de imágenes. Se trabajó con huesos fémures provenientes de 20 perros mestizos adultos de 1,5 a 13 años. Se determinaron las propiedades estructurales de longitud total del hueso y diámetros latero-medial y cráneo-caudal en la parte media de la diáfisis. A los huesos izquierdos se les practicó una osteotomía transversal en la parte media de la diáfisis y se calcularon las áreas cortical, medular y total. En dicha región se obtuvieron muestras de

huesos (altura=diámetro) a las cuales se les aplicó el ensayo de compresión. Las variables en estudio fueron sometidas a análisis estadísticos descriptivos, regresión lineal y ANOVA. Los valores promedio obtenidos fueron: longitud total del fémur izquierdo 18,23 cm, área total 1,33 cm<sup>2</sup>, área cortical 1,06 cm<sup>2</sup>, fuerza 9,49 KN, deformación 1,31 mm. La regresión lineal nos demuestra que el 91 % de la variabilidad de la fuerza máxima, soportada por el hueso antes de la fractura, puede explicarse por los valores del área cortical. La morfología tiene influencia sobre las propiedades biomecánicas del hueso.

**PALABRAS CLAVE:** fémur, ensayo de compresión, perro, biomecánica, morfometría.

## **INTRODUCCIÓN**

Existe una estrecha relación entre los parámetros morfológicos del hueso y sus propiedades mecánicas ya que ellos cuantifican el comportamiento biomecánico del tejido óseo (Cerrud y col., 2005; Bediz et. al., 2010; Wang et. al., 2010). El funcionamiento biomecánico de los huesos largos está condicionado por factores claves, tales como: tamaño y forma del hueso, condiciones de carga y propiedades del material (Yeni et. al., 1997 Ríos-Días y col., 2008; Beckmann et. al., 2011). El tejido óseo presenta propiedades estructurales (tamaño, morfología, microarquitectura) y materiales (composición mineral y colágeno), las cuales combinadas equilibradamente determinan la salud ósea. Evans y col., (2010) expresan que el fémur es el hueso más grande del cuerpo, presenta una forma típicamente cilíndrica y su cuerpo o diáfisis es ligeramente convexo hacia craneal. Dyce y col., (2002) afirman que el fémur es el más fuerte entre los huesos largos del perro. Sin embargo, según estudios estadísticos realizados por Sánchez-Valverde y col., (1995), se considera que dicho hueso es el más afectado por fracturas. Los parámetros que se obtienen en el ensayo de compresión se presentan en la forma de curvas de Fuerza - Deformación, donde se evidencia que los huesos antes de romperse experimentan una deformación elástica (reversible) y plástica (irreversible) (Wehnenera et. al., 2010).

Este trabajo aporta conocimientos acerca de las características morfológicas de los huesos fémur de perro, brindando información biomecánica con finalidad clínico-quirúrgica para la práctica de la Medicina Veterinaria. La región del muslo del perro presenta gran importancia clínica, ortopédica y quirúrgica que fundamenta este trabajo (Wheeler y col. 2002; Gupta and Zioupos et. al. 2008). La determinación

experimental de propiedades mecánicas del tejido óseo en caninos es fundamental para crear un modelo animal extrapolable al humano.

Objetivos:

Determinar el comportamiento mecánico y resistencia ante cargas de compresión del tercio medio de la diáfisis del hueso fémur aislado de perro, mediante la obtención de curvas fuerza - deformación.

Comparar las variables morfométricas de los huesos fémur con su resistencia a la compresión.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El presente trabajo se realizó utilizando los huesos fémur de perro en condiciones aisladas. Se trabajó con piezas anatómicas provenientes de 20 animales mestizos adultos jóvenes (cuyas edades oscilaron entre 1,5 y 13 años). Se aislaron, por desarticulación coxofemoral y fémorotibiopatelar, ambos fémures y se los liberaron de sus partes blandas. Los procedimientos citados se llevaron a cabo en la cátedra de Anatomía Veterinaria del Departamento de Anatomía Animal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC. Este trabajo se realizó con piezas anatómicas (huesos fémur) con acuerdo por parte de la *Comisión de Bioética de la Universidad Nacional de Río Cuarto*.

Los huesos se mantuvieron envueltos en gasa humedecida con solución fisiológica y se conservaron a -20 C° hasta su montaje para el ensayo mecánico, preservando de esta manera las propiedades óseas (Yeni et. al., 1997).

En el análisis morfométrico se determinaron: longitud total; diámetro cráneo-caudal y diámetro latero-medial en la mitad de la diáfisis, utilizando para las mediciones regla micrométrica de 0,02 mm. de graduación y analizador de imágenes (software Axio Vision Release 4.6.3 de Carl Zeiss, Alemania). Los fémures del miembro izquierdo se osteotomizaron transversalmente en la mitad su diáfisis, utilizando para ello una amoladora con disco de corte específico. La elección de lateralidad (derechos o izquierdos) para el hueso osteotomizado responde sólo a un fin metodológico de trabajo. En la superficie de sección se determinó mediante un microscopio óptico Axiophot (Carl Zeiss, Alemania): espesor de la cortical en los cuadrantes (craneal, caudal, lateral y medial), diámetro medular (cráneo-caudal y latero-medial) y se obtuvieron los valores de las áreas de sección total, cortical y medular (Fig. 1). El análisis de imágenes se llevó a cabo en el área de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas y se realizó a través de una Cámara Digital Powershot G<sub>6</sub>, 7.1 megapixels (Canon INC, Japón) adosada al

microscopio óptico. El programa computacional nos proporcionó los pixels correspondientes a cada área sometida a medición. Mediante cálculo matemático (regla de tres simple) se transformaron luego los pixels en  $\text{cm}^2$ , obteniendo valores de los diámetros de cavidad medular, área total y área medular. El área cortical se calculó por diferencia entre el área total y el área medular (Fig. 2).

El método empleado para determinar el comportamiento del hueso sometido a carga mecánica fue el *ensayo estático de compresión* para el cual se utilizó una máquina universal de ensayos estáticos y dinámicos servohidráulica AMSLER 6PZD 1406 la cual proporciona curvas de fuerza - deformación con 16 datos por segundo (8 datos de fuerza y 8 datos de deformación). Se trabajó con muestras cilíndricas con una relación de altura igual al diámetro, en la mitad de la diáfisis del fémur. Cada muestra se colocó entre una placa y un dispositivo cilíndrico para realizar la compresión. La maquinaria específica para este tipo de ensayo se encuentra en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (L.E.M.) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Cada muestra se colocó entre una placa y un dispositivo cilíndrico para realizar la compresión. Los ensayos se estandarizaron con parámetros de Escala de F (carga) en KN (kilogramo Newton); Escala de L (deformación) en mm y Tiempo en minutos. Los valores correspondientes a nuestro ensayo fueron Escala de F=30 KN; Escala de L= 10 mm y Tiempo= 31 minutos.

Las variables en estudio se sometieron a análisis estadísticos específicos, descriptivos e inferenciales, mediante el empleo del programa estadístico InfoStat versión 2009. Se realizó una estadística descriptiva para cada hueso tabulando los valores de tendencia central (media) y de dispersión (desvío estándar) para las variables cuantitativas (longitud del hueso, área total, cortical y medular). Se realizaron análisis de regresión para las variables: área cortical versus fuerza y área cortical versus deformación. Finalmente se realizó Análisis de la Varianza.

## **RESULTADOS**

Los valores promedio obtenidos fueron: longitud total del fémur izquierdo 18,23 mm, área total  $1,33 \text{ cm}^2$ , área cortical  $1,06 \text{ cm}^2$ , fuerza 9,49 KN, deformación 1,31 mm (tabla 1). La regresión lineal de la fuerza vs área cortical presentó un  $R^2= 0,91$  (Fig. 2) dicho valor fue igual que la fuerza vs área total. La curva de fuerza promedio que resistieron los fémures se muestra en la figura 4. La deformación del

área cortical y área total ante la fuerza aplicada presentó un  $R^2 = 0,88$  y  $R^2=0,89$ , respectivamente. Dentro de las propiedades estructurales del fémur, en el área cortical se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0,0001$ ) respecto de la fuerza absorbida antes de la fractura. En la estadística inferencial se realizaron análisis de correlación para las variables área cortical del fémur versus longitud y se determinó que el área cortical depende linealmente de la longitud del hueso ( $r = 0,66$ ,  $p = 0,000068$ ).

## **DISCUSIÓN**

Para el estudio morfométrico del hueso es posible utilizar métodos manuales, semiautomáticos y automáticos. Con la ayuda de ordenadores y digitalización de imagen es factible la obtención y análisis de imágenes. Los diversos parámetros morfométricos cuantifican el comportamiento biomecánico del tejido óseo tal cual han evaluado Cerrud (2005) y Bediz (2010). El presente estudio morfométrico fue realizado combinando métodos manuales de mediciones con métodos automáticos. En la figura 3 se observa que a medida que aumenta el área cortical se incrementa la fuerza que soporta el hueso previo a la fractura. Similar gráfico se obtuvo para el área total, pero no es confiable debido a la influencia del área de cavidad medular del hueso. En coincidencia con Ríos-Días (2008) y Beckmann (2011) hemos comprobado en este trabajo que la morfología del hueso tiene mucha importancia en la resistencia a la fractura del fémur. Dichos autores realizaron estudios sobre fémur y tibia de humanos y destacaron que los parámetros morfológicos, en conjunto, pueden explicar en un alto porcentaje (49 a 68%) la variación de resistencia a la fractura. Los diámetros del hueso están asociados a la forma del mismo, es así como están diseñados para neutralizar las tensiones por efecto de la flexión resultante de la carga por un lado, y las fuerzas opuestas generadas por la masa muscular por el otro (Gupta and Zioupos, 2008).

En este trabajo se determinó que entre la longitud del fémur y su correspondiente área cortical existe un coeficiente de correlación  $r = 0,66$ . Por lo tanto a medida que la longitud del hueso aumenta se verifica un incremento del área cortical y también la capacidad de soporte corporal. Hemos encontrado variaciones en los valores de espesor y área cortical. Si tomamos la muestra de fémur N° 2 y N° 22 que provenían de perros del mismo sexo e igual edad (machos de 10 años), se observa que presentaron diferencias significativas en el espesor y área cortical. En la figura 4 se observa que luego del punto máximo de fuerza (9,49 KN) comienza la etapa plástica del hueso.

## CONCLUSIONES

- El 91 % de la variabilidad de la fuerza máxima, soportada por el hueso antes de la fractura, puede ser explicada por el área cortical.
- A medida que aumenta el área cortical también lo hace su resistencia a la fractura.
- A medida que aumenta el área cortical el hueso comprimido sufre mayor deformación.
- La longitud total del fémur está correlacionada positivamente con el área cortical.
- Los parámetros morfológicos, en conjunto, explican en un alto porcentaje la variación de resistencia del hueso a la fractura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Beckmann, J., Springorum, R., Vettorazzi, E., Bachmeier, S., Lüring, C. 2011. Fracture prevention by femoroplasty—cement augmentation of the proximal femur. *Journal of Orthopaedic Research*. 29: 1753–1758.
2. Bediz, B. 2010. Measuring Structural Dynamic Properties of Human Tibia by Modal Testing. *Biomechanical clinical*. 25 (4):159-165.
3. Cerrud, S.; Sara, M.; Narváez, C.; Mónica, Y.; Muñoz, G.; Vivaldo. 2005. Modelado del comportamiento mecánico del hueso (Análisis de los efectos del grado de hidratación). *Ingeniería Mecánica. Tecnología y desarrollo*. 1, No. 6, p.p. 223 – 232.
4. Dyce, K.M., Sack, W.O. and Wensing, C.J.G. 2002. Anatomía Veterinaria. 2º edición. Editorial Mc Graw –Hill Interamericana. Cap. 2: 94.
5. Evans, H. y de Lahunta, A. 2010. Guide to the dissection of the dog. Seventh edition. ISBN: 978-1-4377-0246-0. Cap. 2: 45-48.
6. Gupta, H.S. and Zioupos P. 2008. Fracture of bone tissue: The 'hows' and the 'whys'. *Medical Engineering Physics*. 30: 1209-1226.
7. Ríos - Días. 2008. Architecture and internal bone organization and different mechanical stimulus application. *Fisioterapia*. 30 (4): 194-203.
8. Sánchez- Valverde, M. A.; Tovar, M. C.; Agut, A.; Laredo, F. G. 1995. Estudio clínico de las fracturas pediátricas en la especie canina. *Arch. Med. Vet.* XXVII, Nº 2.
9. Wang, X.; Nyman, J.; Dong, X.; Leng, H.; Reyes, M. 2010. Book. Fundamental Biomechanics in Bone Tissue Engineering. Cap. 3 y 4. Pág. 59-62.

10. Wehnenera, T.; Wolframa, U.; Henzlerc, T.; Niemeyera, F.; Lutz, C. and Ulrico, S. 2010. Internal forces and moments in the femur of the rat during gait. *Journal of Biomechanics*. 43 (13): 2473-2479.
11. Wehnenera, T.; Wolframa, U.; Henzlerc, T.; Niemeyera, F.; Lutz. 2010. Internal forces and moments in the femur of the rat during gait. *Journal of Biomechanics*. 43 (13): 2473-2479.
12. Wheeler, J.T.; Adagio, L.; D Amico, G.; Hierro, J.; Hagge, M.; Lattanzi, D.; Schieda, F.; Sanfilippo, S. 2002. Fracturas de huesos largos en caninos inmaduros. *Ciencia Veterinaria*. Facultad de Ciencias Veterinarias N. N. L. Pam. Pág. 57-67.
13. Yeni, Y. N.; Brown, C. U.; Wang, Z. and Norman, T. L. 1997. The influence of bone morphology on fracture toughness of the human femur and tibia. *Bone*. 21 (5): 453-459.

## ANEXOS

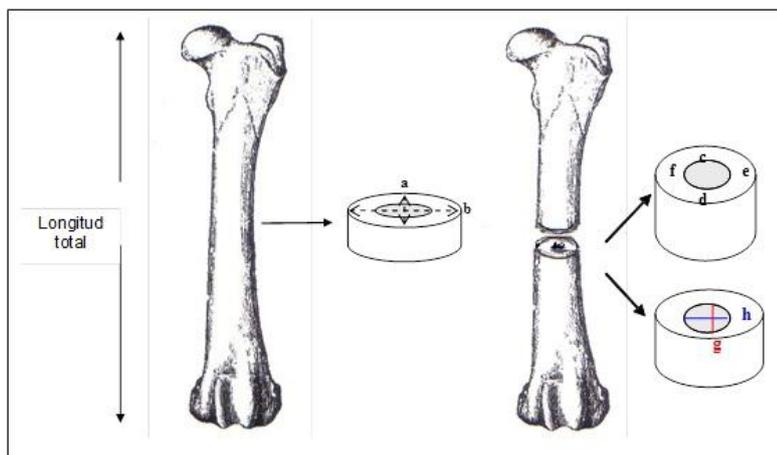


Fig. 1: Vista craneal del hueso fémur izquierdo y representación esquemática de medidas geométricas: longitud total del hueso, diámetro craneo-caudal (a), diámetro latero-medial (b) en la mitad de la diáfisis. B: Cuadrantes craneal (d), caudal (c), lateral (e), medial (f); diámetro medular craneo-caudal (g), diámetro latero-medial (h). Tomado y modificado de Evans, 2010.



Fig. 2: Fémur N° 12 con sus pixels correspondientes al área total (23272 px<sup>2</sup>) y área medular (10124,5 px<sup>2</sup>).

**Medidas resumen**

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
long tot izq	20	18,83	1,71	16,00	21,90
Área Total	20	1,33	0,33	0,55	1,85
Área Cort	20	1,06	0,27	0,45	1,51
Fuerza	20	9,49	2,33	5,58	14,33
Deformac	20	1,31	0,28	0,88	2,00

Tabla 1: Medidas resumen de los fémures analizados (n=20).

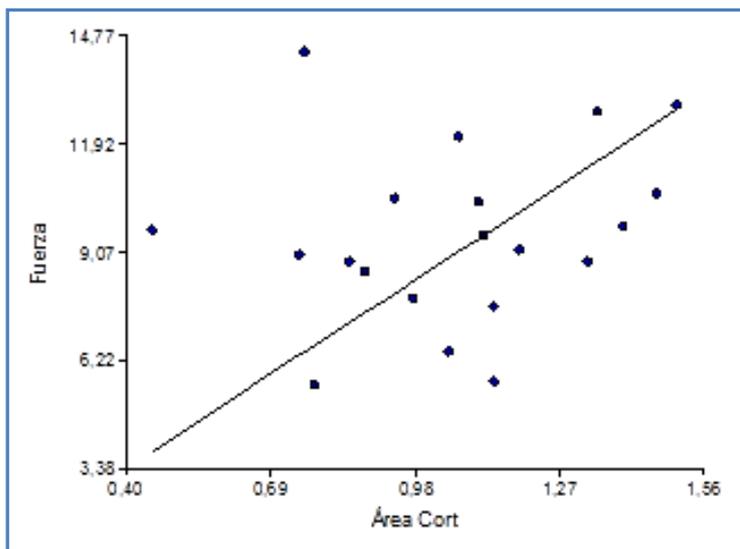


Figura 3: gráfico de dispersión de Fuerza (KN) vs Área cortical (cm<sup>2</sup>).

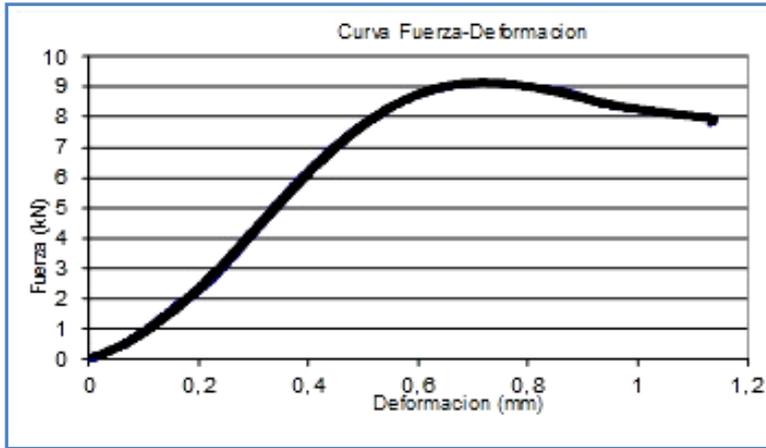


Figura 4: Curva de Fuerza (KN) vs Deformación (mm) del fémur N° 18.