

OPCIONES QUIRÚRGICAS EN FRACTURAS FEMORALES CONMINUTAS.

J. M. Martí | Veterinario, Dip ACVS, Dip ECVS, Cert SAO, MVM, MRCVS Clinical Assistant Professor. Cirugía de Pequeños Animales, Facultad de Veterinaria de Mississippi. Estado de Mississippi. MS 39762-9825. EE.UU.

RESUMEN.

Las fracturas femorales son las fracturas apendiculares más comunes en la clínica veterinaria diaria, muy a menudo a consecuencia de considerable trauma. Su resolución quirúrgica, en presencia de conminución, puede convertirse en un reto con un alto grado de dificultad para muchos cirujanos. La creación de nuevas técnicas de resolución de estas fracturas, así como avances en el diseño y aplicación de diferentes implantes de osteosíntesis, han abierto recientemente nuevas perspectivas al cirujano veterinario. En este artículo se pretende exponer una revisión actualizada de las diferentes técnicas disponibles para la resolución de estas fracturas.

Palabras clave: Fémur; Fractura conminuta; Opciones quirúrgicas.

ABSTRACT.

Femoral fractures are the most common appendicular fractures in our daily veterinary practice, very often as a result of considerable trauma. Their surgical resolution, in the presence of comminution, can become a very difficult challenge for many surgeons. The creation of new techniques for fixation of these fractures, along with advances in the design and application of osteosynthesis implants has recently opened new possibilities to the veterinary surgeon. In this paper, the author intends to present an updated review of the different available techniques for the surgical resolution of these fractures.

Key words: Femur; Comminuted fracture; Surgical options.

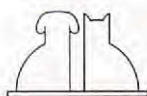
INTRODUCCIÓN.

El jardinero y el carpintero: dos filosofías diferentes.

Hoy en día, el cirujano moderno dispone de numerosas técnicas para la reparación de fracturas y para conseguir una funcionalidad aceptable en la extremidad afectada. Unos métodos de fijación se basan en la reconstrucción anatómica y una rígida estabilidad mecánica del hueso fracturado, y otras se basan más en intentar respetar la vascularidad ósea y los tejidos blandos circundantes para potenciar al máximo los aspectos biológicos de la cicatrización. Estas dos filosofías, cuyas versiones extremas pueden presentarse como opuestas, son las filosofías del carpintero y la del jardinero, respectivamente (1).

Durante muchos años, especialmente tras la instauración de los principios básicos de la fijación interna rígida, el cirujano veterinario se ha esfor-

zado denodadamente y ha invertido muchas horas en la reconstrucción de fragmentos óseos en fracturas conminutas. Sin duda, el hueso necesita estabilidad para que se produzca la revascularización de los fragmentos y su cicatrización y, acorde con esta filosofía, esta estabilidad sólo puede venir por vía de una fijación rígida con implantes metálicos que reconstruyan la columna ósea. La perfecta aposición de los fragmentos permite la transferencia de la carga de apoyo al hueso y la funcionalidad temprana de la extremidad afectada. Esta estrategia, válida todavía para muchos cirujanos ortopédicos, supone largas cirugías en las cuales los fragmentos óseos son manipulados y desprovistos de sus inserciones de tejidos blandos, lo que compromete todavía más su ya precario aporte vascular. Este daño iatrogénico al área de la fractura supone un retraso en el proceso de consolidación ósea, ya que los fragmentos deben ser reabsorbidos y revascularizados para poder ser reemplazados por hueso viable. En esta situación



de desventaja biológica, la fijación debe ser lo suficientemente estable y duradera para asegurar la resolución de la fractura.

Los entusiastas de la filosofía del jardinero proponen una estrategia bastante diferente. Para maximizar la potencialidad biológica del hueso hacia una rápida cicatrización, el cirujano procura no exponer la fractura durante largas cirugías, no manipular fragmentos óseos excesivamente ni dañar sus inserciones de tejidos blandos, no desplazar el hematoma fractuario, reconociendo que la vascularidad de la zona ya ha sido bastante castigada con la fractura y que es esta misma vascularidad la que es vital para la cicatrización ósea. El resultado es una consolidación rápida basada en un callo óseo establecido sobre el hematoma fractuario. En esta situación biológicamente ventajosa, la necesidad de una fijación rígida y duradera es menor que en el ejemplo anterior. Esta manera de abordar el problema no es nueva en absoluto, pero los avances en nuestros conocimientos acerca de la biología de la cicatrización ósea y la introducción de nuevas técnicas ortopédicas han provocado su reciente resurgir y una tendencia hacia su mayor utilización por muchos cirujanos.

La reticencia de muchos cirujanos a abandonar la filosofía del carpintero es la errónea creencia de que las esquirlas no fijadas de manera rígida se convertirán irremediabilmente en secuestros. Un secuestro óseo es un fragmento devascularizado e infectado. Por lo tanto, para obtener un secuestro se necesita eliminar la vascularidad e introducir un número suficiente de bacterias en la zona, y el cirujano carpintero se encarga iatrogénicamente, a través de la manipulación de los fragmentos durante la cirugía, de que estas dos premisas se cumplan. En el otro extremo, las fracturas reparadas a cielo cerrado prácticamente nunca se infectan, ya que las esquirlas, aunque parezcan estar "flotando" en las radiografías, raramente quedan desprovistas de inserciones musculares tras la fractura. Por lo tanto, el cirujano jardinero vence la tentación de manipular cada fragmento y confía en que, canalizando y guiando la respuesta biológica tisular con un mínimo de intervención, los resultados serán satisfactorios.

Estas dos filosofías son a menudo usadas de manera complementaria y equilibrada, dependiendo de la fractura en particular y de las preferencias personales y experiencia del cirujano. Algunas de las técnicas de fijación que se presentan a continuación pueden ser utilizadas manteniendo los principios de cualquiera de las dos filosofías, dependiendo de la situación. El cirujano,

utilizando por ejemplo un clave cerrojado, puede intentar reconstruir la columna ósea con cerclajes o simplemente alinear el fragmento principal proximal y distal y dejar que la conminución cicatrice por sí sola, usando la filosofía del jardinero. En una reciente revisión, las fracturas femorales conminutas reparadas con placa de osteosíntesis y reconstrucción de fragmentos tuvieron una cicatrización más prolongada y tiempos de cirugía más largos que las reparadas sin reconstrucción, con resultados clínicos similares (2).

Las fracturas de fémur son muy comunes en la práctica diaria; llegan a representar el 35% de las fracturas de tercio posterior y el 24% del total de fracturas en pequeños animales (3). Más de un tercio de estas fracturas femorales son altamente conminutas (4). A continuación se presenta una revisión de las diversas opciones quirúrgicas disponibles para su resolución.

OPCIONES QUIRÚRGICAS.

Reconstrucción con clavo intramedular y cerclajes.

Muchas fracturas conminutas de fémur, sobre todo en perros pequeños, se pueden reparar mediante reconstrucción de los fragmentos óseos alrededor de uno o varios clavos intramedulares y la aplicación de cerclajes para obtener compresión interfragmentaria. El implante intramedular en solitario es efectivo resistiendo fuerzas de doblamiento y translación, pero no puede contrarrestar las fuerzas del colapso y torsión del foco de fractura (5). El uso de varios clavos puede incrementar la resistencia a la torsión comparado con un solo clavo (6), pero es la aplicación de cerclajes la que ayuda en mayor medida a la reconstrucción de las esquirlas óseas alrededor del clavo. Un cerclaje bien aplicado contribuye a la estabilidad general al incrementar la fricción y la compresión interfragmentaria, ayudando a la reconstrucción de la columna ósea. Esta técnica es particularmente útil en la especie felina, cuyo fémur es recto y cilíndrico, ideal para el enclavaje intramedular. Experimentalmente, se ha demostrado que un colapso mínimo de los fragmentos alrededor del clavo conlleva la inmediata pérdida de tensión y, por lo tanto, de función del cerclaje (7). Esto supone que el cirujano carpintero debe lograr una reconstrucción fragmentaria perfecta para evitar cualquier movimiento de las esquirlas tras la cirugía. La seguridad y eficacia del

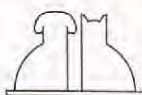




Fig. 1. La combinación entre un clavo intramedular y un fijador externo simple es una simbiosis muy conveniente en reconstrucciones incompletas.

cerclaje, es decir, la tensión que se imparte al alambre, se puede incrementar con el uso de nuevos nudos y diseños de cerclajes (7).

Clavo intramedular, cerclajes y fijador externo.

Si la reconstrucción es demasiado dificultosa debido al excesivo número de esquirlas o su pequeño tamaño, o bien porque el cirujano decide solamente asegurar los fragmentos más grandes con cerclajes y dejar el resto con sus inserciones de tejido blando, la falta de contacto parcial o total entre los fragmentos óseos en una reconstrucción incompleta requiere una fijación más rígida. Para incrementar la rigidez de un sistema de enclavaje intramedular, particularmente frente al colapso de la fractura y las fuerzas de torsión, la adición de un fijador externo es una gran solución (8). Un simple fijador unilateral uniplanar de dos clavos, con un clavo anclado en el trocánter mayor y otro en el cóndilo femoral, es un instrumento muy efectivo que funciona en simbiosis con el implante intramedular (5) (Fig. 1). El diseño de este fijador externo puede complicarse más si la situación lo requiere. Una de estas opciones es la conexión de la barra del fijador externo con el clavo intramedular (que se deja sobresaliendo del trocánter mayor a través de la piel), mediante una barra corta (9). La anatomía regional del muslo no permite la inserción de clavos de fijador a lo largo de todo el fémur sin incurrir en considerable daño a los músculos de la zona (10). Sin embargo, el uso de más clavos de fijador dentro de una configura-

ción unilateral uniplanar es posible en las metafisis proximal y distal, si existe suficiente espacio en el fémur alrededor del clavo intramedular (8). Especialmente útil en fracturas supracondilares es la aplicación de un clavo roscado transcóndilar que permita la utilización de una segunda barra curva que conecte este clavo medialmente con el clavo más proximal, lateralmente, se consigue así (12) una configuración biplanar (11, 12, 13). Recientes mejoras en el diseño de nuevas rótulas de fijador (14), en nuestros conocimientos de la biología de la interfase clavo-hueso (15) y en la correcta aplicación de clavos con rosca positiva (16) retardan la pérdida de anclaje y aseguran una fijación estable y duradera.

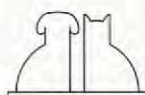
El uso exclusivo de fijadores externos en la reparación de fracturas femorales puede ser exitoso en gatos (5). Sin embargo, para evitar excesivo daño a los tejidos blandos, la inserción de clavos de fijador en el fémur debe restringirse a las metafisis, lo cual reduce la estabilidad mecánica del cuadro (10). Esto hace que los sistemas de fijación externa en solitario sean insuficientes para la resolución de la gran mayoría de fracturas femorales en nuestros pacientes.

Clavo cerrojado.

El uso de clavo cerrojado para determinadas fracturas conminutas en cirugía ortopédica veterinaria es relativamente nuevo (17, 18) comparado con la ortopedia humana, donde su utilidad está establecida desde hace décadas. Este sistema consiste en la aplicación de un clavo intramedular con orificios que permiten la colocación de tornillos transcorticales que acerrojan el clavo al hueso. Cada tornillo, generalmente dos en el fragmento proximal y dos en el distal, se ancla en ambas corticales y pasa por el orificio del clavo.

Su utilidad para resolver fracturas femorales difíciles en cirugía veterinaria ha sido demostrada recientemente en una serie de casos (19).

Este tipo de fijación tiene varias ventajas biomecánicas. En primer lugar, el implante está muy cerca o coincide con el eje neutral del hueso, con lo cual el estrés mecánico al que se somete se reduce considerablemente. Los clavos cerrojados tienen una gran resistencia al doblamiento y a la torsión, comparados con un clavo intramedular sin acerrojar o incluso placas de osteosíntesis (20). Gracias a su anclaje al hueso por los tornillos, el colapso del foco de fractura no es posible, a menos que se produzca la fractura de los tornillos.





Figs. 2 y 3. Esta fractura conminuta de fémur proximal se ha reconstruido totalmente, con una mentalidad de carpintero. Placa de compresión dinámica ancha de 3,5 mm, con tornillos de 4,5 mm.

Esto permite su aplicación en fracturas con considerable conminución sin que el cirujano se preocupe de la tediosa reconstrucción de los fragmentos diafisarios. Así, el cirujano tiene la opción de la reconstrucción total o parcial de los fragmentos o el respeto al hematoma fractuario. Dada las favorables características biomecánicas del implante, el paciente puede empezar a usar la extremidad operada muy tempranamente mientras la cicatrización ósea en el área conminuta progresa.

Una de las limitaciones de este sistema de fijación es la necesidad de disponer de un fragmento proximal y distal suficientemente grandes como para anclar los tornillos en hueso intacto, suficientemente alejados de la línea de fractura. Por lo tanto, las fracturas ideales para un clavo cerrojado son las diafisarias, con fragmentos principales metafisarios intactos. La forma más común de fracaso del implante ocurre cuando uno de los orificios del clavo, las zonas más débiles del implante, queda demasiado cerca de la fractura y está sujeto a demasiado estrés mecánico ⁽²¹⁾.

Existen varios sistemas de clavos cerrojados en el mercado que ofrecen una diversidad de grosores y permiten su aplicación en una gran variedad de pacientes, desde gatos a perros de gran tamaño. El coste de estos implantes, muy inferior al de una placa de osteosíntesis, la relativamente baja inversión en instrumental y su relativa facilidad de aplicación los convierten en una muy buena opción para muchas fracturas femorales conminutas.

Opciones en el uso de placas y tornillos óseos.

La reconstrucción total o parcial de la columna ósea es también posible con placas de osteosíntesis y tornillos de compresión (Figs. 2 y 3). Las esquirlas se aseguran a los fragmentos principales y entre sí mediante el uso de tornillos o cerclajes, para obtener compresión interfragmentaria. En esta opción, la placa de osteosíntesis actúa en neutralización protegiendo la zona reconstruida hasta la consolidación ósea. Uno de los condicionantes es que, para conseguir una reconstrucción completa, las esquirlas deben ser lo suficientemente grandes como para aceptar un tornillo en compresión o unos cerclajes sin fracturas. Ésta es posiblemente la técnica que más se acerca a la filosofía del carpintero. La mayoría de las esquirlas deben ser liberadas completamente de sus inserciones de tejido blando para ser manipuladas y fijadas convenientemente; el tiempo de cirugía es largo, la exposición de tejidos es extensa, la disrupción del hematoma fractuario es total y el volumen de cuerpo extraño en forma de implantes metálicos dejados en el foco de fractura es considerable. En tal situación, donde los factores biológicos han recibido un duro golpe y la cicatrización va a ser retardada, los factores mecánicos deben compensar en forma de estabilidad absoluta y duradera ⁽¹⁾.

Una placa situada en la cara lateral del fémur está sujeta a considerable estrés cíclico si la reconstrucción de la cortical medial es incompleta. Este estrés se concentra especialmente en orificios sin tornillo, hasta el punto de que la placa puede doblarse o fracturarse si el límite de la fatiga del implante se produce antes de la consolidación ósea.

Las placas de osteosíntesis más utilizadas en cirugía veterinaria son las placas de compresión dinámica, las cuales pueden ser usadas en compresión, neutralización o soporte dependiendo de las circunstancias. Las placas de 3,5 mm (es decir, que idealmente reciben tornillos corticales de 3,5 mm de diámetro externo de rosca) son las más comúnmente utilizadas en fracturas femorales de perros de tamaño mediano, pero en fémures de mayor tamaño se pueden usar las placas de 4,5 mm. Existen placas anchas y estrechas para ambos sistemas, lo cual abre todavía más el abanico de opciones al cirujano. Por ejemplo, en una fractura femoral conminuta de un perro mediano donde la placa va a proteger una zona no recons-

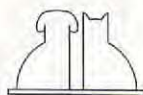




Fig. 4. Placa de elongación estrecha de 4,5 mm. Obsérvese la zona central sólida, sin orificios de tornillo. Los orificios redondos reducen la posible inestabilidad entre la cabeza del tornillo y la placa.

truida y a resistir grandes fuerzas de apoyo, es conveniente utilizar una placa ancha de 3,5 mm en vez de la variedad estrecha, menos rígida y resistente a la fatiga por su menor grosor, así se evita utilizar un sistema de 4,5 mm, cuyas placas pueden ser difíciles de contornear y cuyos tornillos pueden ser excesivamente grandes para el hueso en cuestión. También es necesario saber que es posible insertar un tornillo de 4,5 mm en un orificio de una placa de compresión dinámica de 3,5 mm, de manera que el cirujano puede elegir usar un tornillo de mayor grosor cuando lo crea conveniente (Figs. 2 y 3).

Otra solución para el mismo problema es el uso de placas de elongación⁽²²⁾ (Fig. 4). Estas placas poseen una sección central sólida, sin orificios para tornillos, de manera que la conminución está protegida por esta porción sólida. Otra ventaja de este implante es que los orificios de la placa son redondos y no ovalados como en la placa de compresión dinámica, de manera que la cabeza del tornillo no puede desplazarse dentro del orificio de la placa, y se evita así cualquier posibilidad de translación e inestabilidad en este punto. Con este método, el cirujano puede ignorar por completo los fragmentos centrales y concentrarse en la alineación espacial de los fragmentos principales en

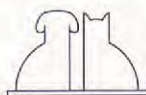
los que anclar la placa, acercándose a la filosofía del jardinero más que a la del carpintero. Esta alineación especial es especialmente importante en lo referente a la orientación rotacional y de angulación *valgus-varus* de los fragmentos principales, ya que el restablecimiento de la longitud ósea inicial no es totalmente necesaria (Figs. 5, 6 y 7).

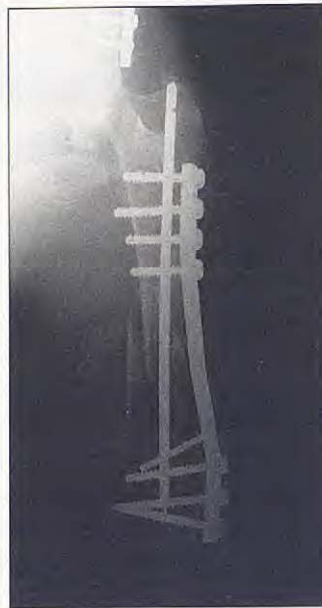
Otro tipo de placas, menos utilizadas por su grado de especialización y coste, son las placas de compresión dinámica de bajo contacto (LC-DCP). Estos implantes de titanio puro disponen de varias ventajas. La primera de ellas es el menor módulo de elasticidad y mayor resistencia a la fatiga mecánica cíclica comparado con el acero inoxidable del resto de los implantes, lo cual es beneficioso cuando la placa se usa para reconstrucciones incompletas⁽²³⁾. La segunda es la presencia de escotaduras en la superficie de contacto de la placa con el hueso, las cuales reducen la rigidez del implante pero, a la vez, lo hacen igualmente rígido a lo largo de toda su longitud, evitando que un agujero de tornillo vacío se convierta irremediablemente en el punto más débil de la reparación.

Las placas de reconstrucción presentan escotaduras entre sus orificios que permiten su fácil contorneo en tres dimensiones, para facilitar la adaptación y el contacto entre la placa y el hueso, especialmente en superficies óseas con marcadas angulaciones. Debido a esta propiedad, este implante no está diseñado para soportar grandes cargas y no es apropiado para la reparación de la gran mayoría de fracturas femorales. Sin embargo, han sido utilizadas con éxito en fracturas femorales supracondilares⁽²⁴⁾.

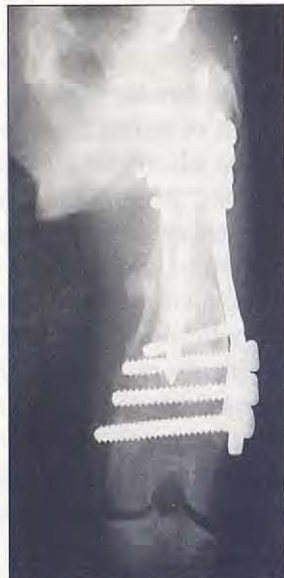


Figs. 5, 6 y 7. Este es un ejemplo extremo de la filosofía del jardinero. Esta placa de elongación se ha utilizado para alinear los fragmentos principales y dejar que el callo de fractura se desarrolle a partir del hematoma y los fragmentos óseos. Obsérvese la incorporación del fragmento caudal al callo óseo.





Figs. 8,9 y 10. Esta fractura altamente conminuta de fémur fue reparada con una combinación placa-clavo, sin reconstrucción de los fragmentos centrales. Otro ejemplo de la filosofía del jardinero.



Figs. 11 y 12. Radiografía cuatro meses tras la cirugía.

Combinación clavo intramedular y placa.

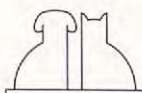
Otra manera de proteger la placa de osteosíntesis de la fatiga cíclica y prevenir su fractura en casos de reconstrucción incompleta de la columna ósea es la adición de un clavo intramedular. Esta técnica implica el uso de un clavo intramedular más delgado que si se usara en solitario, que se ciñe a la cortical medial del fémur, en combinación con la aplicación de una placa de osteosíntesis anclada en los fragmentos principales. Experimentalmente, se ha comprobado que la presencia de un clavo intramedular que ocupe el 50% del canal medular reduce el estrés mecánico de la placa a la mitad e incre-

menta la resistencia a la fatiga por diez ⁽²⁵⁾. El clavo se coloca en primera instancia para alinear la extremidad vía manipulación de los fragmentos proximal y distal. Se recomienda un mínimo de cuatro tornillos por fragmento principal teniendo en cuenta que, debido a la presencia del clavo, algunos de estos tornillos sólo pueden atravesar la cortical cercana (Figs. 8, 9 y 10).

El tipo de placa a utilizar es variable. Sin duda, una placa de elongación proporciona la máxima rigidez gracias a su sección sólida central, pero se ha comprobado que la adición de un clavo intramedular a una placa de compresión dinámica refuerza su sección central con agujeros sin tornillos hasta hacerla tan rígida como si fuera sólida ⁽²⁵⁾. El cirujano jardinero puede así evitar la reconstrucción de los fragmentos y utilizar esta técnica con muy buenos resultados ⁽²⁾ (Figs. 11 y 12).

Injertos óseos.

La capacidad biológica de cicatrización de una fractura puede ser potenciada mediante el uso de injertos óseos ⁽²⁶⁾. Sin duda, el tipo de injerto óseo más comúnmente utilizado en cirugía veterinaria es el autoinjerto fresco de hueso esponjoso. Para el cirujano con mentalidad de jardinero, la preservación del hematoma fractuario es la mejor manera de mantener el potencial osteogénico del hueso fracturado. En estas circunstancias, un injerto de hueso esponjoso puede no ser tan beneficioso como para el cirujano carpintero, quien necesita más ayuda biológica tras finalizar su trabajo. Un autoinjerto de



hueso esponjoso acelerará la cicatrización en lugares comprometidos, donde la reconstrucción incompleta puede arriesgar la estabilidad de la reparación y la consolidación final de la fractura.

Gracias a los avances en nuestros conocimientos de la biología de la cicatrización ósea y del uso de nuevos implantes, la utilización de aloinjertos de cortical ósea en la resolución de fracturas ha decrecido enormemente. Hasta no hace muchos años, la eliminación de todos los fragmentos y su sustitución por un injerto de cortical fijado con una placa de osteosíntesis era una opción bien considerada. Un aloinjerto de cortical es, básicamente, un segmento de hueso obtenido de forma estéril de un donante, limpio de toda traza de tejido blando y generalmente congelado en un banco de huesos. Por lo tanto, este injerto de grandes proporciones es tejido muerto y necesita ser reabsorbido y revascularizado para su integración total en la fractura. Complicaciones como la pérdida de resistencia mecánica del hueso a medida que progresa su resorción o incluso su fractura, la frecuente infección del injerto, su falta de incorporación total y la necesidad de un banco de huesos

han reducido la popularidad de esta técnica (27, 28). El uso experimental de injertos corticales autógenos vascularizados ha sido descrito en el perro (29), aunque su uso en situaciones clínicas no ha sido demostrado todavía.

CONCLUSIÓN.

Existen numerosas técnicas de reparación para una fractura conminuta de fémur en nuestros pacientes. La decisión de qué método utilizar es, a menudo, incluso para el cirujano experimentado, difícil y está influenciada en gran manera por factores como su experiencia, su preferencia personal, la disponibilidad de ciertos implantes y razones de costo. Las dos filosofías descritas en este artículo son igualmente efectivas en la resolución del problema, pero representan distintas escuelas en la concepción de la reparación de fracturas. Es el cirujano quien tiene la opción de, frente a una determinada fractura, abordar el problema con una mentalidad de carpintero, de jardinero o adoptar una posición intermedia.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aron DN, Johnson A y Palmer RH. Biological strategies and a balanced concept for repair of highly comminuted long bone fractures. *Compendium* 1995; 17: 35-49.
- Johnson AL, Smith CW y Schaeffer DJ. Fragment reconstruction and bone plate fixation versus bridging plate fixation for treating highly comminuted femoral fractures in dogs: 35 cases (1987-1997). *JAVMA* 1998; 8: 1.157-1.161.
- Johnson JA, Austin C y Breur GJ. Incidence of canine appendicular musculoskeletal disorders in 16 veterinary teaching hospitals from 1980 through 1989. *VCOT* 1994; 7: 56-69.
- Braden TD, Eicjer SW, Abdinoor D et al. Characteristics of 1,000 femur fractures in the dog and cat. *VCOT* 1995; 8: 203-209.
- Langley-Hobbs SJ, Carmichael S, McCartney W. Use of external fixators in the repair of femoral fractures in cats. *JSAP* 1996; 37: 95-101.
- Dallman MJ, Martin RA, Self BP y Grant JW. Rotational strength of various pinning techniques in repair of transverse fractures of canine femurs. Abstract of ACVS 24th Annual Meeting, in *Vet Surg* 1989; 18: 78.
- Roe S. C. Mechanical characteristics and comparisons of cerclage wires: introduction of the double-wrap and loop-twist tying methods. *Vet Surg* 1997; 26: 310-316.
- McPherron MA, Schwarz PD y Hestand MB. Mechanical evaluation of half-pin (type I) external skeletal fixation in combination with a single intramedullary pin. *Vet Surg* 1992; 21: 178-182.
- Aron DN, Foutz TL, Keller WG, Brown J. Experimental and clinical experience with an IM pin external fixator tie-in configuration. *VCOT* 1991; 4: 86-94.
- Martí JM, Miller A. Delimitation of safe, hazardous and unsafe corridors for insertion of external skeletal fixator pins. 1: The hindlimb. *JSAP* 1994; 35: 16-23.
- Klaue SE, Schwarz PD, Egger EL y Piermattei DL. A modification of the unilateral Type I external skeletal fixator configuration for primary or secondary support of supracondylar humeral and femoral fractures. *VCOT* 1990; 3: 130-134.
- Dewey CW, Aron DN, Foutz TL, Marks MA y Budsberg SC. Static strength evaluation of two modified unilateral external skeletal fixators. *JSAP* 1994; 35: 211-216.
- Guerin SR, Lewis DD, Lanz OI y Stalling JT. Comminuted supracondylar humeral fractures repaired with a modified type I external skeletal fixator construct. *JSAP* 1998; 39: 525-532.
- Kraus KH, Wotton HW y Rand WM. Mechanical comparison of two external fixator clamp designs. *Vet Surg* 1998; 27: 224-230.
- Martí JM. Aspectos biológicos y mecánicos de la interfase clavo-hueso en fijación externa. ¿Por qué se sueltan mis clavos de fijador?. *AVEPA* 1998; 18: 45-52.
- Clary EM, Roe SC. Enhancing external skeletal pin performance: Consideration of the pin-bone interface. *VCOT* 1995; 8: 1-8.
- Durall I, Diaz MC y Morales I. Interlocking nail stabilization of humeral fractures. Initial experience in seven clinical cases. *VCOT* 1994; 7: 3-8.
- Dueland RT, Berglund L, Vanderby R y Chao EYS. Structural Properties of interlocking nails, canine femora, and femur-interlocking nail constructs. *Vet Surg* 1996; 25: 386-396.
- Dueland RT, Johnson KA, Roe SC, Engen MH y Lesser AS. Interlocking nail treatment of diaphyseal long-bone fractures in dogs. *JAVMA* 1999; 214: 59-66.
- Hipp JA, Cheal EJ y Hayes WC. Biomechanics of fractures. Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG (Eds). *En: Skeletal trauma*. Saunders. Philadelphia 1992: 95-125.
- Dueland RT, Vanderby R y McCabe RP. Fatigue study of six and eight mm diameter interlocking nails with screw holes of variable size and number. *VCOT* 1997; 10: 194-199.
- Frey AJ, Olds R. A new technique for repair of comminuted diaphyseal fractures. *Vet Surg* 1981; 10: 51-57.
- Perren SM, Klaue K y Pohler O. The limited contact dynamic compression plate (LC-DCP). *Arch Orthop Trauma Surg* 1990; 109: 304-310.
- Lewis DD, Van Ee RT, Oakes MG, Elkins AD. Use of reconstruction plates for stabilization of fractures and osteotomies involving the supracondylar region of the femur. *JAAHA* 1993; 29: 171-178.
- Hulse D, Hyman W, Nori M y Slater M. Reduction in plate strain by addition of an intramedullary pin. *Vet Surg* 1997; 26: 451-459.
- Stevenson S. Bone grafting. *En: Slatter D (Ed): Textbook of small animal surgery*, 2nd ed. Saunders. Philadelphia, 1993: 1694-1703.
- Phillips L, Parker RB y Bloomberg MS. Cortical bone allograft. *Compendium* 1988; 10: 1167-1175.
- Sinibaldi KR. Evaluation of full cortical allografts in 25 dogs. *JAVMA* 1989; 194: 1570-1577.
- Szentimery D, Fowler D, Johnston G, Wilkinson A. Transplantation of the canine distal ulna as a free vascularised bone graft. *Vet Surg* 1995; 24: 215-225.

