

Fig. V.34 Microangiografía nº 5A (60d.). Osteotomía ya consolidada y resuelta. La antigua línea de osteotomía se distingue por la presencia de la red vascular central. (X4).



Fig. V.35. Microangiografía nº 5A (60d.). Antiguo foco de osteotomía dispuesto horizontalmente. (X11).



Fig. V.36. Microangiografía n° 6A (60d.). Foco de fractura. Mala alineación de las corticales y callo perióstico abundantemente vascularizado. (X4).



Fig. V.37. Microangiografía n° 6A (60d.). Aspecto a mayor aumento de la vascularización del callo perióstico con zona avascular fibrocartilaginosa. (X22).



Fig. V.38 Microangiografía n° 5F (60d.). Foco de osteotomía con callo perióstico. (X11).



Fig. V.39 Microangiografía n° 6F (60d.). Corticales parcialmente decalcificadas en el foco de osteotomía. Red vascular medular. (X11).

V.5. RESULTADOS MICRORRADIOGRAFICOS, DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION E HISTOLOGICOS.

A pesar de obtenerse por procedimientos muy distintos, la similitud morfológica entre las imágenes microrradiográficas y las de microscopía electrónica de retrodispersión justifican la descripción conjunta de los resultados obtenidos en ambas técnicas. Asimismo, si bien es posible evaluar las placas microrradiográficas mediante microscopía óptica, la capacidad de aumento del estudio microelectrónico y la posibilidad directa de efectuar pruebas adicionales (microanálisis, etc.) proporcionan unos resultados de mayores posibilidades en comparación con la simple observación óptica de las microrradiografías. Por el contrario, la obtención de imágenes panorámicas de las muestras no era posible mediante microscopía electrónica debido al propio diseño del microscopio y al excesivo tamaño de las muestras, en cambio, sí que podían obtenerse tales imágenes a partir de las microrradiografías, por lo que ambos estudios se complementan perfectamente. Asimismo, las características propias del estudio histológico permitían una apreciación cualitativa de determinadas áreas y de conjunto y el establecimiento de correlaciones con las observaciones ultraestructurales realizadas a lo largo de nuestro estudio.

5.1. Descripción morfológica en osteotomías de 7 días de evolución

Transcurrida una semana tras la realización de la osteotomía, la mayor parte de las imágenes microrradiográficas de ambos grupos no reflejaban actividad reparadora destacable, mostrando un aspecto difícil de diferenciar de un hueso normal si no tenemos presente la evidente línea de osteotomía y un incremento en la cantidad de los espacios vasculares presentes alrededor de la zona osteotomizada e identificables por presentar en su interior contraste de bario. Así pues, ni en la superficie endóstica ni en la perióstica de las corticales ni tampoco en los márgenes osteotomizados existían evidencias generalizadas de actividad osteoclástica, y por consiguiente, de la formación de callo de fractura.

Sin embargo, ya en algunas preparaciones del grupo de angulación (7A⁵, 21A), las imágenes de m.e.r. reflejaban algunos detalles importantes. En estos casos, en el borde endóstico contiguo a la osteotomía de una de las corticales se apreciaban signos incipientes de actividad reparadora protagonizados por la presencia de lagunas de Howship (manifestación evidente de respuesta osteoclástica activa) que avanzaban en sentido centrífugo hacia el borde perióstico del "gap", el cual presentaba en las zonas todavía no atacadas, unos márgenes lisos y una separación interfragmentaria máxima de aproximadamente 500 μ . Inmediatamente a continuación del ataque osteoclástico, se localizaron focos de neoformación

5

Denominación idéntica a la utilizada anteriormente para identificar las imágenes gammagráficas aunque en esta ocasión referidas a las preparaciones óseas. Por lo tanto, en este caso correspondería a las preparaciones óseas del animal n° 7, extremidad intervenida con el fijador tipo angulación.

ósea a base de tejido condroide⁶ (Fig. V.40).

Asimismo, no se observa todavía ninguna evidencia de calcificación del callo endóstico, aunque los restos de hueso presentes en el interior de la cavidad medular (por su morfología, esquirlas dejadas por la osteotomía), están siendo objeto de un intenso ataque osteoclástico que finalizará con su total destrucción.

En las preparaciones del grupo de flexión evaluadas mediante m.e.r. no se manifiestan signos evidentes de reparación. En una preparación se aprecia un débil frente osteoclástico protagonizado por escasas lagunas de Howship situado en una cortical, mientras que tanto la otra cortical como los márgenes del "gap" (en este caso de unas 350μ) permanecen completamente lisos sin evidencia alguna de inicio en el proceso de reparación en ninguno de los extremos (perióstico o endóstico). En ninguna preparación del grupo de flexión se observó formación de callo endóstico (ni por supuesto perióstico) ni tan siquiera una eliminación osteoclástica de los restos óseos necróticos producidos durante la osteotomía.

Por otra parte, la observación de la interfase aguja-hueso mediante m.e.r. se llevó a cabo puntualmente en este c.p.o. debido a que la prioridad del estudio de la cicatrización fracturaria dificultaba técnicamente la obtención de cortes a nivel de la porción media del hueso cortical y a la altura de una aguja transfixiante próxima al foco de osteotomía. La observación mediante m.e.r. en el c.p.o. de 7 días permite detectar fenómenos que tienen lugar prematuramente en el hueso que rodea a las agujas transfixiantes y que no empiezan a evidenciarse radiológicamente hasta posteriores controles postoperatorios. La elección de la interfase aguja-hueso nº 2 se justifica por ser ésta la más afectada radiológicamente de las agujas centrales (nº 2 y 3). Los detalles más importantes observados en las tres preparaciones por grupo (angulación y flexión) observadas, muestran claramente signos de estrés en el hueso que rodea a la aguja. Sin embargo, mientras que en el grupo de angulación tales signos se reducen a la presencia de algunas microfisuras con tendencia concéntrica en las zonas corticales más próxima y más alejada de la zona osteotomizada y con un contacto hueso-aguja perfecto a lo largo de los 360° del perímetro de la aguja (Fig. V.41), en el grupo de flexión, además de la presencia de microfisuras dirigidas radialmente, destacaba la presencia de un anillo óseo que rodeaba la aguja y sin contacto directo con ella cuya amplitud máxima (aproximadamente 100μ) se localizaba en la zona más próxima al foco de osteotomía (Fig. V.42). Dicho anillo óseo presentaba una tonalidad más oscura y tras la observación a mayor aumento, se pudo identificar como tejido óseo desvitalizado con pérdida de la estructuración ósea característica y desaparición de las lagunas osteocitarias (Fig. V.43).

6

Tal y como ya se ha descrito en el capítulo correspondiente de la revisión bibliográfica (pág. 119) el tejido condroide es un tejido recientemente descrito de características diferenciables tanto del tejido óseo como del cartilaginoso aunque derivados los tres de las mismas células progenitoras indiferenciadas (Goret-Nicaise et al., 1988; Manzanares, 1988; Dhem et al., 1989).

5.2. Descripción morfológica en osteotomías de 15 días de evolución

Las imágenes microrradiográficas de ambos grupos denotan la activación de los procesos de cicatrización fracturaria, destacando especialmente la presencia de un callo endóstico inmaduro pero calcificado más evolucionado en las imágenes del grupo de angulación. Únicamente en las preparaciones del animal nº 22 se aprecia un enlentecimiento del proceso aunque cabe destacar que tal retraso se observa tanto en la preparación de angulación como en la de flexión.

Las imágenes de m.e.r. permiten describir con mayor precisión los fenómenos de cicatrización presentes en el presente periodo de supervivencia. En el grupo de angulación se observa una reacción perióstica generalizada, especialmente en las preparaciones 15A y 16A localizada en el borde perióstico de ambas corticales. Esta reacción perióstica está constituida por abundantes, pero dispersas, trabéculas de tejido condroide, prácticamente sin participación de ningún otro tipo de tejido calcificado, salvo una delgada lámina de hueso fibrorreticular ("woven bone") situada en íntimo contacto con el hueso laminar preexistente de la cortical y que presumiblemente se extiende por la superficie previamente atacada por la actividad osteoclástica observada en las preparaciones de una semana (Fig. V.44).

Destaca asimismo, la gran cantidad de canales vasculares, evidenciables por la presencia de material de contraste en su interior, ocupando una amplia franja alrededor de la zona osteotomizada. La citada densidad vascular, claramente mayor a la observada en las preparaciones de 7 días así como en preparaciones de huesos también inyectados pero no intervenidos quirúrgicamente, proporciona un aspecto más poroso y menos compacto a las zonas corticales próximas a la osteotomía (Fig. V.45).

De forma parecida a lo registrado a la semana de intervención, la porción central de la cortical a nivel del espacio interfragmentario es la última en ser atacada por la actividad osteoclástica la cual se inicia bien desde el extremo endóstico de la cortical (16A) o bien desde el extremo perióstico (15A) (Fig. V.45).

En lo referente a la cavidad medular, se puede constatar que el callo endóstico observado microrradiográficamente en la mayoría de preparaciones es de carácter todavía inmaduro debido a la disposición dispersa de la trabeculación y está formado básicamente por tejido condroide (Fig. V.72). En alguna preparación (15A) pudo observarse un estadio más avanzado en el proceso de cicatrización reflejado por la presencia de tejido óseo lamelar de neoformación (Fig. V.46).

En el grupo de flexión, las características observadas en las preparaciones son bastante parecidas a las observadas en las correspondientes al grupo de angulación aunque las

manifestaciones propias de la reparación fracturaria (actividad osteoclástica, formación de callo perióstico y endóstico) parecen experimentar un cierto retraso no sólo en lo referente al grado de madurez sino también a la intensidad de la respuesta reparadora (Fig. V.73).

Las citadas diferencias se traducen en la presencia esporádica de lagunas de Howship en la superficie perióstica y endóstica de ambas corticales y en una reacción perióstica (Fig. V.47) muy limitada que contrasta con la presencia de un callo endóstico más evolucionado (Figs. V.48, V.75) en comparación con el perióstico (Fig. V.74). Los márgenes osteotomizados no están siendo atacados (16F y 22F) y en una única preparación se observa el inicio de actividad osteoclástica todavía incipiente originándose en el extremo endóstico de una de las corticales (15F) (Fig. V.49). Esta misma preparación presenta, además del callo endóstico más evolucionado del grupo de flexión, una distribución curiosa de la reacción perióstica en una de las corticales. Concretamente, mientras la cortical de un lado de la osteotomía presenta un moderado callo perióstico constituido por tejido condroide y asentado sobre una superficie perióstica previamente atacada por un frente osteoclástico, la cortical situada al otro lado de la línea de osteotomía presenta una reacción perióstica algo más activa pero alejada más de 3 mm de la zona osteotomizada. La superficie perióstica de la cortical situada entre la línea de osteotomía y el callo perióstico antes descrito presenta un aspecto liso y, por tanto, sin actividad osteoclástica mientras que la porción cortical situada inmediatamente por debajo presenta una muy limitada presencia de espacios vasculares. Por último, en el área que conecta las dos reacciones periósticas se observan trazas de estructuras vasculares (restos bien definidos de contraste) posiblemente distribuidas por un tejido no calcificado imposible de identificar mediante m.e.r. (Fig. V.50) En este caso, la valoración histológica resulta de gran ayuda para poder identificar correctamente el citado tejido, tratándose de tejido fibroso indiferenciado ya que no adopta la metacromasia característica del cartílago en la tinción con azul de toluidina (Fig. V.7).

5.3. Descripción morfológica en osteotomías de 30 días de evolución

El estudio microrradiográfico de las preparaciones muestra la presencia evidente de sendos callos perióstico y endóstico, de diferente grado de madurez dependiendo de los individuos y de los grupos.

Las características generales observadas microrradiográficamente pueden concretarse a partir de las imágenes de m.e.r. En este sentido, el aspecto del callo perióstico en las preparaciones del grupo de angulación refleja un mayor grado de madurez evidenciado por la presencia de trabéculas densas de tejido condroide, con abundante aposición de hueso fibrorreticular e incluso alguna participación, muy inicial, de hueso lamelar neoformado. También el callo endóstico presenta una trabeculación de tejido condroide y fibrorreticular

de mayor densidad y con mayor aposición de tejido lamelar en las preparaciones del grupo de angulación en comparación con las del grupo de flexión.

En la totalidad de las preparaciones se evidencia, aunque con distinta evolución, que los márgenes osteotomizados son atacados por el frente osteoclástico desde los extremos periósticos y endósticos de las corticales hacia su porción central y no se inicia la cicatrización ósea entre las corticales osteotomizadas hasta que una amplia franja (en ocasiones hasta de 2 mm) ha sido convenientemente atacada por la actividad osteoclástica preparando el terreno para la aposición de tejido óseo neoformado (Figs. V.51, V.83).

Además de las características generales descritas anteriormente, las preparaciones del animal n° 8 presentan unas particularidades dignas de destacar. En primer lugar, ambas osteotomías presentan un desplazamiento interfragmentario medio de grado 0,5 (según nuestro patrón de valoración, pág. 178) lo que puede explicar la presencia de una zona de tejido cartilaginoso en proceso de calcificación tanto en la preparación 8A como en la 8F aunque en sólo una de las regiones periósticas. Sin embargo, la superficie que ocupa el tejido cartilaginoso en la preparación del grupo de flexión (Fig. V.53) es mucho mayor a la del grupo de angulación (Fig. V.52), en el que además se observa un mayor grado de calcificación del tejido cartilaginoso y un mayor ataque osteoclástico de la zona intercortical (Figs. V.51; V.52; V.84; V.85). A pesar de que en las imágenes de m.e.r. no queda reflejado el tejido cartilaginoso no calcificado (registrándose una imagen de "vacío" sin trazas vasculares) (Fig. V.53) su identificación es posible gracias al aspecto que presenta el cartílago en sus porciones periféricas donde empieza a calcificarse con un patrón diferenciable de cualquier otro tipo de tejido calcificado (Figs. V.54 y V.55). Asimismo, la valoración histológica de las preparaciones permite confirmar definitivamente la presencia y extensión del tejido cartilaginoso no calcificado (Fig. V.82).

Siguiendo con la preparación 8F cabe destacar que en una de las corticales, el callo perióstico formado por tejido condroide sin aposición de tejido óseo, está ligeramente separado de la superficie perióstica de la cortical, encontrándose ésta sometida a una notable actividad osteoclástica.

5.4. Descripción morfológica en osteotomías de 60 días de evolución

Microrradiográficamente se observa la presencia de callos perióstico y endóstico completos en la mayoría de las piezas. Sin embargo, en algunas de ellas (6A, 6F, 20F) y a pesar de presentar un callo perióstico de dimensiones considerables, pueden evidenciarse zonas de tejidos sin calcificar (Fig. V.60).

La imagen de m.e.r. de la mayoría de las piezas del grupo de angulación presenta

un aspecto de mayor madurez que se evidencia en una mayor densidad trabecular (Fig. V.56; V.76) así como en la mayor cantidad relativa de tejidos maduros neoformados (esencialmente hueso lamelar, dispuesto sobre focos de tejido condroide) presentes en las trabéculas (Fig. V.57). Por otra parte, la presencia de contraste entre las trabéculas indica la existencia de una vascularización todavía notable y posterior a la osteotomía. Asimismo, puede evidenciarse la evolución centrípeta de la reparación fracturaria, de forma que los tejidos periféricos del callo de fractura presentan una mayor madurez (mayor tasa de calcificación, mayor presencia de hueso lamelar, mayor remodelación osteoclástica, etc.) mientras que en la zona más central de la cortical puede existir todavía una clara separación entre ambos márgenes, que permanecen inalterados independientemente de la amplitud del gap existente.

Como datos individuales más relevantes destacaríamos los registrados en las preparaciones 5A, 5F, 6A y 6F. La preparación nº 5A manifiesta una consolidación intercortical ya completa con la interposición de tejido fibrorreticular (Fig. V.78; V.79; V.80 y V.81). Asimismo, los callos perióstico y endóstico presentan avanzados signos de regresión (Fig. V.77). En la preparación 5F, además de la menor densidad de trabeculación (Fig. V.58) ya reflejada anteriormente en la descripción general de las preparaciones del grupo de flexión, se observa un claro predominio de trabéculas osteocartilaginosas (y no de tejido condroide como en la 5A) lo que generará un cierto retraso en el proceso de cicatrización. Dicho retraso se confirma por la existencia de un acúmulo de cartílago, en vías de calcificación, inmediatamente en contacto con uno de los márgenes osteotomizados (Fig. V.59). Por otra parte, la cortical ósea preexistente muestra una porosidad vascular limitada, acompañada de una presencia de medio de contraste comparativamente menor.

El callo perióstico de la preparación 6A también está constituido por trabéculas osteocartilaginosas dispersas, con la interposición de una amplia masa no calcificada (de unos 4 mm) (Fig. V.60) centrada a nivel de la zona osteotomizada y rodeada de un borde de cartílago en proceso de calcificación (Fig. V.61). En aquellas zonas donde el proceso de calcificación del cartílago está notablemente avanzado, pueden observarse aisladamente pequeños focos de tejido condroide con aposición de tejido lamelar (Fig. V.62). El callo endóstico está representado también por una franja de cartílago calcificado que sigue prácticamente la línea de osteotomía, ocupando la totalidad de la amplitud de la cavidad medular (Fig. V.63). En las zonas más próximas a una de las corticales, se puede observar ya aposición de tejido óseo sobre el cartílago calcificado constituyendo un puente intercortical completo de trabéculas osteocartilaginosas, mientras que en la otra cortical, aparecen trabéculas de tejido condroide sobre el que se evidencia la aposición de hueso lamelar (Fig. V.64).

Por el contrario, la preparación 6F presentaba una mayor madurez del callo de fractura, reflejada en la presencia de una trabeculación amplia y densa formada por núcleos

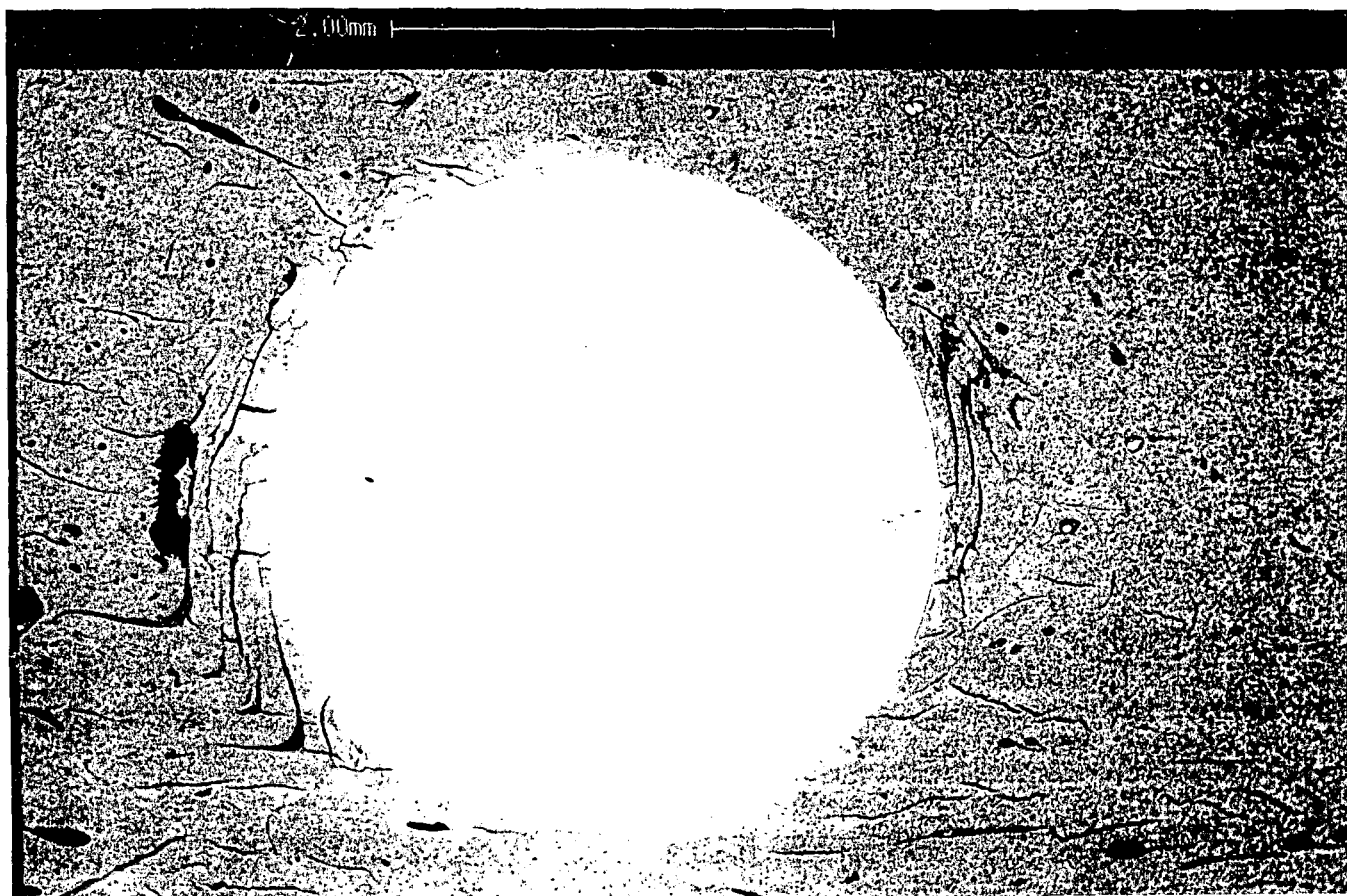
de tejido condroide unidos por amplias masas de hueso fibrorreticular, e incluso alguna traza de aposición lamelar (Figs. V.65 y V.66). En esta preparación puede evidenciarse las características propias de la cicatrización con separación ("gap healing"), nucleada por el tejido condroide en el que podemos distinguir el inicio de la remodelación haversiana protagonizada por la presencia del primer "cutting cone" claramente diferenciado en nuestro estudio (Fig. V.69). Curiosamente, en la otra región intercortical (Fig. V.68) y a pesar de presentar un "gap" mínimo (85μ) no existe tejido calcificado entre los dos márgenes fracturarios, siendo el único signo de reparación la presencia de un discreto avance osteoclástico desde las superficies endóstica y perióstica hacia la porción centrocortical (Fig. V.67). La región cortical adyacente al espacio interfragmentario muestra muy poca porosidad vascular. Es importante destacar que en las osteotomías de ambas preparaciones (6A y 6F) existe un desplazamiento interfragmentario de grado 1.

5.5. ANEXO. IMAGENES MICRORRADIOGRAFICAS, DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION E HISTOLOGICAS



Fig. V.40. Preparación de m.e.r. n° 7A (animal n° 7, grupo angulación) de 7 días de evolución. Corte ligeramente periférico donde se observan claramente las dos corticales separadas por la cavidad medular así como lagunas de Howship (flechas) y neoformación de tej. condroide (Tc).

Fig. V.41. Interfase aguja-cortical n° 2, preparación n° 7A (7d.). Optimo contacto aguja-hueso.



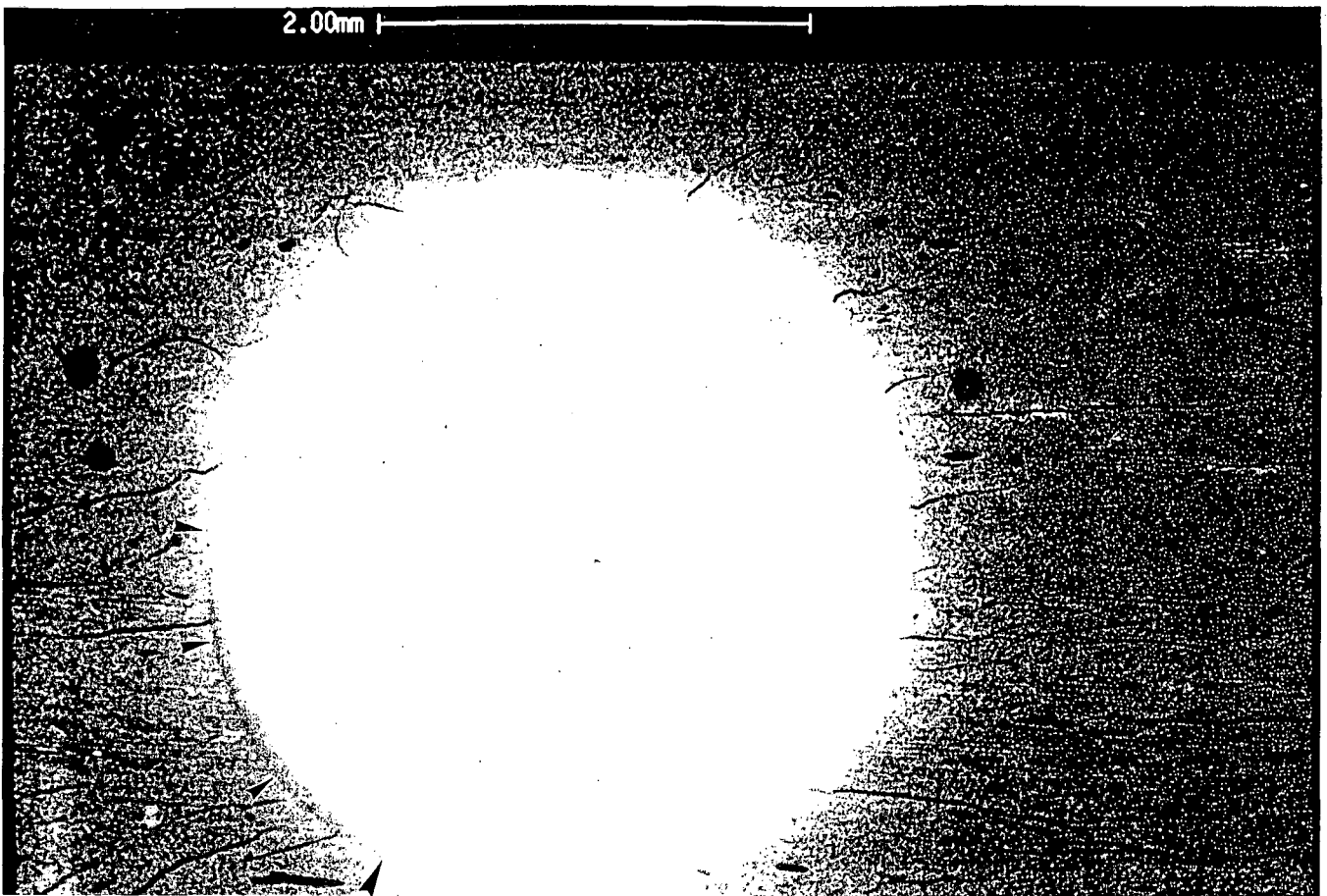
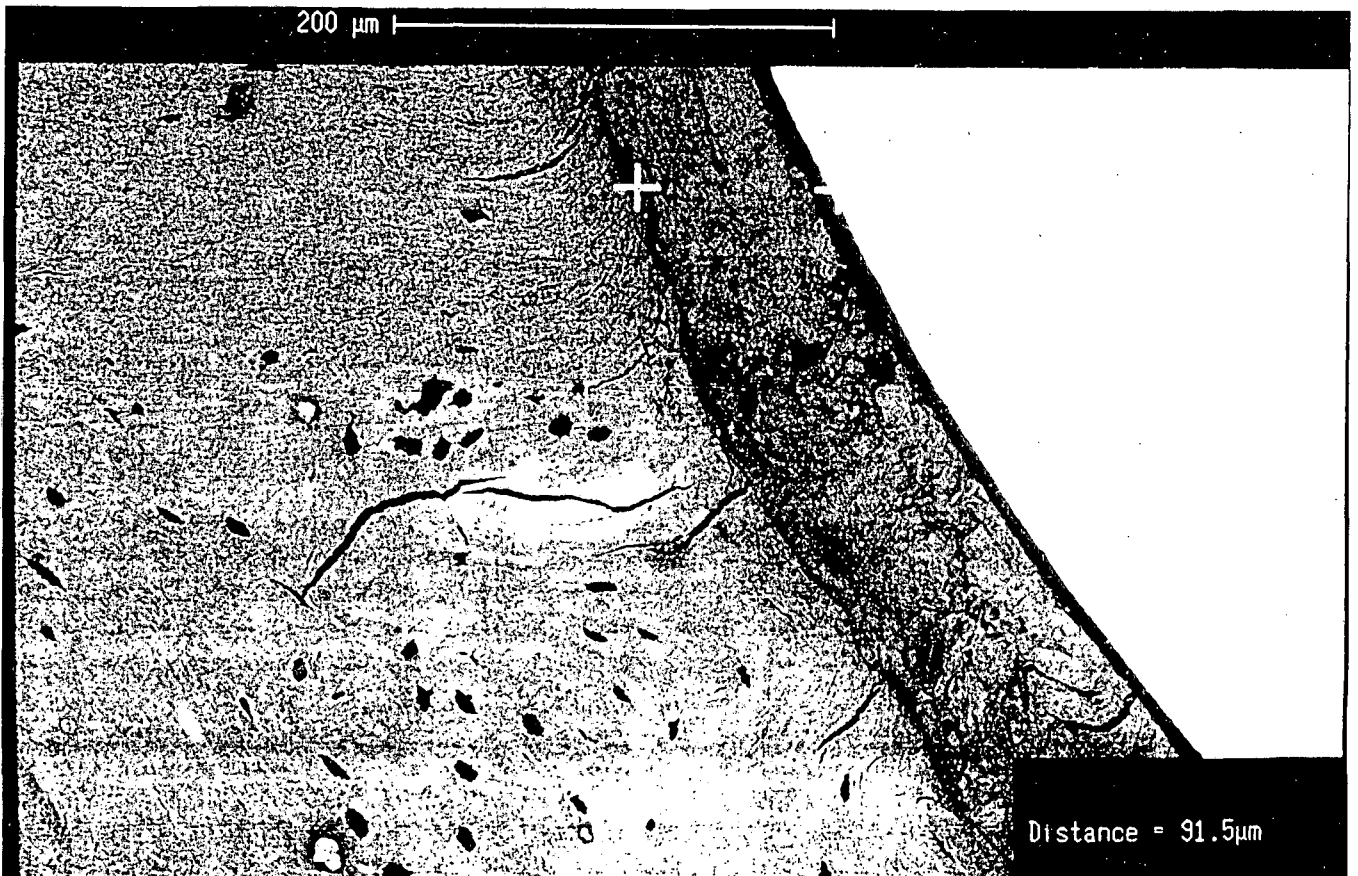


Fig. V.42. Interfase aguja-cortical n° 2, preparación n° 7F (animal 7, grupo flexión, 7días). Presencia de un halo más oscuro en la dirección de la compresión interfragmentaria (flechas).

Fig. V.43. Detalle de la anterior preparación en la que se observa la banda de tejido óseo con evidentes signos de desvitalización (cruces). Amplitud de la banda 91,5 μ .



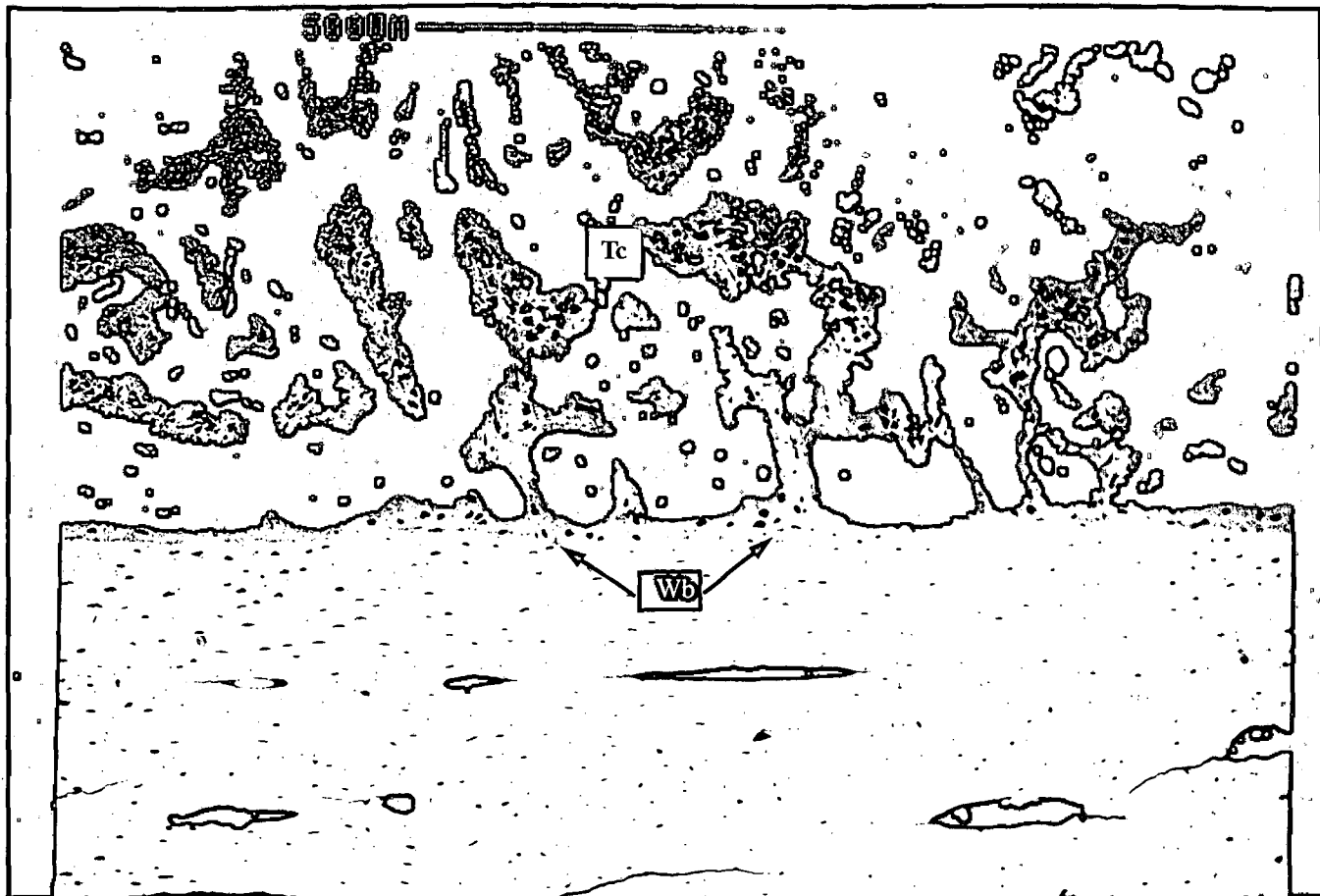


Fig. V.44. Preparación de m.e.r. n° 16A (15d.). Reacción perióstica de la cortical constituida por trabéculas laxas de tejido condroide (Tc), apoyadas sobre una delgada lámina de hueso fibrorreticular (Wb).

Fig. V.45. Preparación de m.e.r. n° 16A (15d.). Cortical completa en la que se observa mayor porosidad vascular activa (vasos baritados) y actividad osteoclástica (Lágunas de Howship) (flechas) en los bordes tanto endósticos como exósticos.

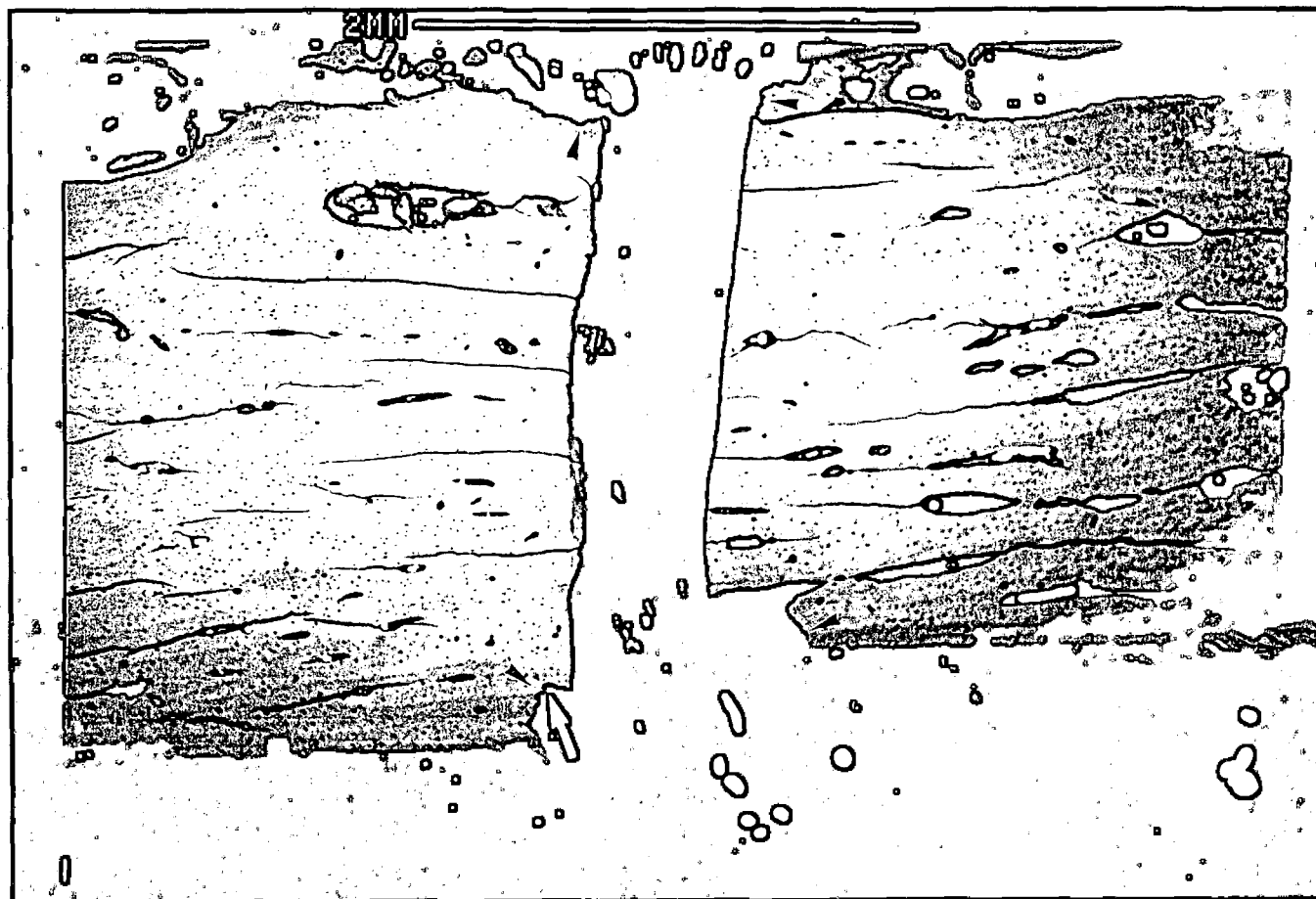
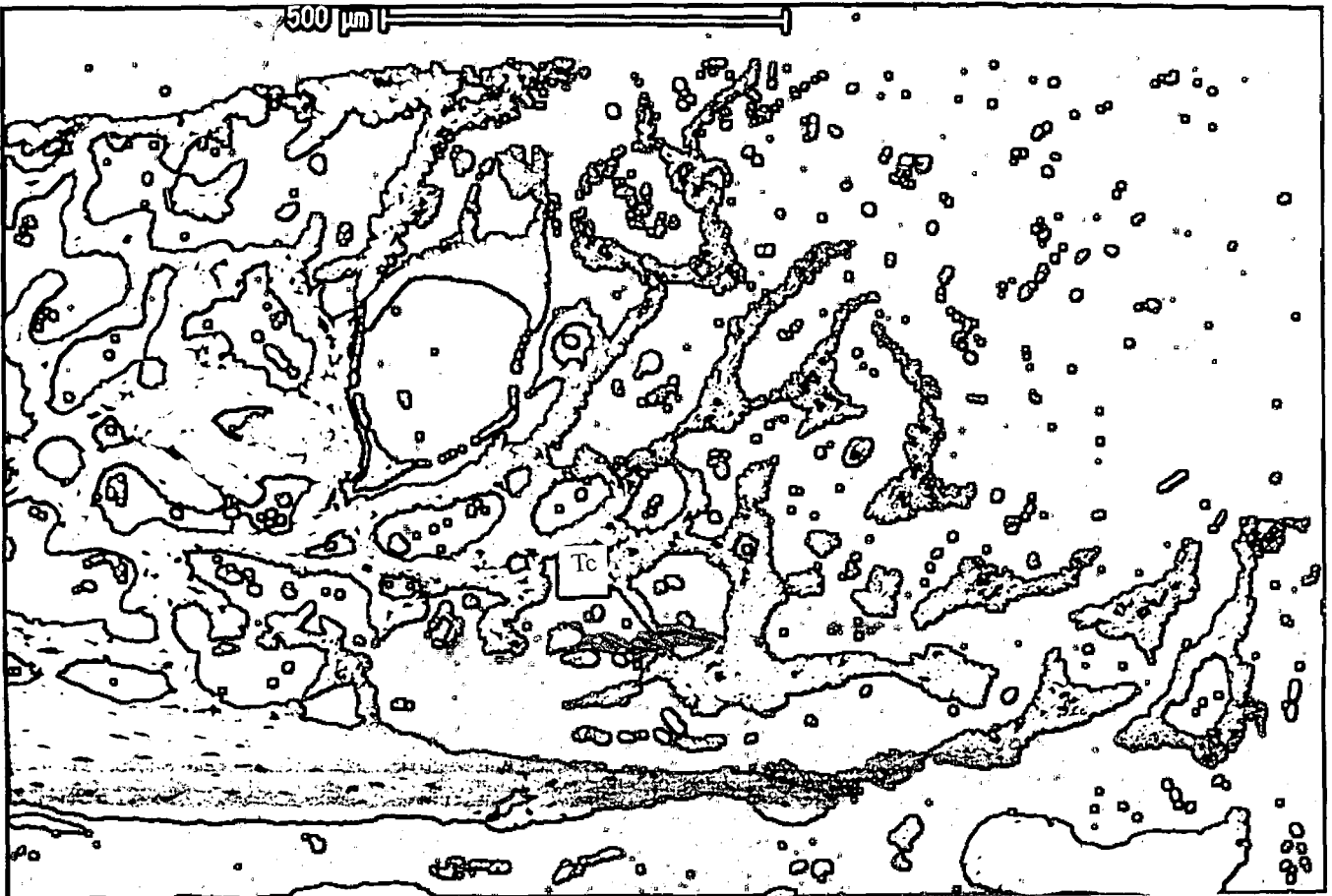




Fig. V.46. Preparación de m.e.r. n° 16A (15d.). Callo endóstico con neoformación de hueso lamelar.

Fig. V.47. Preparación de m.e.r. n° 16F (15d.). Reacción perióstica constituida por tejido condroide.



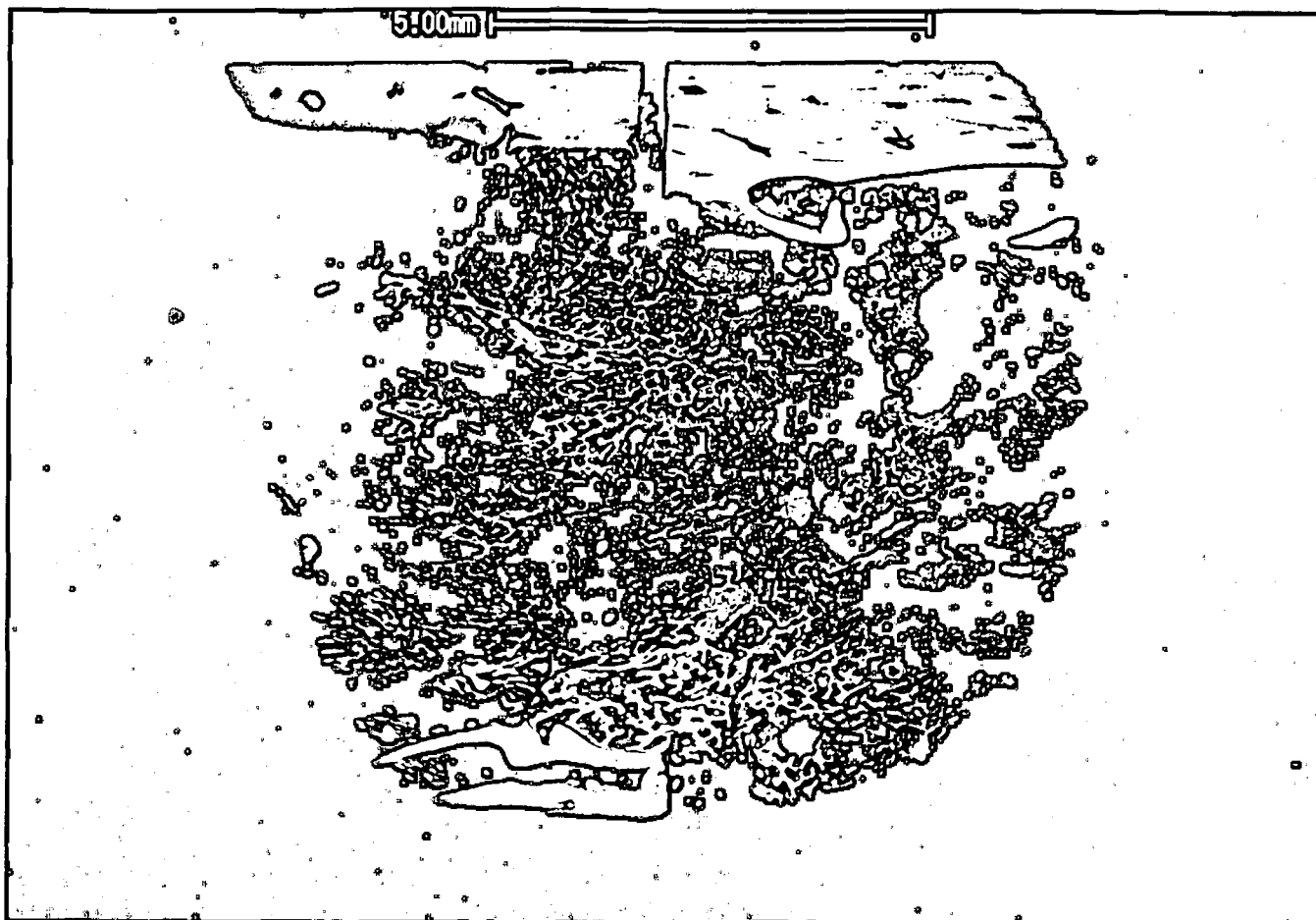


Fig. V.48. Preparación de m.e.r. n° 16F (15d.). Callo endóstico ocupando toda la cavidad medular.

Fig. V.49. Detalle de la anterior imagen (Fig.V.48) observándose el callo endóstico de tejido condroide con una reacción osteoclástica (flecha) centripeta (hacia la zona centrocortical).



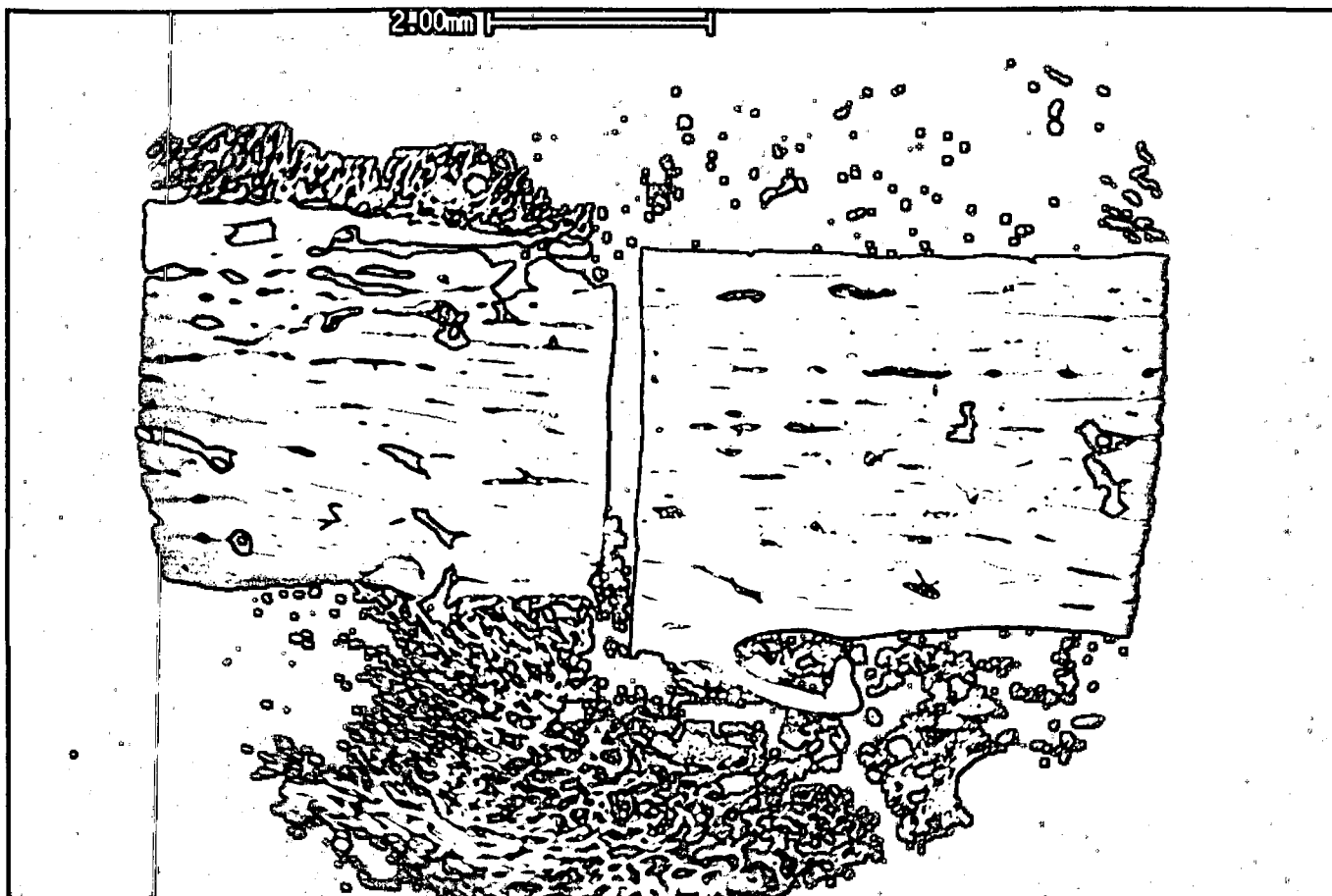
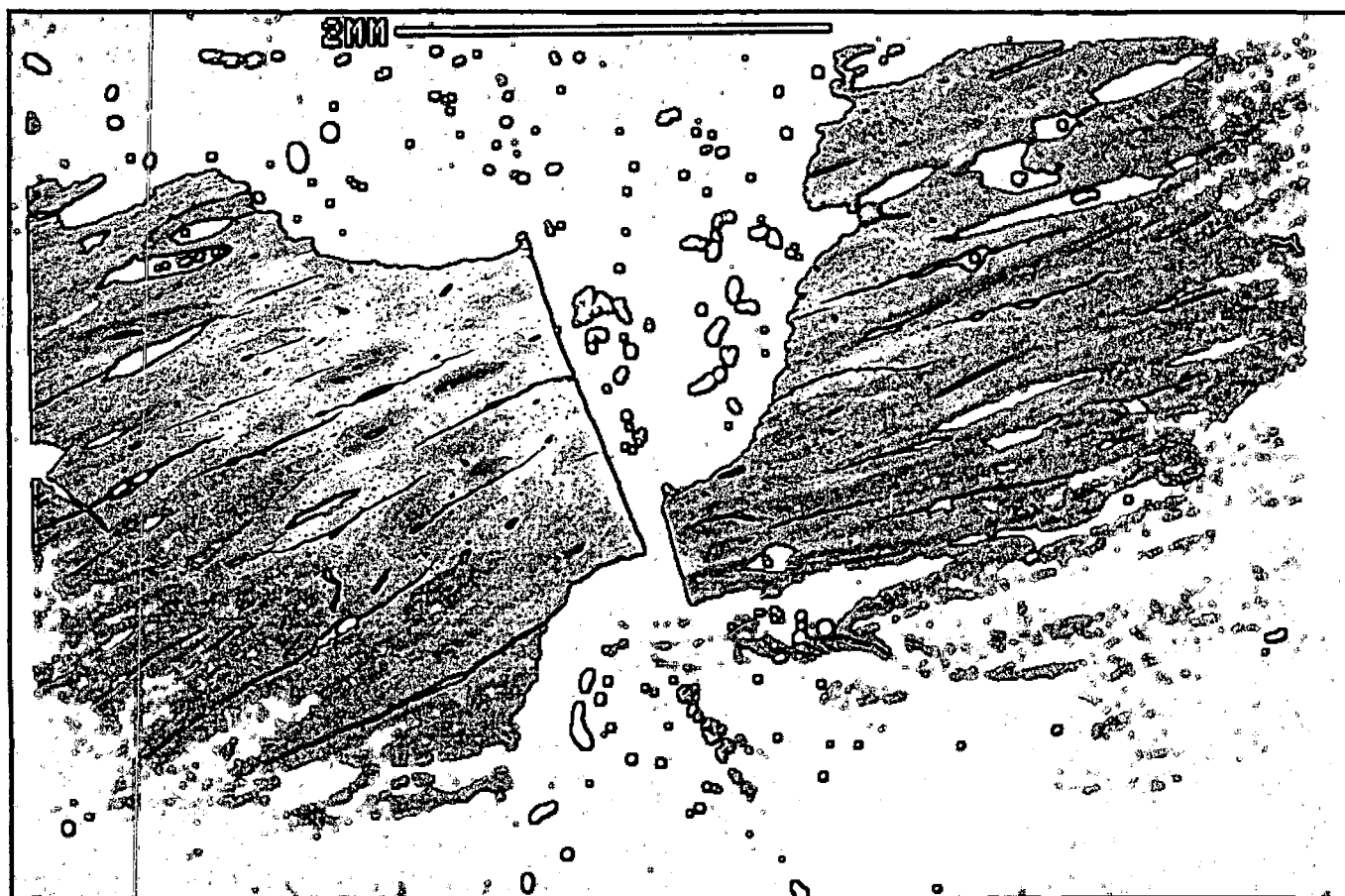


Fig. V.50. Preparación de m.e.r. n° 16F (15d.). Visión general de una cortical. Reacción perióstica unilateral y callo endóstico uniendo los dos márgenes osteotomizados.

Fig. V.51. Preparación de m.e.r. n° 8A (30d.). Región intercortical manifestando la presencia de un ataque osteoclástico en los márgenes osteotomizados desde los extremos perióstico y endóstico hacia la porción cortical media.



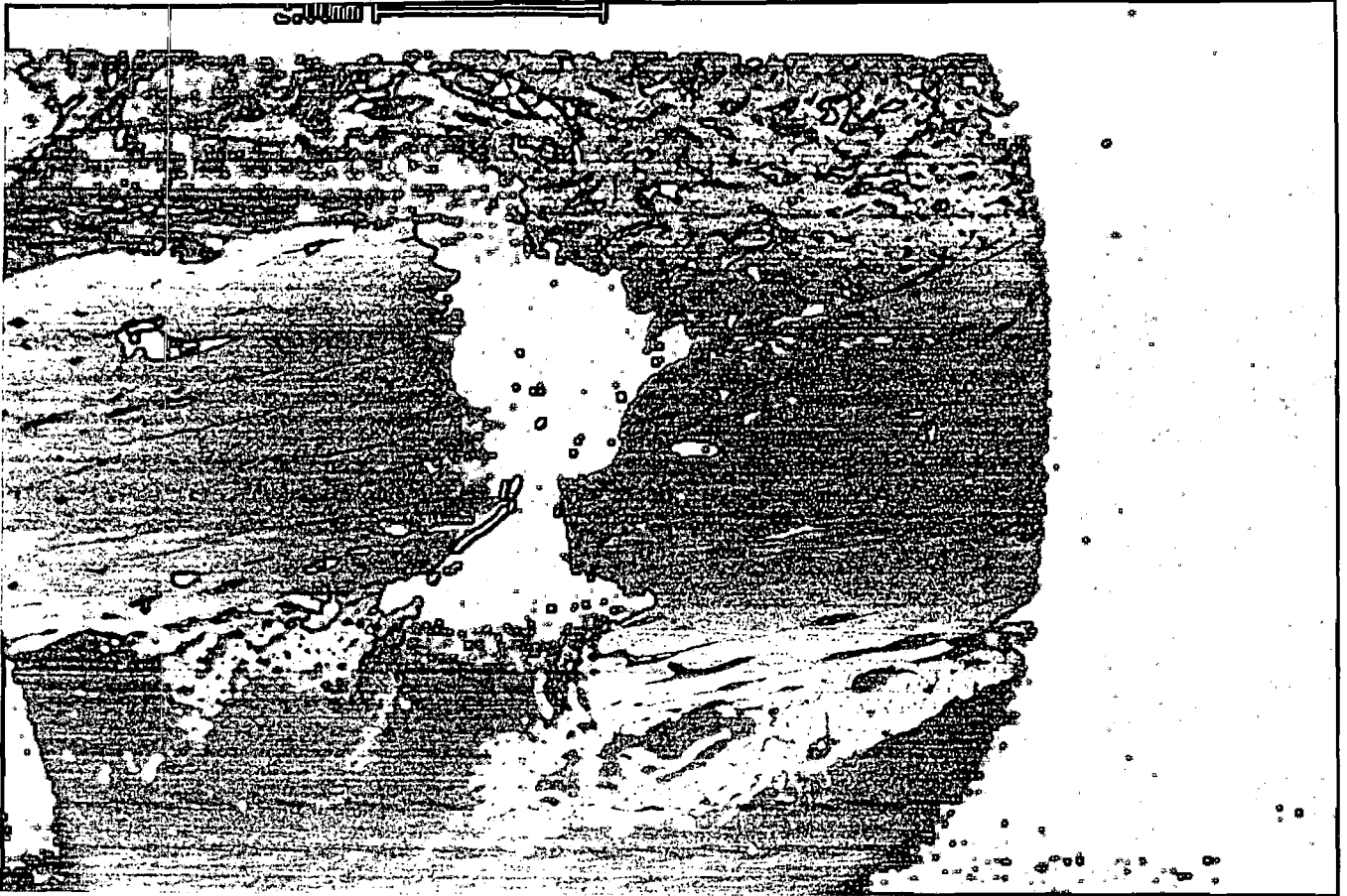


Fig. V.52. Preparación de m.e.r. n° 8A (30d.). Cortical contralateral. Presencia de un calo endóstico casi completo (arriba) y de un calo perióstico incompleto con interposición de una zona radiotransparente limitada por cartilago calcificado (abajo).

Fig. V.53. Preparación de m.e.r. n° 8F (30d.). Región intercortical y calo perióstico con una amplia masa radiotransparente limitada por cartilago calcificado. La flecha señala la Fig. V.55

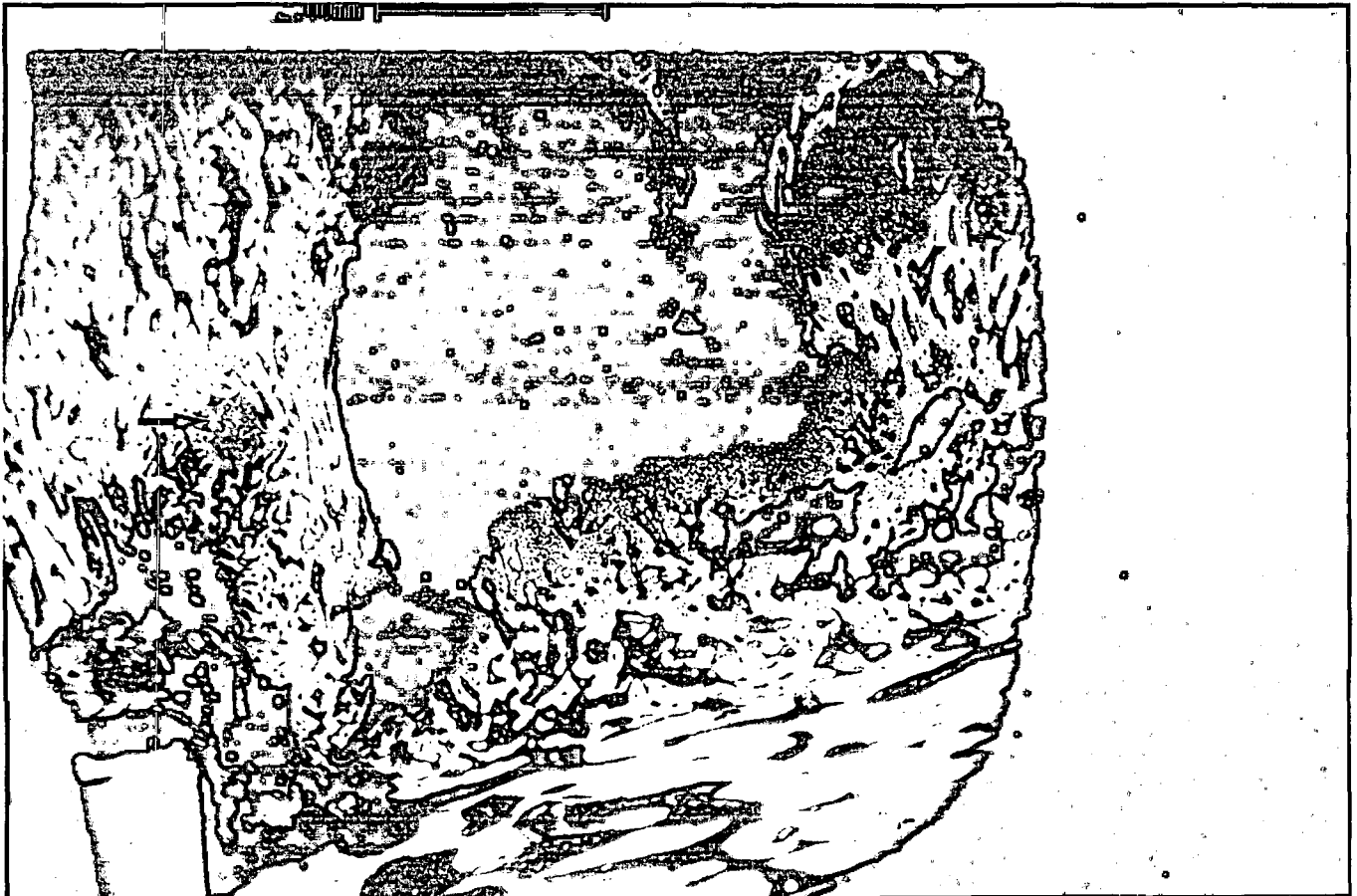
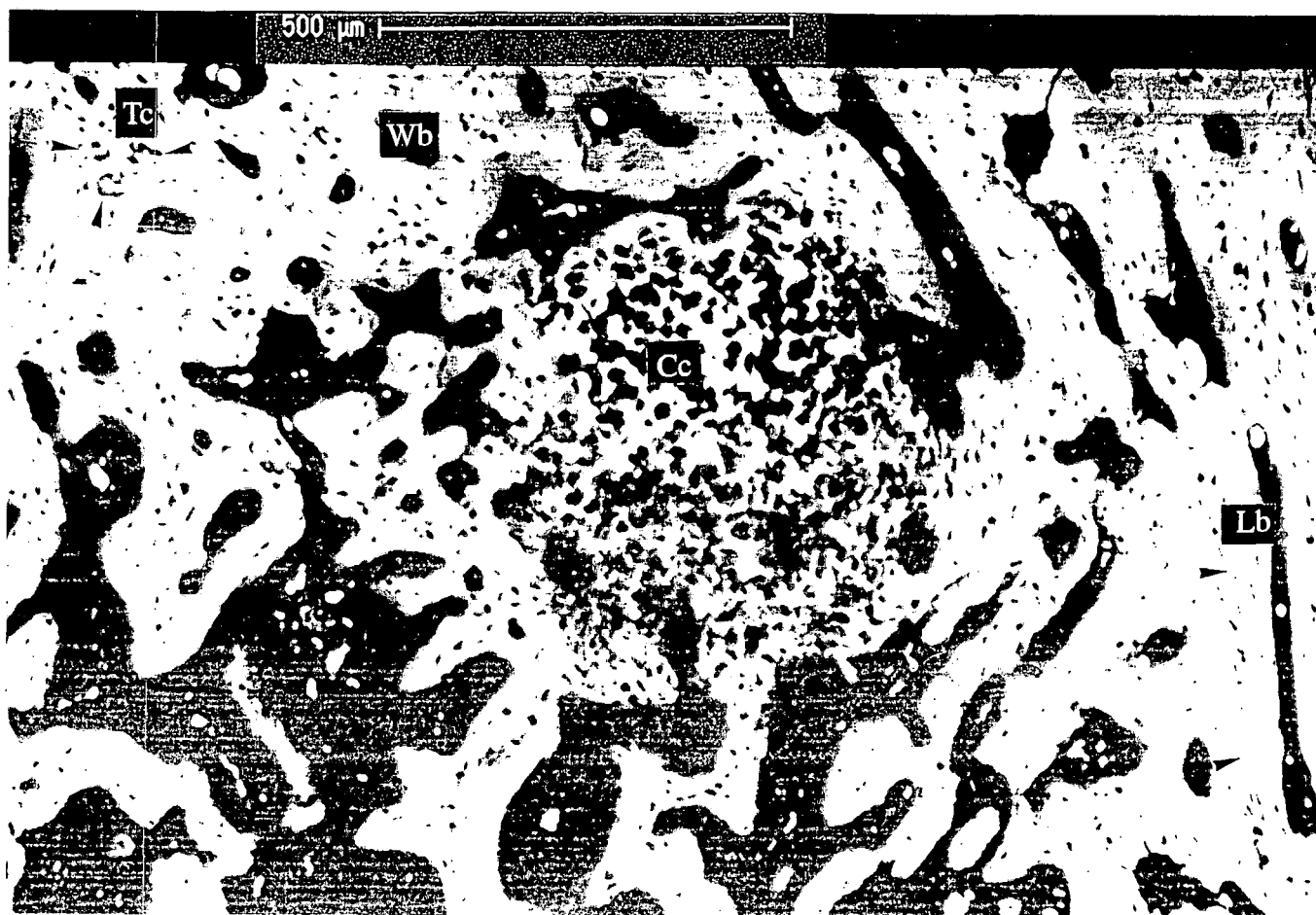




Fig. V.54. Margen del cartilago calcificado visible en la imagen Fig. V.52.

Fig. V.55. Preparación de m.e.r. n° 8F (30d.). Masa aislada de cartilago calcificado (Cc), en la profundidad de una masa trabecular de tejido condroide (Tc), hueso fibrorreticular (Wb) y hueso lamelar (Lb).



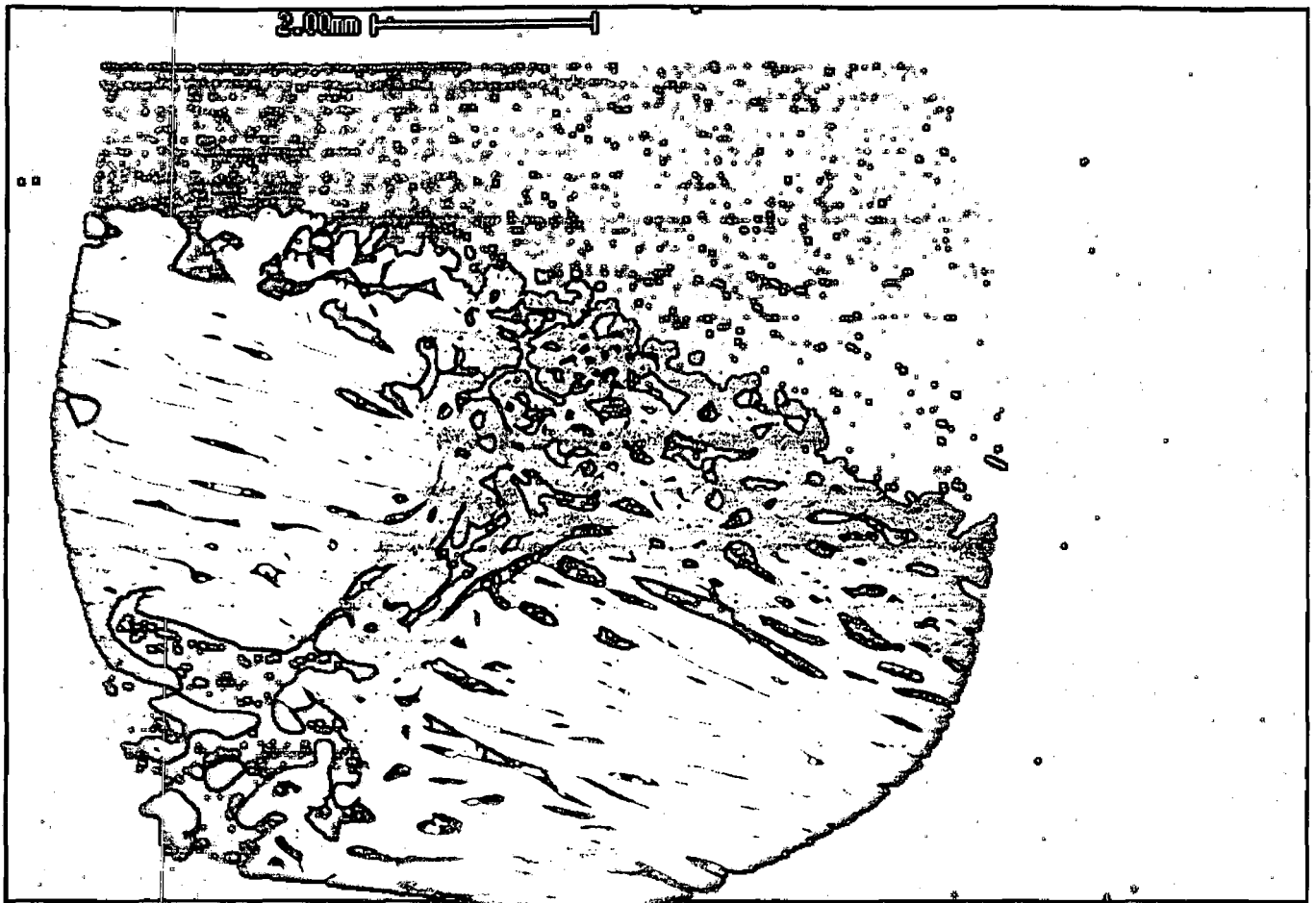
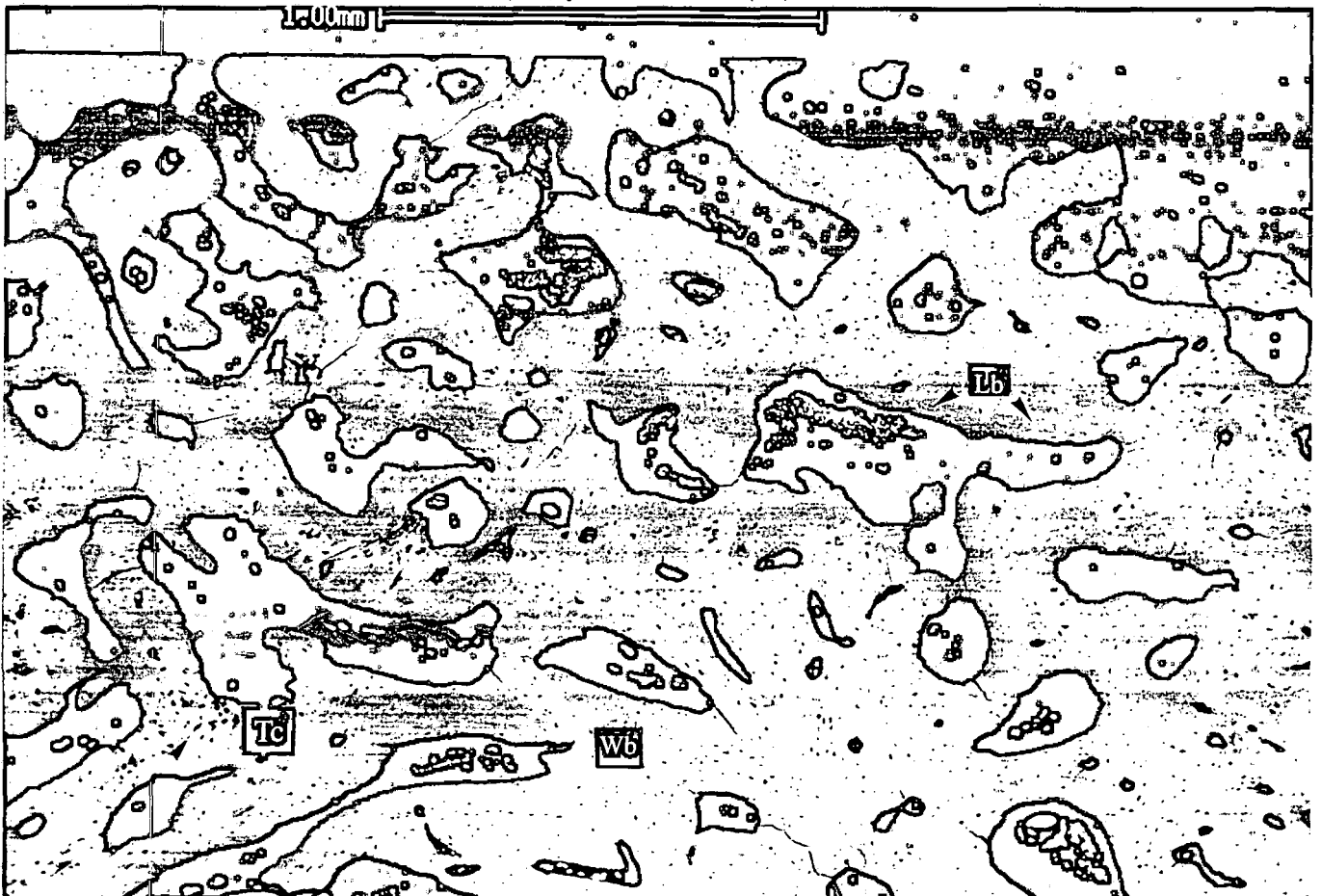


Fig. V.56. Preparación de m.e.r. n° 5A (60d.). Visión general de la cortical, con callo completo, perióstico, intercostal y endóstico, formado por trabéculas densas.

Fig. V.57. Imagen anterior a mayor aumento. Trabéculas osteocondroides constituidas por tejido condroide (Tc), hueso fibrorreticular (Wb) y hueso lamelar (Lb).



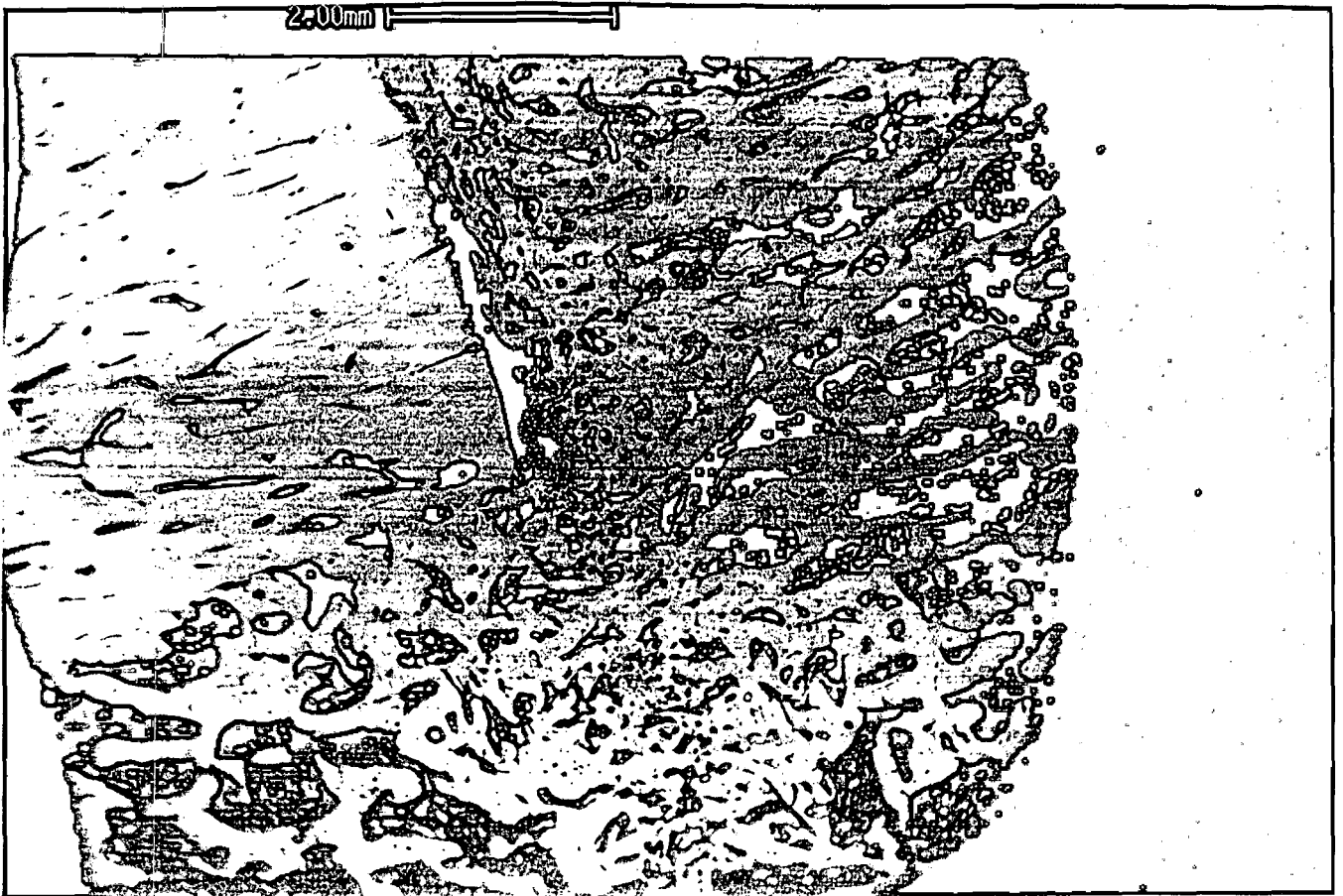


Fig. V.58. Preparación de m.e.r. n° 5F (60d.). Visión general de la cortical, con callo intercortical y perióstico, discontinuos por la presencia de una masa radiotransparente.

Fig. V.59. Imagen anterior a mayor aumento. Obsérvese el borde constituido por cartílago calcificado (Cc) y la limitada porosidad del hueso lamelar cortical adyacente (Lb).



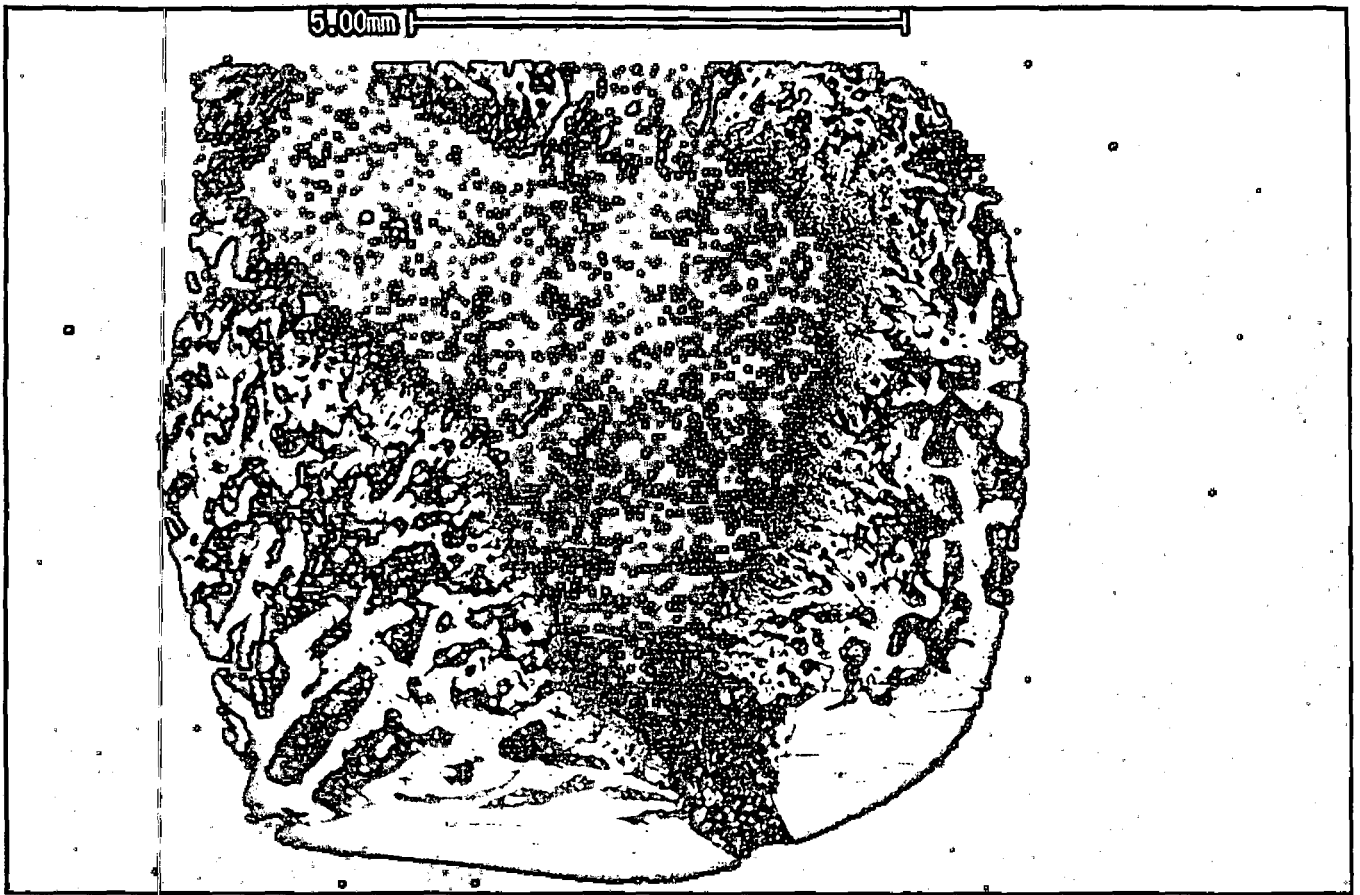
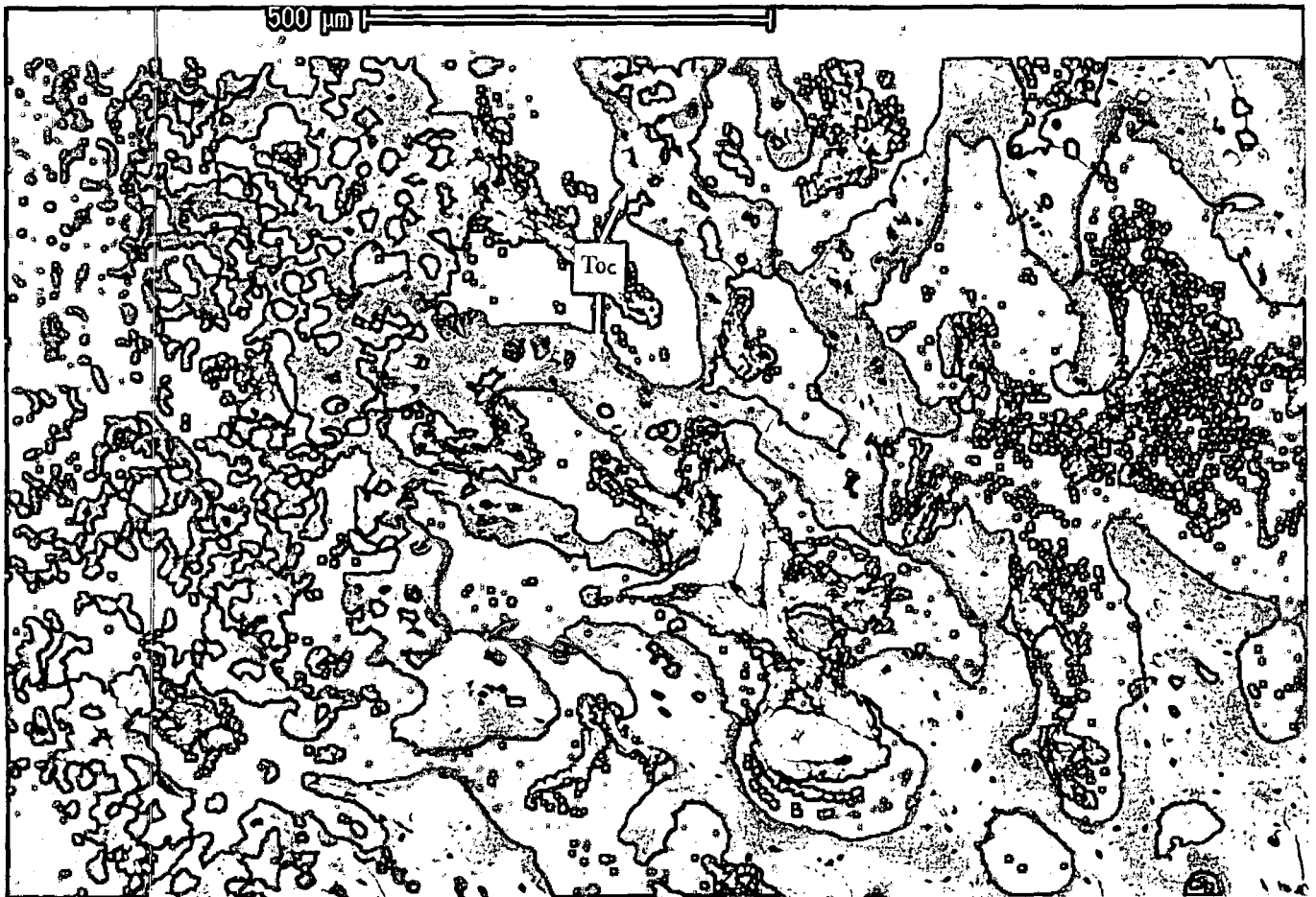


Fig. V.60. Preparación de m.e.r. n° 6A (60d.). Imagen general de una masa no calcificada, limitante con cartilago calcificado. En el ángulo inferior derecho se distingue el espacio intercortical.

Fig. V.61. Límite de la masa no calcificada (Fig. V.60), compuesto por cartilago calcificado, bordeado a su vez de trabéculas osteocartilaginosas (Toc) sometidas a un intenso ataque osteoclástico.



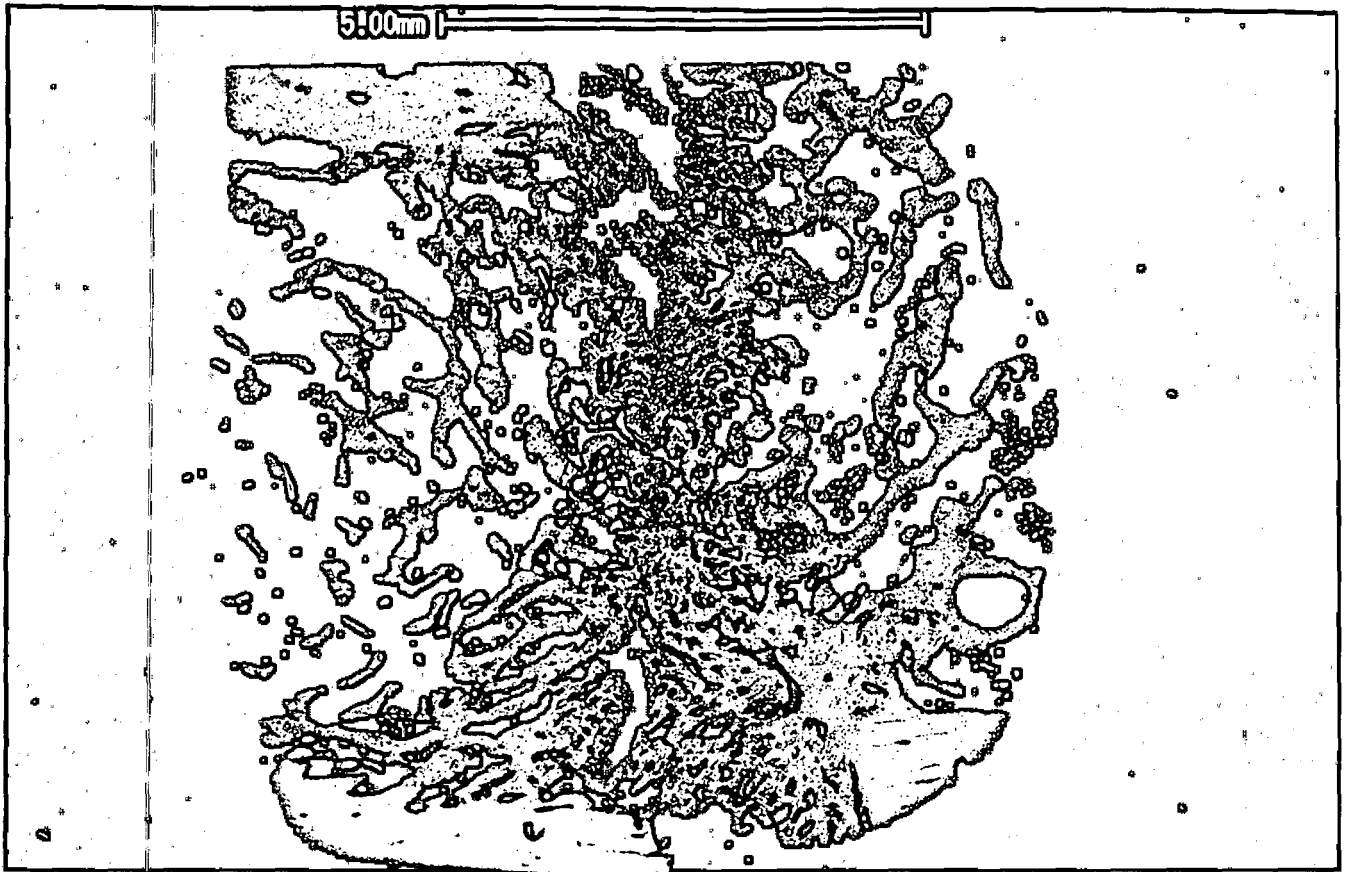


Fig. V.62. Preparación de m.e.r. n° 6A (60d.). Detalle del callo endóstico.

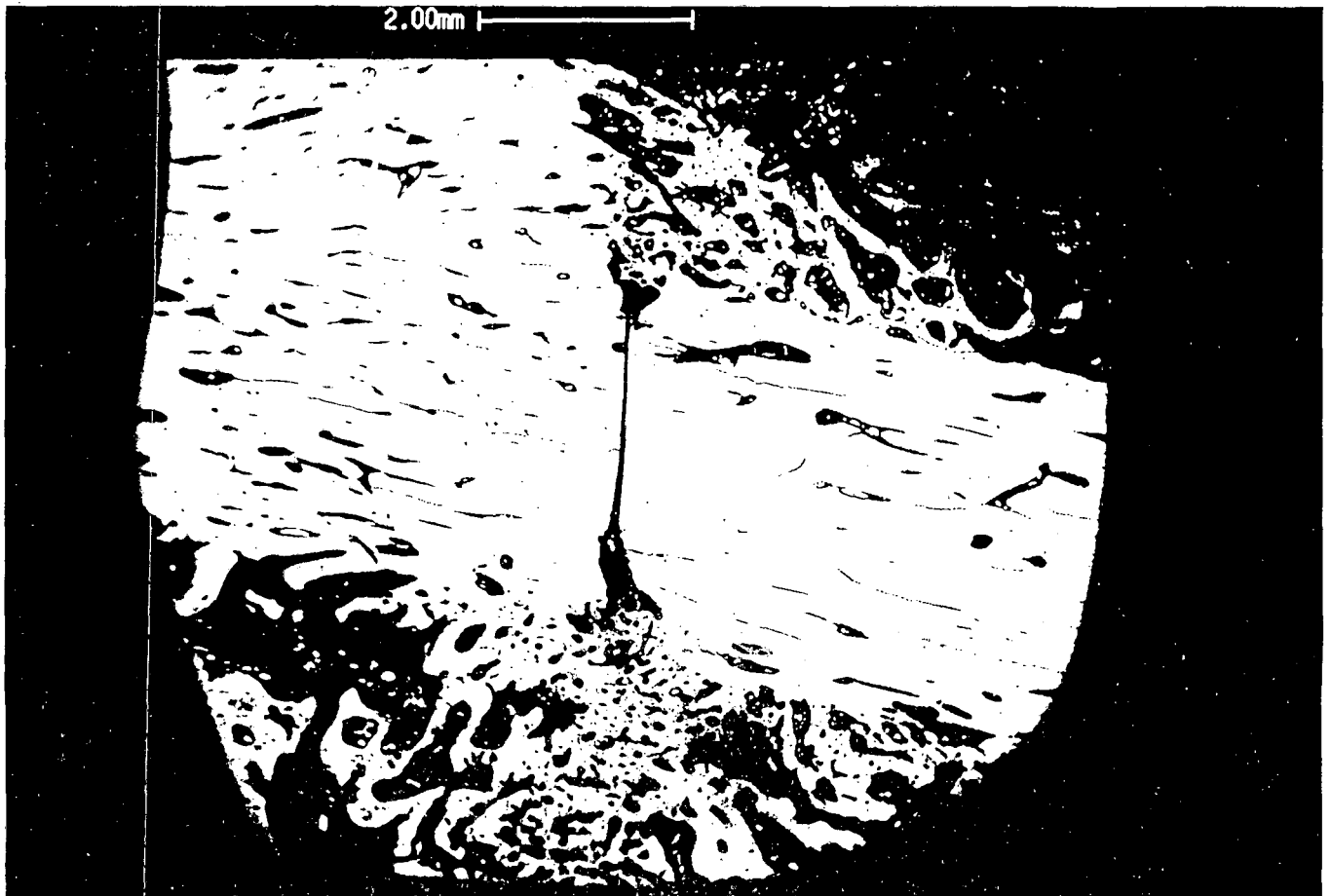
Fig. V.63. Imagen anterior (Fig. V.62) a mayor aumento. Se aprecia una masa central de cartílago calcificado (Cc) rodeada de trabéculas osteocartilaginosas (Toc), sometidas a su vez a un ataque osteoclástico periférico (Lagunas de Howship; flechas).





Fig. V.64. Preparación de m.e.r. n° 6A (60d.). Area más madura del callo endóstico (en la cortical contralateral). Callo más maduro constituido por masas de tejido condroide (Tc) completamente rodeadas de hueso fibrorreticulado (Wb), y con signos dispersos de aposición de hueso lamelar (Lb).

Fig. V.65. Preparación de m.e.r. n° 6F (60d.). Imagen general de una cortical con el callo completo.



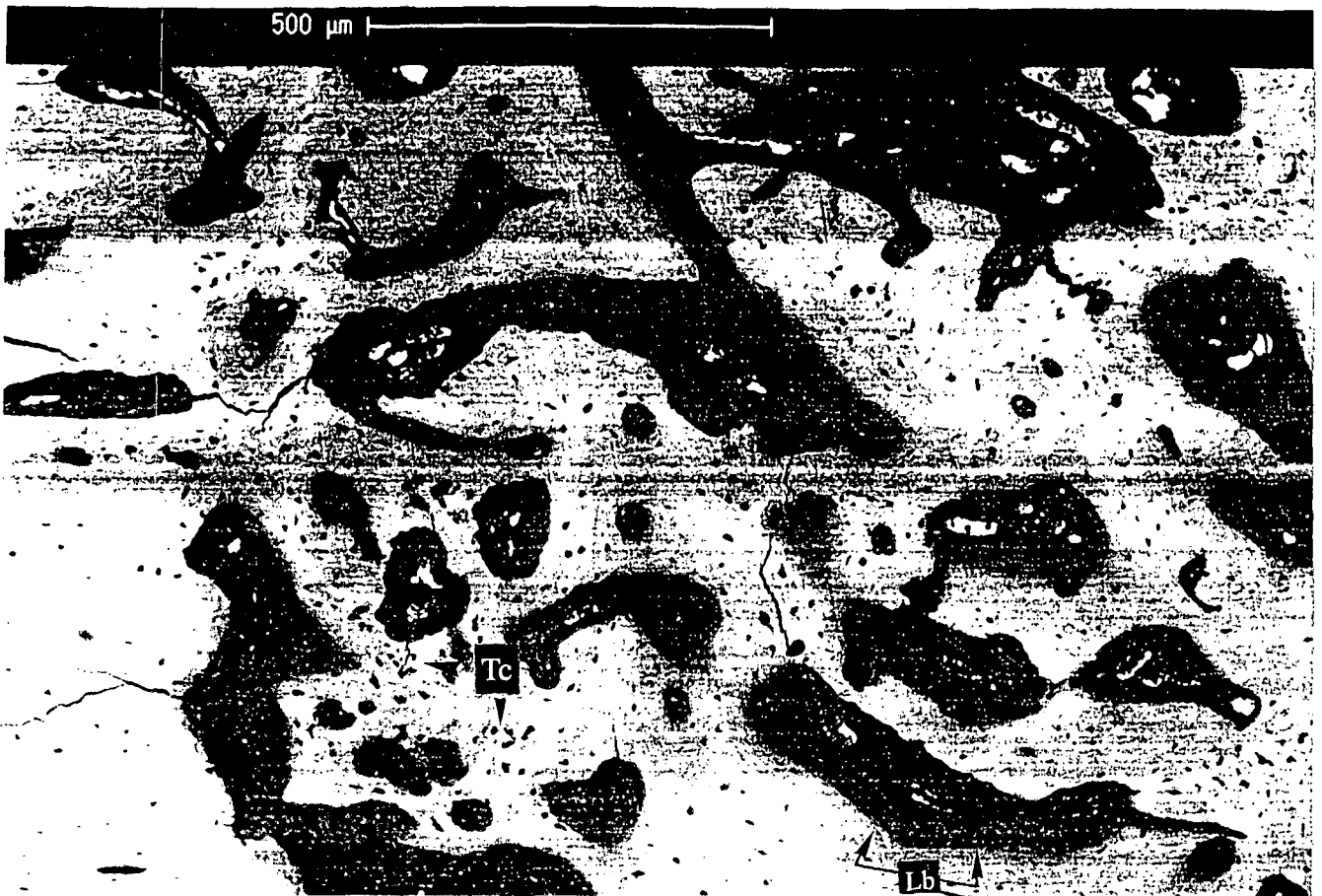


Fig. V.66. Preparación de m.e.r. n° 6F (60d.). Focos dispersos de tejido condroide (Tc) en una masa de hueso fibrorreticular con escasa aposición de hueso lamelar (Lb).

Fig. V.67. Imagen a mayor aumento del borde perióstico del espacio intercortical. La distancia del espacio intercortical es de $85,7\mu$. A ambos lados de los bordes puede distinguirse aposición de hueso lamelar (Lb). El callo es completo y constituido por tejido condroide y hueso fibrorreticular.



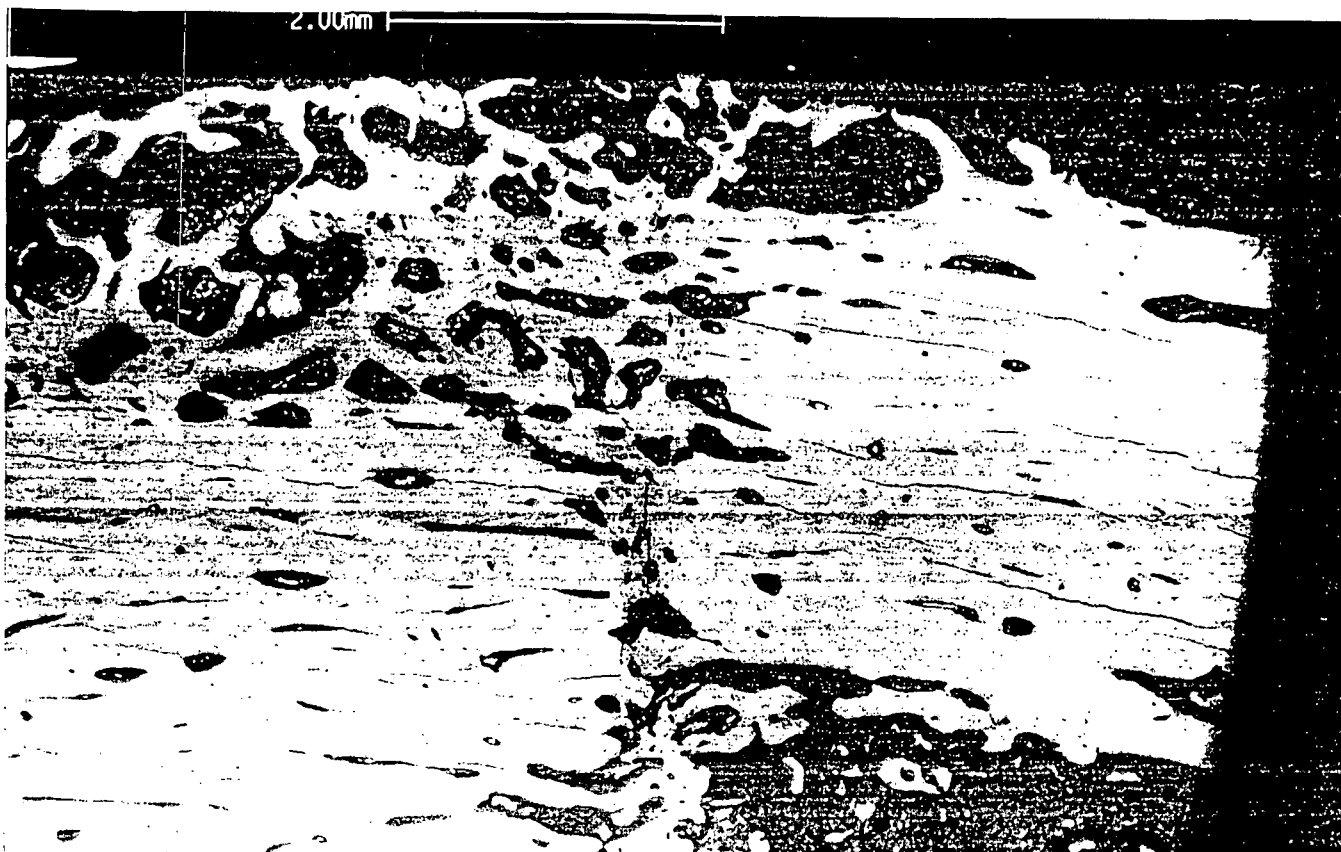
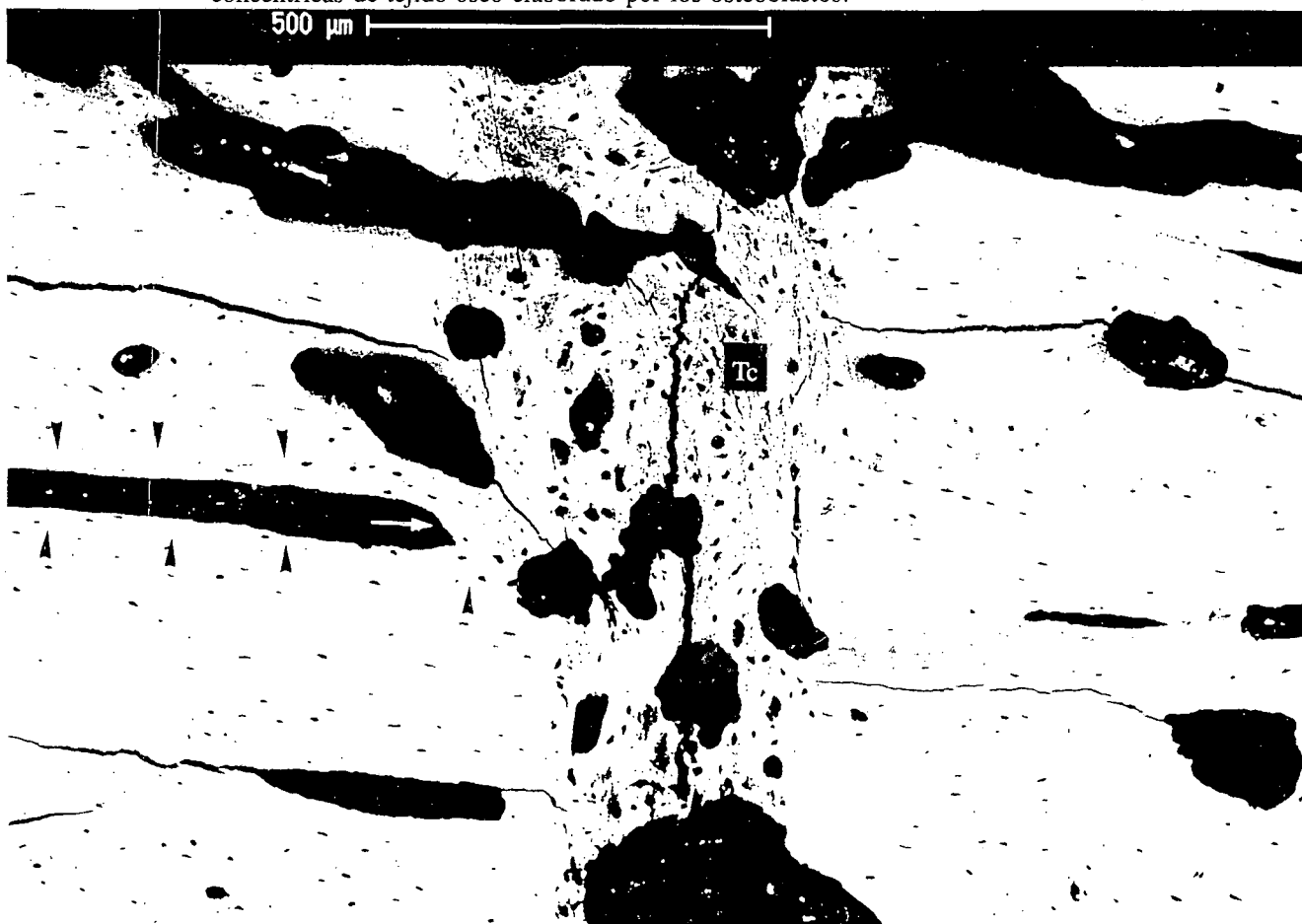


Fig. V.68. Preparación de m.e.r. n° 6F (60d.). Cortical contralateral de la misma pieza con el callo perióstico completo. A pesar del desplazamiento (~ 1 mm) se observa reparación intercortical.

Fig. V.69. Preparación de m.e.r. n° 6F (60d.). Imagen de reparación intercortical, compuesta por una masa de tejido condroide (Tc). La flecha señala la imagen de los tejidos calcificados de un "cutting cone", en la que la laguna de Howship inicial del espacio vascular se ve seguida por las láminas concéntricas de tejido óseo elaborado por los osteoblastos.



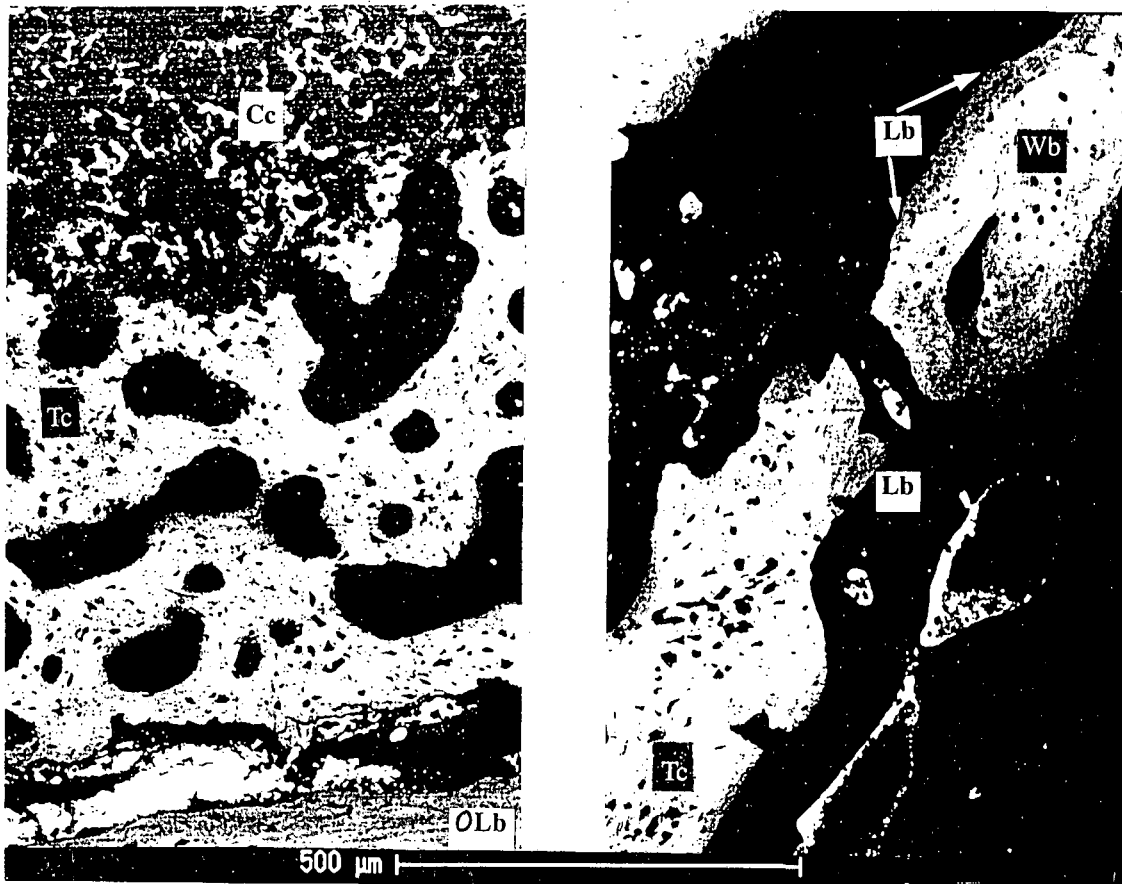
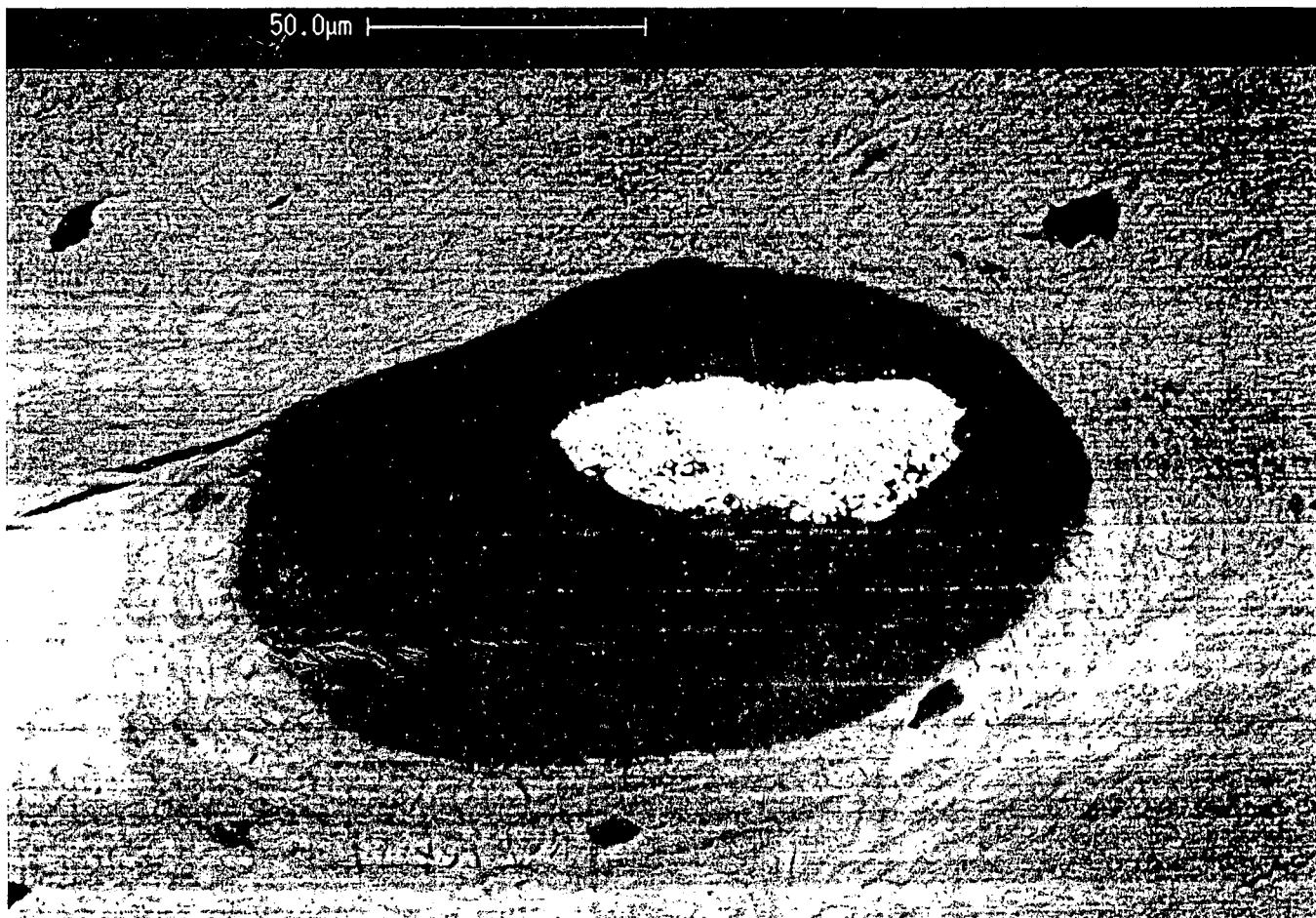


Fig. V.70. Imagen en la que puede observarse los distintos tipos de tejidos calcificados que intervienen en la cicatrización fracturaria. Cartilago calcificado (Cc); Tejido condroide (Tc); Hueso fibrorreticular (Wb); Hueso lamelar neoformado (Lb); Hueso lamelar osteonal (OLb).

Fig. V.71. Detalle de una osteona con presencia de contraste en el canal de Havers.



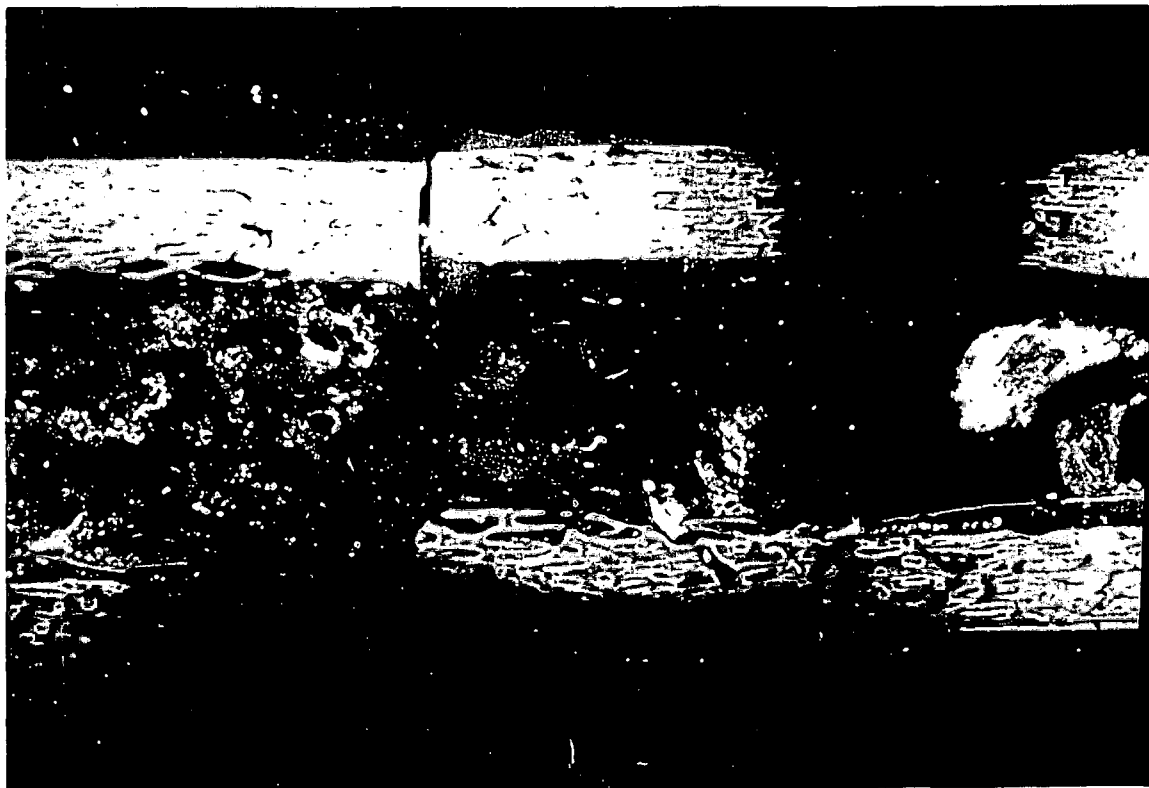


Fig. V.72 Microrradiografía n° 16F (15d). Obsérvese el espacio intercortical en la línea de osteotomía y la presencia de un callo endóstico incompleto en la cortical superior (X4,5).

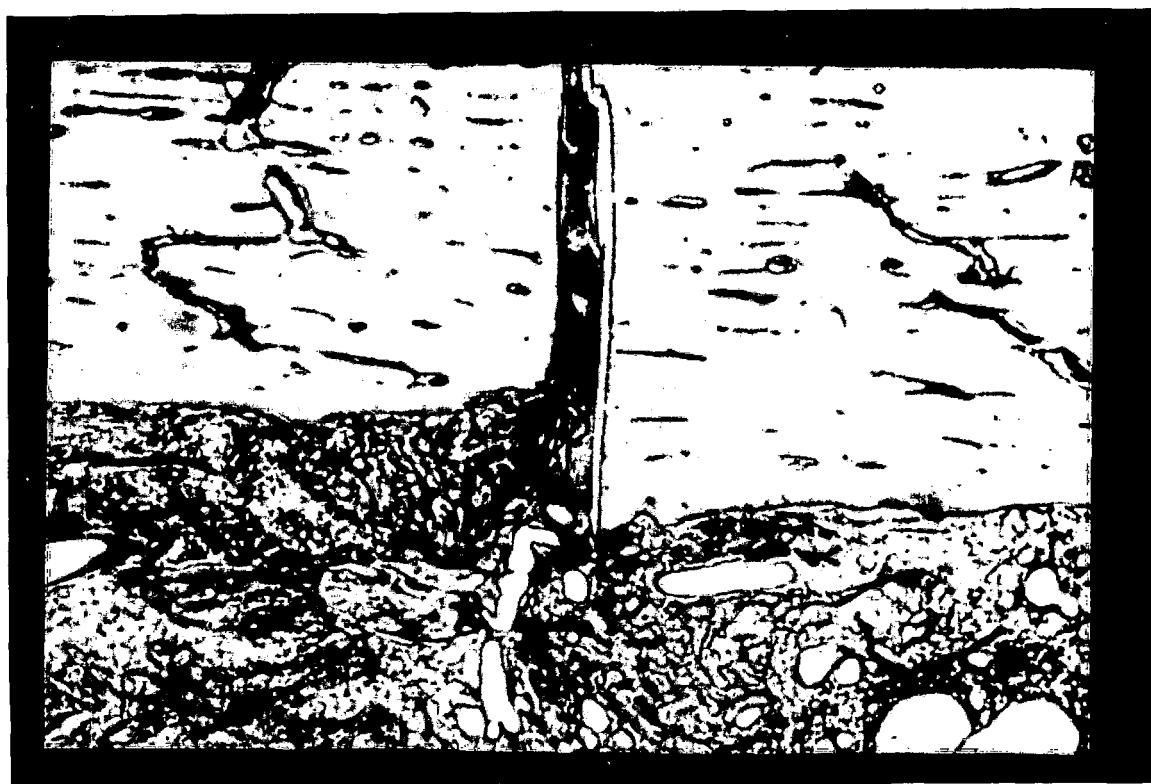
Fig. V.73 Preparación histológica sin decalcificar n° 16F (15d). Imagen longitudinal de la diáfisis tibial a nivel de la línea de osteotomía. Azul de toluidina (X5).





Fig. V.74. Aspecto a mayor aumento de la Fig. V.73. Las flechas señalan el límite entre la zona de callo perióstico fibroso (zona central) y óseo (extremos). En el espacio intercortical de fractura se observa un brote conjuntivo-vascular. Azul de toluidina (X20).

Fig. V.75. Aspecto a mayor aumento de la Fig. V.73. Espacio intercortical y región endóstica. Callo óseo medular incompleto. (X20).



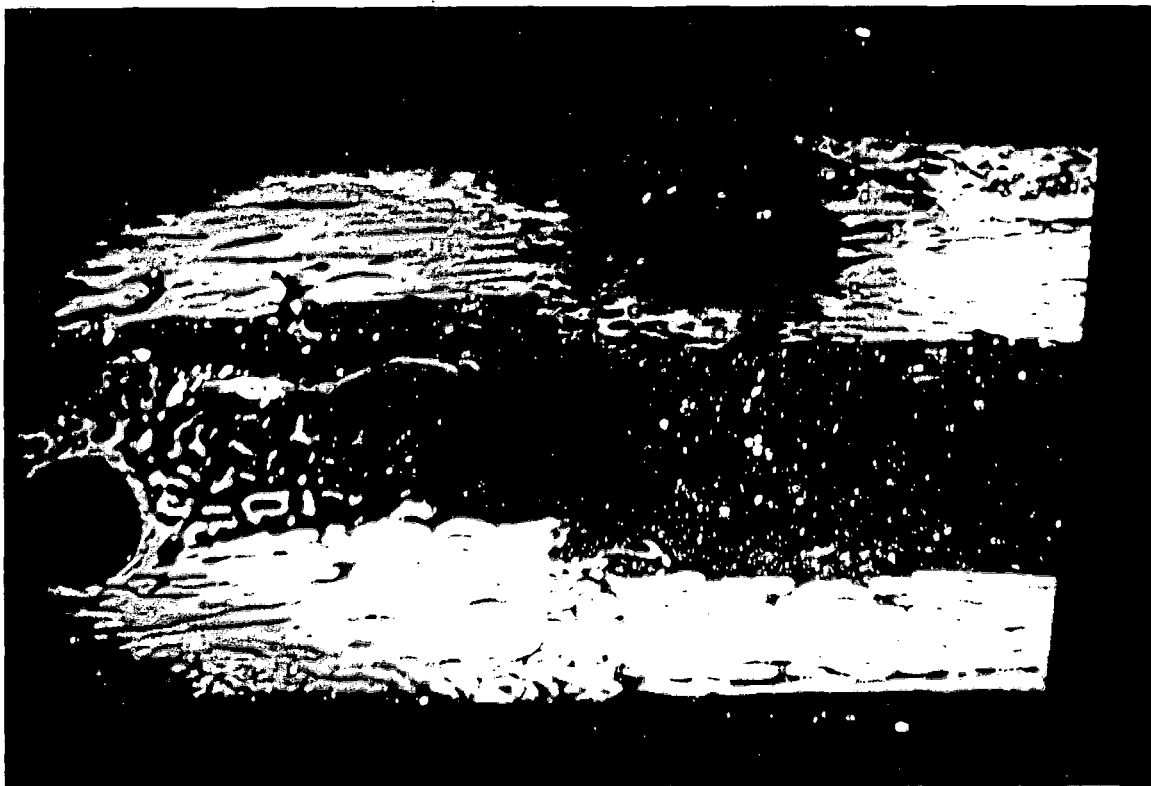


Fig. V.76 Microrradiografía nº 5A (60d). Zona osteotomizada ya consolidada. Obsérvese la remodelación y reabsorción del callo tanto a nivel perióstico como medular. (X5).

Fig. V.77 Preparación histológica sin decalcificar nº 5A (60d). Imagen longitudinal de la diáfisis tibial a nivel de la línea de osteotomía. Obsérvese la presencia de vasos de grueso calibre en la cavidad medular. Azul de toluidina (X5).





Fig. V.78 Aspecto a mayor aumento de la Fig. V.76. Cortical con la antigua línea de osteotomía ya consolidada. Banda central constituida por tejido óseo fibrorreticular en remodelación. (X45).

Fig. V.79 Aspecto a mayor aumento de la Fig. V.77. Obsérvese la ligera metacromasia de la banda central que corresponde a hueso fibrorreticular en proceso de remodelación. Azul de toluidina (X45).



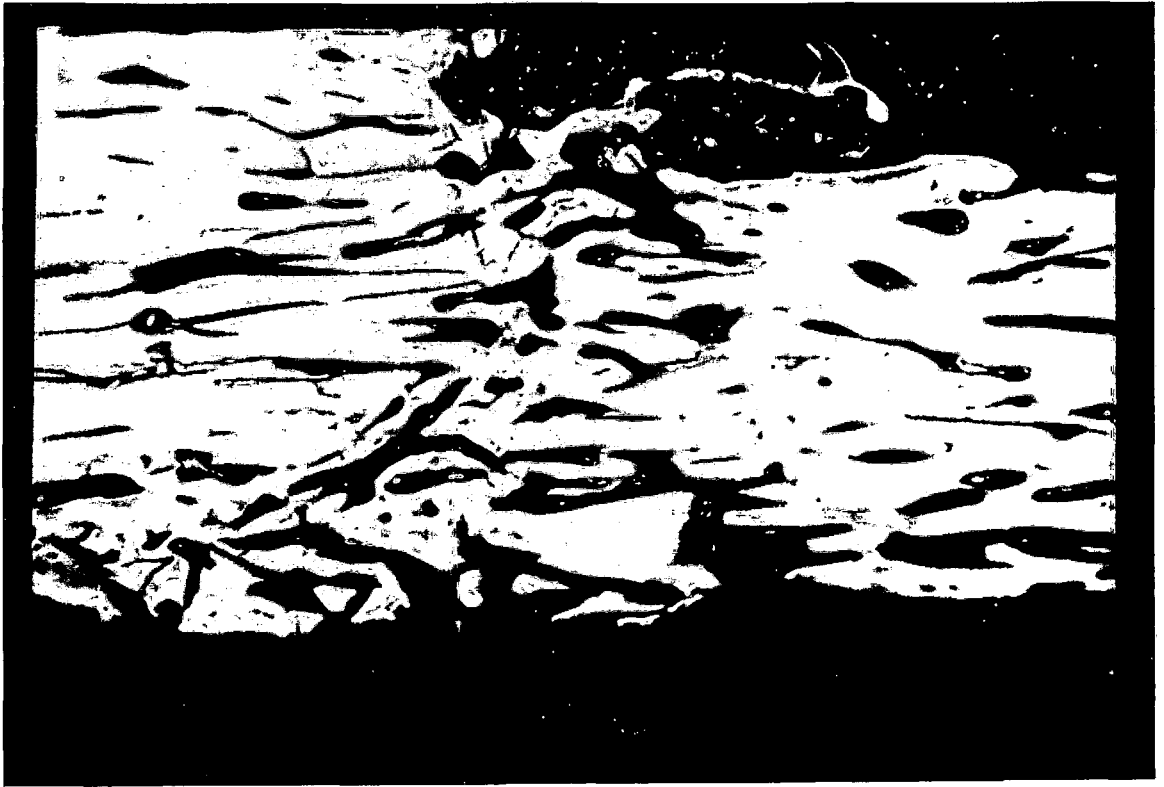


Fig. V.80 Aspecto a mayor aumento de la cortical contralateral (microrradiografía n° 5F, 60d; Fig. V.76). Zona osteotomizada ya consolidada (lado perióstico, parte inferior; lado endóstico, parte superior). (X20).

Fig. V.81 Aspecto a mayor aumento de la cortical contralateral (preparación histológica n° 5F, 60d; Fig. V.77). Ligerá metacromasia de la banda central correspondiente a hueso fibrorreticular en remodelación. Azul de toluidina. (X20).

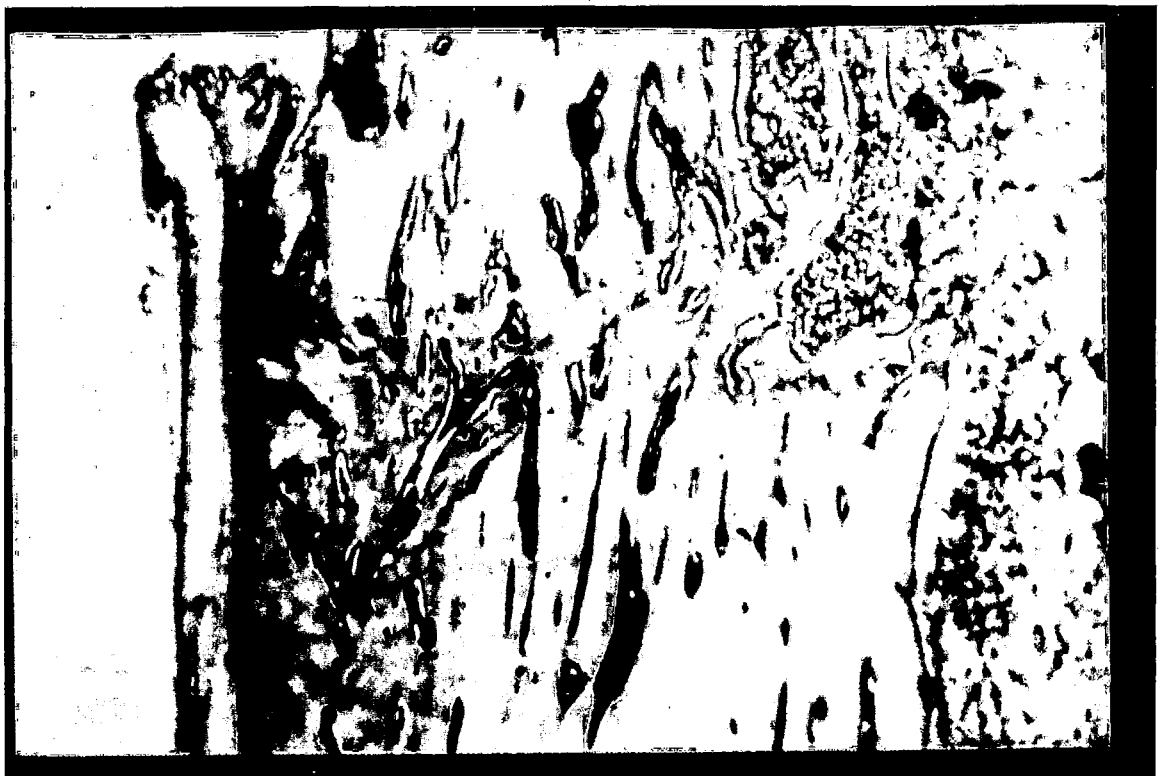




Fig. V.82 Preparación histológica sin decalcificar nº 8F (30d). Reabsorción de hueso cortical por un frente osteoclástico (flechas) y cartilago en proceso de calcificación manifestando una evidente metacromasia (cuadrante inferior derecho) Azul de toluidina. (X20).

Fig. V.83 Aspecto a mayor aumento de la Fig. V.82. Reabsorción de hueso compacto de una de las corticales por un frente de osteoclastos (X45).





Fig. V.84 Aspecto de la región intercortical de la preparación n° 8A (30d). Reabsorción de hueso compacto por un frente de osteoclastos. (X45). (La preparación de m.e.r. de este corte se presenta en la pág. 287).

Fig. V.85 Aspecto de la región intercortical de la preparación n° 8A (30d). Reabsorción de hueso compacto por osteoclastos acompañados de abundantes brotes conjuntivo-vasculares (X45).



VI. DISCUSION

VI. DISCUSION

En el presente capítulo se procederá a la discusión de los resultados obtenidos en cada uno de los diferentes estudios realizados para llevar a cabo finalmente una discusión de carácter general recopilando e interrelacionando los puntos más importantes de cada apartado.

VI.1. DISCUSION DE LOS RESULTADOS CLINICOS

La exploración clínica llevada a cabo en nuestro estudio contemplaba una serie de parámetros que, si bien considerábamos imprescindible su evaluación, era previsible la manifestación de un comportamiento muy similar entre ambos grupos experimentales (angulación y flexión). En este sentido, y en un único parámetro (valoración global de la reacción inflamatoria, pág. 200) las diferencias detectadas pudieron mostrarse estadísticamente significativas, mientras que en los restantes factores evaluados (infección primaria del trayecto, desprendimiento prematuro de las agujas y desplazamiento lateral del fijador externo, recuperación postoperatoria del apoyo y recuperación funcional final) y, a pesar de detectar diferencias entre los grupos, éstas no pudieron plasmarse estadísticamente. Asimismo, en ninguno de los estudios que guardan cierta similitud con el desarrollado por nosotros (Hart et al., 1985; Gumbs et al., 1988; Aro et al., 1990; Egger et al., 1993a y b) se lleva a cabo una valoración clínica mínimamente detallada siendo ésta desplazada sistemáticamente por la exploración radiográfica o por estudios más complejos dificultando, de este modo, la contrastación de nuestros resultados con los de otros autores en este apartado.

Probablemente, uno de los resultados más destacables de la exploración clínica se refiere al registro de una **reacción inflamatoria** significativamente mayor ($p < 0,001$) en el grupo de flexión con respecto al de angulación. De los tres parámetros que incluimos en el concepto de reacción inflamatoria, consideramos el grado de exudación (o infección menor del trayecto) como el de mayor transcendencia puesto que el grado de tumefacción e inflamación de los tejidos blandos y el de lesión cutánea suelen ser mínimos si se ha tenido especial cuidado de evitar la existencia de tensión en los tejidos de la zona, así como de practicar las correspondientes incisiones de relajación para la entrada y salida de las agujas (Egger, 1993a).

La exudación del trayecto de la aguja es un fenómeno intrínsecamente relacionado con la implantación de agujas transfixiantes y no debe considerarse, en ningún caso, como una complicación (Green, 1981; Johnson et al., 1989). Sin embargo, la intensidad de la exudación puede relacionarse, entre otras cosas, con un aflojamiento de la aguja debido a una reacción osteolítica en la interfase aguja-hueso (Egger, 1993a). En nuestro caso y tal como

veremos en el siguiente apartado, hemos podido constatar la citada correlación puesto que el estudio radiográfico también ha mostrado la misma tendencia. De cualquier modo, debemos evaluar con cierta precaución la extrapolación de la valoración clínica de la exudación y de la reacción perióstica puesto que en el primer caso existen otros factores adicionales e individuales que podrían llevarnos a una mala interpretación de los resultados, al menos en nuestro caso. Uno de los citados factores se relaciona con la deambulación postoperatoria de los animales, ya que animales con mayor actividad presentaban también valores más elevados de exudación y si la actividad no era excesiva, no existían diferencias significativas en cuanto a la valoración radiológica de la reacción osteolítica. Otro factor que observamos se refiere a la tendencia de muchos animales a lamerse constante y aleatoriamente las interfases aguja-piel y, aunque no se alcanzaron niveles de automutilación, es evidente que la reacción inflamatoria y por tanto, la exudación local se incrementasen, sin ello significar (o al menos no pudimos confirmarlo) la existencia de una mayor reacción osteolítica en esos animales. Quizá la inflamación yatrogénica no se hubiese producido si las interfases aguja-piel se hubiesen cubierto completamente con un vendaje (Aron y Toombs, 1984) o bien se dejase desecar el líquido exudado para que formase las características costras en cada interfase (Piermattei, 1978; Fox, 1986; Egger, 1991b, 1993a), sin embargo, preferimos limpiar diariamente las interfases tal y como aconsejan otros autores (Green, 1981) y en comparación con nuestra experiencia previa, consideramos acertada tal decisión ya que constatamos unos menores índices de exudación y un mejor aspecto de las interfases favorecido probablemente por mantener un microambiente más higiénico, al no proteger el fijador con ningún vendaje y limar previamente los extremos cortantes de las agujas y barras.

En lo que respecta a los resultados de la reacción inflamatoria por interfase es importante destacar, por una parte, que, en ambos grupos, los niveles más elevados se registraron en la interfase nº 1 (tabla V.3, pág. 199), coincidiendo con los resultados publicados por DeCamp et al. (1988) y Gumbs et al. (1988) y cuya justificación se relacionaría con la mayor masa muscular afectada por el trayecto de la aguja nº 1 con el correspondiente incremento en el movimiento relativo aguja-tejidos blandos (Green, 1981). Por otra parte, los resultados correspondientes a la distribución de la reacción inflamatoria entre las 4 interfases del mismo grupo (tabla V.4, pág. 200) reflejan cómo las interfases nº 2 y 3 del grupo de flexión (sometidas por tanto a incurvación) presentan mayor reacción inflamatoria que las mismas interfases del grupo de angulación. Por el contrario, la interfase nº 4 del grupo de angulación presenta un valor más elevado que la del grupo de flexión. Si consideramos que el porcentaje de distribución en ambos grupos y para la interfase nº 1 es aproximadamente el mismo, podemos deducir que la reacción inflamatoria en el grupo de angulación queda más repartida entre las interfases nº 2, 3 y 4 mientras que en el grupo de flexión se concentra en las dos interfases centrales. Finalmente, la no presencia de una exudación continuada después de procederse a la retirada de las agujas tras la consolidación

de las osteotomías indica la inexistencia de sucuestros óseos anulares (Egger, 1991b).

Tal y como ya hemos apuntado anteriormente, es imprescindible diferenciar adecuadamente el fenómeno de exudación "fisiológica" en el trayecto de la aguja de la presencia de una **infección primaria** del mismo o de una osteomielitis focal. Aron y Dewey (1992) consideraron como signos clínicos diferenciables la presencia, en el caso de una infección primaria, de una exudación muy abundante acompañada de un olor desagradable, dolor, induración tisular marcada y eritema de los tejidos blandos próximos. Estos signos pueden acompañarse de apatía y falta de apoyo (Egger, 1991a). Finalmente, Braden (1991) diferencia el concepto de herida contaminada, en la que las bacterias están presentes, y herida infectada, en la que las bacterias se multiplican logarítmicamente.

A partir de los citados signos, pudimos constatar la presencia, en ambas extremidades de un mismo animal (nº 4), de un proceso inicial de infección primaria del trayecto cuyo origen no pudimos detectar pero que dada la rápida resolución del problema podríamos considerar la presencia de tal proceso como irrelevante.

El **desprendimiento prematuro** de las agujas, es decir, antes de que esté suficientemente consolidada la fractura, es la complicación más importante que presenta la utilización de fijadores externos (Green, 1981; Aron y Toombs, 1984 y 1986; Egger, 1991b). Cuando el desprendimiento de las agujas se generaliza, la desestabilización consecuente del fijador externo puede llegar a comprometer seriamente la correcta evolución de la cicatrización fracturaria conduciendo al fracaso de la intervención quirúrgica. Por lo tanto, la detección precoz del desprendimiento de las agujas resulta de vital importancia para el pronóstico de las fracturas u osteotomías reducidas mediante fijadores externos. Sin embargo, la detección individual del desprendimiento de una aguja es de complicada realización puesto que requiere desajustarla previamente de las rótulas que la fijan; práctica poco habitual, puesto que supone un evidente riesgo para la adecuada reducción de la fractura al desestabilizar el montaje del fijador externo. Así pues, la detección individual del desprendimiento se llevó a cabo aprovechando la retirada del fijador externo, evaluando en los controles postoperatorios previos, el movimiento de lateralización del fijador externo.

Al igual que sucede en otras valoraciones clínicas de nuestro estudio, no pudimos reflejar estadísticamente las diferencias detectadas acerca del desprendimiento prematuro de las agujas entre los grupos de angulación y flexión, a pesar de que la frecuencia del desprendimiento individual de las agujas, como del desplazamiento lateral del fijador externo, resultó ser mucho más elevada en el grupo de flexión que en el de angulación (pág. 202). Coincidiendo con lo descrito por DeCamp et al. (1988) y Gumbs et al. (1988), la aguja más afectada en ambos grupos ha sido la nº 1. Probablemente, una de las causas que justifiquen

tal comportamiento sea una mayor superficie de contacto entre el hueso y la aguja cuando ésta se implanta de forma angulada (Gumbs et al., 1988), de manera que las tensiones que se transmiten por la interfase aguja-hueso se distribuyen entre una superficie mayor, disminuyendo la tensión por unidad de superficie que debe soportar el hueso cortical.

Tampoco en la valoración de la **recuperación del apoyo** tras la intervención quirúrgica hemos detectado diferencias entre ambos grupos. Si bien es cierto que en las fases más prematuras (24-48 horas tras la intervención) los animales alternaban el apoyo entre ambas extremidades, antes de una semana el apoyo era prácticamente normal en todos ellos, coincidiendo con lo observado por otros autores en estudios semejantes (Egger et al., 1993b; Aro y Chao, 1993). Los déficits esporádicos de apoyo los atribuimos a pequeños traumatismos sobre el fijador externo y, por tanto, con independencia del tipo de fijador implantado. En ningún caso se registró un déficit prolongado de apoyo que podría indicar una manifiesta inestabilidad interfragmentaria (Egger, 1991b). Asimismo, la cojera detectada en algunos animales en los días antes de la retirada de los fijadores externos (13F y 19F) podría justificarse a partir de las observaciones de Egger (1991b). En este sentido, el citado autor observó que el movimiento y desprendimiento de las agujas que se produce cuando permanece implantado el fijador externo en un hueso cuya fractura está ya consolidada, son causa frecuente de cojeras que se resuelven espontáneamente después de la retirada del fijador externo.

Por otra parte, la **recuperación funcional final** de los animales intervenidos fue satisfactoria aunque sin observar diferencias importantes entre ambos grupos. Asimismo, en ciertas ocasiones, la valoración funcional de algunos pacientes hubiese mejorado si no hubiese coincidido la extracción del fijador externo con la finalización de su periodo de supervivencia, impidiendo una posterior mejoría. Nuestros resultados se asemejan a los presentados por Meynard et al. (1979), quienes registraron el 75% de animales con recuperación funcional buena o muy buena en fracturas tibiales reducidas con fijadores externos, teniendo en cuenta que su estudio se basaba en fracturas clínicas mientras que el nuestro se llevó a cabo en osteotomías tibiales.

VI.2. DISCUSION DE LOS RESULTADOS RADIOLOGICOS

Brand, en 1979, describió la poca relación que existe frecuentemente entre la exploración clínica del paciente y la evaluación radiológica de la fractura, considerando esta última como la principal herramienta de que dispone el clínico para determinar con mayor objetividad y precisión la evolución de un hueso fracturado.

En nuestro caso, la valoración radiológica adquiere más importancia dado que, además del control de la cicatrización fracturaria, uno de los objetivos de nuestro estudio pretende evaluar de qué manera influye la implantación de las agujas sobre el desprendimiento prematuro de las mismas. Sin embargo, hemos visto que clínicamente resultaba extremadamente difícil registrar correctamente tal desprendimiento y, por supuesto, prácticamente imposible de preverlo. Afortunadamente, la existencia de determinados signos radiológicos que evidencian lesiones en el tejido óseo donde se inserta la aguja nos permitirán constatar y pronosticar dicho desprendimiento.

La constatación radiológica de la osteolisis periaguja, es decir, de la disminución de la radiodensidad ósea alrededor de la aguja por incremento de la actividad osteoclástica y de la reabsorción ósea (Biery, 1985) es el principal de los citados signos (Fox, 1986; Egger, 1991a; Pettine et al., 1993). Fundamentalmente, los factores que pueden generar una reacción osteolítica son: una necrosis térmica del hueso secundaria a la técnica utilizada para la implantación de las agujas (Mathews y Hirsch, 1972; Mathews et al., 1984; Bennett et al., 1987; Aron y Dewey, 1992); la instauración de una infección primaria del trayecto de la aguja (Green, 1981; Harari, 1992) o bien la intensidad del estrés que transmite la aguja al hueso en el que se implanta (Green, 1981, 1982; Pettine et al., 1993). Sea cual fuere la causa, el resultado final será el desprendimiento generalmente prematuro de la aguja implantada. Si consideramos que la técnica de implantación de las agujas utilizada en nuestro estudio ha sido la misma para la totalidad de los animales y que la presencia de infección primaria ha sido irrelevante (v. "Resultados clínicos, pág. 201), la presencia de osteolisis dependerá casi exclusivamente del estrés presente en la interfase aguja-hueso. En este sentido, Pettine et al. (1993) introducen la diferencia entre el estrés estático y el dinámico de las interfases aguja-hueso. Mientras que el primero es el generado al ejercer compresión interfragmentaria mediante el fijador externo, el estrés dinámico es el que se produce por las cargas de apoyo. También Pettine et al. (1993) demuestran, en osteotomías tibiales caninas reducidas mediante fijadores externos tipo I, que una osteolisis de grosor igual o superior a 1 mm. indica el aflojamiento de la aguja afectada mientras que una osteolisis inferior a 0,5 mm. todavía no indica el aflojamiento de esa aguja puesto que tal grado de osteolisis fue registrado en el 30% de las agujas fuertemente fijadas (test efectuado a los 40 días de postoperatorio).

Por lo tanto, una detallada exploración radiológica de la interfase aguja-hueso destinada a la detección de fenómenos osteolíticos no sólo nos permitirá pronosticar de forma sencilla y fiable el desprendimiento individual de las agujas (Egger, 1991a; Pettine et al., 1993) sino que también nos aportará información acerca del estrés que padecen las interfases dependiendo de la implantación angulada o incurvada de las agujas.

Los resultados globales referentes a la valoración de la **osteolisis periaguja** en nuestro estudio (pág. 222) demuestran que en el grupo de flexión el grado de osteolisis es entre un 2 y 9 por ciento mayor ($p=0,003$; I.C.:95%) al del grupo de angulación y por lo tanto, la posibilidad de desprendimiento de las agujas es también mayor (tal y como se evidenciaba clínicamente, pág. 201). Estos resultados reflejan estadísticamente la no validez de la implantación perpendicular y posterior incurvación de las agujas bien sea para evitar el desplazamiento lateral del fijador externo o para conseguir una reducción rígida de la fractura tal y como aconsejan distintos autores (Eghker et al., 1980; Clamen, 1980; Paul, 1982; Renegar et al., 1982; Gaudichaud et al., 1982; Mears, 1983a; Sinibaldi, 1983; Sisk, 1983; Aron y Toombs, 1984; Weber y Magerl, 1985; Roe et al., 1985; Meynard, 1988; Pettine et al., 1993). Por el contrario, nuestros resultados coinciden básicamente con los obtenidos por Hart et al. (1985) cuyo estudio se basa en la reducción de osteotomías tibiales en perro mediante fijadores externos con y sin compresión interfragmentaria. Hart et al. (1985) constataron un mayor grado de osteolisis en el grupo de compresión aunque sus resultados no mostraban diferencias estadísticamente significativas debido quizá a la utilización de agujas roscadas de 4,5 mm y a la realización de un único control a los 90 días de intervención.

La diferencia registrada en nuestro estudio entre el grupo de angulación y el de flexión podríamos justificarla por una parte, a partir de los conceptos, ya revisados, de estrés estático y dinámico descritos por Pettine et al. (1993). De este modo, las interfases del grupo de angulación soportarían únicamente el estrés dinámico, mientras que las del grupo de flexión soportarían tanto el estrés dinámico como el estático generado por la flexión de las agujas. Por otra parte, Paul (1982) demostró que la superficie de contacto entre el hueso y una aguja implantada transversalmente es tan solo de unos 30-40 mm² y si consideramos que la cantidad de estrés que debe soportar una interfase se distribuye por la superficie de contacto entre la aguja y el hueso, la mayor superficie de contacto obtenida con la implantación angulada de la aguja (Gumbs et al., 1988) permitirá disminuir considerablemente el estrés por unidad de superficie de esa interfase y por lo tanto, disminuirá probablemente el grado de osteolisis.

En lo referente a la progresión de la osteolisis en los sucesivos controles radiológicos, observamos como en los de 15, 30 y 45 días el grado de osteolisis es significativamente mayor en el grupo de flexión que en el de angulación, mientras que en los

de 60 y 75 días, no sólo no existen diferencias significativas, sino que ambos grupos reflejan resultados muy parecidos. Resulta de especial interés evaluar por qué la significación del mayor grado de osteolisis en el grupo de flexión no se evidenció en los controles de 60 y 75 días. Lo que a tenor de los anteriores resultados podría considerarse como un comportamiento similar entre ambos grupos de fijadores externos en cuanto al grado de osteolisis presente en los últimos controles, la valoración conjunta de los registros de osteolisis con los obtenidos en los tiempos de consolidación de las osteotomías permite matizar los resultados. Egger (1991b) y Pettine et al. (1993) observaron que cuando una fractura está consolidada y, por tanto, todas las fuerzas de apoyo discurren a través del hueso cicatrizado, la reacción osteolítica alrededor de las agujas se acelera considerablemente mostrando niveles falsamente incrementados (es decir, niveles no derivados del tiempo de implantación de las agujas sino del estado de consolidación de la fractura). A partir de estas consideraciones y si tenemos en cuenta que, en el grupo de angulación, de las nueve extremidades que todavía presentan fijadores externos en el c.p.o. de 60d, los registros de seis extremidades (67%) estaban falsamente incrementados por presentar las osteotomías consolidadas, es justificable por tanto que la media de este grupo se incremente considerablemente y se iguale a la del grupo de flexión en el cual de las 13 extremidades que todavía presentan fijadores, los registros de siete (54%) están falsamente incrementados por haberse consolidado las osteotomías. Estas diferencias son menos perceptibles en el c.p.o. de 45 días porque el número de extremidades en las que se retira el fijador externo es menor (por tanto, menos lecturas falsas que contribuyen al cálculo de la media) y porque cuanto menor sea el tiempo postoperatorio transcurrido, menor será el grado de osteolisis en cualquiera de los dos grupos.

La valoración final de la reacción osteolítica por interfase reflejó también una mayor afectación en el grupo de flexión con respecto al de angulación (v. tabla V.14bis). El incremento más importante fue registrado en la interfase n° 2 (+9,0%) mientras que el menor lo fue en la interfase n° 4 (+3,0%). Si bien la citada tabla muestra una tendencia paralela de los diferentes grados de osteolisis por interfase entre los dos grupos, la valoración de la distribución de la osteolisis total de un grupo entre las cuatro interfases del mismo grupo (v. tabla V.15) permite establecer algunas apreciaciones. En este sentido se observa como las interfases centrales del grupo de flexión son responsables de una mayor parte de la osteolisis total del grupo que las centrales del grupo de angulación. Dicha tónica se invierte en lo referente a las interfases n° 1 y 4 del grupo de angulación, que se hacen cargo de un porcentaje mayor de osteolisis sobre el total con respecto a las mismas interfases del grupo de flexión. Asimismo, la interfase que registró un valor medio de osteolisis más pequeño fue la n° 3 mientras que la más afectada en ambos grupos fue la n° 1, coincidiendo este último dato con los resultados registrados por otros autores (Green, 1981; Fox, 1986; Gumbs et al., 1988; DeCamp et al., 1988; Van Ee, 1992) a excepción de Eghker et al. (1980) que, en un trabajo similar al nuestro, registraron los valores máximos de osteolisis en la interfase n° 2.

El origen de la mayor afectación de la interfase n° 1 cabría atribuirlo a la mayor cobertura muscular de la región tibial proximal (y, por tanto, mayor reacción inflamatoria periaguja), a una menor dureza del hueso metafisario donde debe insertarse la aguja n° 1 y a ser esta aguja la que soporta mayor estrés durante el apoyo de la extremidad (Paul, 1982; Gumbs et al., 1988; DeCamp et al., 1988).

Por último, podríamos destacar que las diferencias más importantes entre los registros de reacción osteolítica se producen principalmente entre distintos animales, mientras que en el mismo animal y a pesar de que los registros de osteolisis correspondientes a la extremidad intervenida con el fijador de tipo flexión son generalmente mayores a los registrados en la extremidad intervenida con el fijador de tipo angulación, existe una evolución claramente paralela entre las valoraciones de ambos grupos. La justificación del citado comportamiento cabría buscarla en la actividad postoperatoria de los individuos intervenidos. De este modo, es lógico suponer que animales con una actividad postoperatoria excesiva presentasen elevados valores absolutos de osteolisis en ambas extremidades y animales moderadamente activos presentasen valores inferiores. En esta situación, las diferencias relativas entre ambas extremidades se deberían al diferente diseño de fijador externo utilizado para la reducción de las osteotomías, dado que la actividad postoperatoria afecta por igual a ambas extremidades.

Por otra parte, el estudio comparativo gamma-radiográfico nos ha permitido evaluar con mayor precisión el aspecto de algunas radiografías que a tenor de los signos radiográficos descritos por Walker et al. (1975), podrían manifestar la presencia de fenómenos osteomielíticos. En este sentido, consideramos que algunos de los signos citados por los autores (reacción perióstica irregular e incremento de la radiodensidad medular) son signos observables frecuentemente en los huesos intervenidos con fijadores externos y no indican la presencia de osteomielitis tal y como pudimos comprobar mediante el estudio gammagráfico de los animales cuyas radiografías presentaban dichos signos. Probablemente, otros signos descritos (líneas radiolúcidas subperiósticas, lisis cortical y, por supuesto, secuestros óseos) conduzcan con mayor exactitud al diagnóstico radiológico de procesos osteomielíticos ya sean focales o generalizados. Por los mismos motivos, discrepamos de la opinión de Kantrowitz et al. (1987), quienes consideran sistemáticamente como osteomielitis toda reacción osteolítica que se produzca en el hueso que rodea a la aguja.

El seguimiento de la **cicatrización de la osteotomía** es el otro gran objetivo de nuestro estudio radiológico. Sin lugar a dudas, una de las mayores dificultades que se le presentan al clínico durante el seguimiento de la cicatrización ósea estriba en decidir cuando una fractura está totalmente "curada". Brand (1979) aclara perfectamente esta duda al definir distintos tipos de curación según lo que persiga el propio clínico. Así, por ejemplo, si lo que

se persigue con la aplicación de fijadores externos es la restauración funcional de la extremidad, entonces la fractura estará "curada" cuando el hueso presente unas características biomecánicas similares a las que presentaba antes de sufrir la fractura. Por el contrario, si nos basamos en criterios histológicos, entonces la fractura estará "curada" cuando la zona ósea fracturada presente una organización y composición tisulares iguales a las existentes antes de la fractura (Brand, 1979). Para completar el panorama, Braden y Brinker (1976) demuestran que un hueso fracturado que presente un callo fibroso con avanzado estado de calcificación presenta la misma resistencia biomecánica que un hueso intacto. Por otra parte, Egger (1991a; 1993) considera clínicamente curada una fractura, y por tanto procedente la retirada del fijador externo, cuando no se aprecie nítidamente la línea de fractura y cuando en dos proyecciones radiológicas a 90°, exista una continuidad ósea en 3 de las 4 corticales. Nuestros criterios de valoración, se han fundamentado en los anteriormente descritos por Braden, Brinker, Brand y Egger, por lo que denominamos "consolidación clínica" a la fase en la que radiológicamente se observaba un callo fibroso completo con un muy avanzado estado de mineralización, la desaparición de la radiotransparencia de la línea de fractura y con una continuidad ósea en tres de las cuatro corticales observadas radiológicamente en dos proyecciones perpendiculares.

Cabe destacar que la totalidad de los animales de ambos grupos (a excepción de los animales que no se incluyeron en la valoración, por presentar periodos de supervivencia de 7, 15 y 30 días) lograron una correcta consolidación clínica de la osteotomía, por tanto no se registraron casos de complicaciones del tipo no unión. A los 75 días de postoperatorio, el 100% de las extremidades del grupo de angulación presentaban consolidadas las osteotomías mientras que en el grupo de flexión, el 100% de la consolidación se consiguió a los 90 días (v. tabla V.18, pág. 222). En el c.p.o. de 60 días se registró el mayor número de consolidaciones en ambos grupos. En ese mismo c.p.o., casi el 80% de las extremidades del grupo de angulación presentaban una consolidación completa de las osteotomías mientras que en el grupo de flexión, el porcentaje de consolidación se aproximaba al 60%, lo que indica que a los dos meses de intervención, había un 20% más de osteotomías consolidadas en el grupo de angulación que en el de flexión. Estas diferencias se muestran todavía más evidentes en el c.p.o. de 45 días, en el que se registra casi un 30% más de osteotomías consolidadas en el grupo de angulación. La evaluación radiológica de los animales con periodos de supervivencia de 90 y 120 días, a los que ya se les había extraído los fijadores externos previamente, manifestaban una correcta cicatrización ósea con signos avanzados de remodelación. Por otra parte, los tiempos medios de consolidación registrados fueron de 57 y 66 días aproximadamente para los grupos de angulación y flexión respectivamente.

La consolidación más rápida de una osteotomía se ha producido en 30 días y en un único animal (animal nº 3, extremidad intervenida con el fijador tipo angulación) lo que

representa aproximadamente el 7% del total de osteotomías del grupo de angulación. Dicho porcentaje representa el único punto coincidente con la estadística publicada por Meynard et al. (1979) a propósito de los tiempos de cicatrización de fracturas tibiales. Si bien el mayor porcentaje de consolidación del citado estudio tiene lugar con anterioridad (entre 30 y 60 días) al registrado por nosotros (c.p.o. de 60 días), también registra un 16% de consolidaciones con tiempos superiores a los 120 días. Sin embargo, el hecho de llevar a cabo el estudio con fracturas clínicas y no con osteotomías experimentales dificulta la comparación entre los resultados de Meynard y los registrados en nuestro estudio. Algo parecido sucede con el trabajo de Boone et al. (1986), donde reflejan como tiempo medio invertido para la consolidación de fracturas tibiales reducidas de forma cerrada mediante fijadores externos un periodo de cuatro semanas tanto en adultos como en jóvenes. No hemos podido observar en nuestro estudio los excelentes resultados publicados por Boone et al. (1986) y no consideramos que la diferencia estribe en el abordaje abierto puesto que al tratarse de osteotomías, la lesión yatrogénica no debe ser muy superior a la presente en fracturas reducidas de forma cerrada. Por el contrario, nuestros resultados se acercan más a los registrados por Gumbs et al. (1985) y Johnson et al. (1989) que reflejan unos tiempos medios de consolidación de 8 y 10 semanas respectivamente.

De todo ello se puede deducir que si bien ambos sistemas de fijadores externos posibilitan la consolidación clínica de la fractura, resulta estadísticamente significativo ($p=0,003$) que las osteotomías del grupo de angulación consolidan una media de 9 días antes que las del grupo de flexión. La extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población (I.C. 95%) refleja que entre un 21% y un 64% de los animales consolidarán antes con el sistema de angulación que con el de flexión, resultados que difieren de los obtenidos por Font (1991) en un estudio similar.

La cuantificación del **desplazamiento interfragmentario** entre los fragmentos fracturados fue un parámetro difícil de evaluar y sobre el que influían multitud de factores, entre los que destacaríamos la naturaleza de la osteotomía y la actividad postoperatoria de los animales.

La fractura yatrogénica obtenida cuando se practica una osteotomía transversa mediante una sierra oscilante puede ser considerada como una fractura poco estable dado que las características morfológicas de los márgenes de fractura (sin presencia de irregularidades ni salientes en la línea de fractura) no colaboran en absoluto en la estabilidad del foco de fractura, la cual debe correr a cargo totalmente del sistema de reducción empleado. Asimismo, no en todas las intervenciones pudo llevarse a cabo una osteotomía orientada exactamente a 90° con respecto del eje óseo mayor. En la mayor parte de las intervenciones se consiguió una orientación totalmente transversa de la osteotomía, observándose como, en

este caso, la estabilidad inicial de la osteotomía en el grupo de flexión se veía favorecida puesto que la compresión interfragmentaria generada por el fijador externo sobre los dos márgenes de la fractura perfectamente enfrentados proporcionaba unos mejores resultados de alineación y por tanto un mínimo desplazamiento interfragmentario. Por el contrario, cuando la línea de osteotomía practicada resultaba ser ligeramente oblicua, la misma compresión interfragmentaria generada por el fijador de tipo flexión y beneficiosa en el anterior caso para el grupo de flexión, se tornaba perjudicial al facilitar sensiblemente el deslizamiento de un fragmento sobre el otro, incrementando el grado de desplazamiento interfragmentario. En la clínica habitual, las anteriores diferencias no se presentan dado que las fracturas transversas con márgenes de superficie lisa prácticamente nunca se producen, siendo comparables únicamente cuando se llevan a cabo osteotomías correctivas, p. ej., para alteraciones en el crecimiento.

Otro factor importante ha resultado ser la actividad postoperatoria del paciente así como pequeños traumatismos puntuales sobre alguna extremidad. Evidentemente, cuando mayor actividad presente un animal intervenido con fijadores externos en el periodo postoperatorio mayor será el riesgo de alteración en la correcta alineación de los fragmentos fracturados, entendiéndose por actividad excesiva todo lo que suponga una carga sobre la extremidad superior a la generada por el simple apoyo durante una deambulación tranquila y sobre un terreno firme y plano.

Una vez planteadas las anteriores consideraciones y a pesar de que el desplazamiento interfragmentario medio registrado en el grupo de angulación ha sido mayor al de flexión, las medias obtenidas no muestran diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados difieren de los obtenidos por Font (1991) en un estudio parecido aunque la naturaleza oblicua de las osteotomías practicadas por este autor dificulta una adecuada comparación de los resultados entre ambos trabajos.

Por otra parte y si tenemos en cuenta que el **tamaño del callo de fractura** está directamente relacionado con la estabilidad interfragmentaria, la mayor rigidez que teóricamente proporciona el fijador tipo flexión debida a la compresión entre los fragmentos fracturados tendría que reflejarse en un tamaño del callo de fractura más reducido (Braden y Brinker, 1976; Lawyer y Lubbers, 1980; Egger, 1991b; Palmer et al., 1992). El motivo por el cual los valores medios del tamaño del callo en nuestro estudio no reflejan diferencias significativas se justificaría por los mismos motivos descritos anteriormente y relacionados con los fenómenos que acontecen en las interfases aguja-hueso. En este sentido, la compresión interfragmentaria generada por la flexión de las agujas proporciona, durante el postoperatorio más o menos inmediato, un microambiente de mayor rigidez en el foco de fractura, sin embargo, dicha rigidez va desapareciendo a medida que transcurre el tiempo tras

la intervención y va aumentando la reacción osteolítica en las diferentes interfases. Por lo tanto, la reducción interfragmentaria será cada vez menos rígida y si tenemos en cuenta que la reacción osteolítica del grupo de flexión es significativamente mayor a la del grupo de angulación, probablemente también la reducción interfragmentaria sea más inestable en ese grupo y en controles postoperatorios avanzados. Esta explicación no sólo justificaría la falta de diferencias entre los tamaños de los callos de fractura sino que también podría repercutir en el retraso de la consolidación fracturaria observado en el grupo de flexión.

Por último, la **reacción perióstica** que se produce en las interfases aguja-hueso es un fenómeno observable habitualmente en los huesos intervenidos con fijadores externos. Johnson et al. (1989) detectaron dicha reacción perióstica en 27 de 28 fracturas de radio y tibia intervenidas quirúrgicamente con fijadores externos. En nuestro estudio, todas las extremidades exploradas radiológicamente a partir de los 30 días mostraban alguna interfase con presencia de reacción perióstica y aunque la interfase más afectada solía ser la n° 1, no pudieron detectarse diferencias entre los valores registrados en ambos grupos (angulación y flexión), coincidiendo con los resultados de estudios similares al nuestro (Font, 1991).

Finalmente, del estudio radiológico podemos concluir que, por una parte, el tiempo invertido para la consolidación de las osteotomías del grupo de angulación es significativamente menor al del grupo de flexión y, por otra parte, el grado de osteolisis en el grupo de flexión es significativamente mayor al de angulación, debido, probablemente, a la presencia añadida de estrés estático en las interfases de flexión (Pettine et al., 1993) y a una mayor superficie de contacto hueso-aguja en las interfases de angulación (Gumbs et al., 1988). La correlación de los anteriores resultados podría orientarse en los terminos descritos a continuación. Cuanto mayor sea la reacción osteolítica y por tanto la reabsorción ósea, más se comprometerá el anclaje de la aguja en el hueso al producirse un orificio de diámetro superior al de la aguja, lo que conducirá irremediamente al aflojamiento de la misma. Como consecuencia de tal situación, la tensión que soportaba esa aguja se reparte entre las restantes interfases aguja-hueso, precipitando en ellas la consiguiente reabsorción ósea. Cuando esto sucede, el fijador externo deja de estabilizar convenientemente los fragmentos óseos comprometiendo, según la fase en la que se encuentre, la correcta evolución de la cicatrización ósea (Brand, 1979; Green, 1981; Edwards, 1982; Mears y Behrens, 1983; Egger, 1991a). Por tanto, si el grado de osteolisis en el fijador de tipo flexión es significativamente mayor que en el de angulación, el incremento de la desestabilización interfragmentaria que se produciría podría ser la causa (además de las diferencias en la respuesta vascular descritas en el apartado correspondiente a "Resultados microangiográficos, pág. 254) del retraso en el proceso de cicatrización de las osteotomías del grupo de flexión, tal y como se ha constatado estadísticamente en la valoración radiológica de la consolidación fracturaria (pág. 222).

VI.3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS GAMMAGRAFICOS

Si el estudio radiológico proporciona básicamente una información estructural del proceso de cicatrización fracturaria, mediante la exploración gammagráfica es posible obtener una información de carácter más funcional. La distribución del radiofármaco a través de la red vascular y la especial afinidad del trazador hacia el tejido óseo, especialmente el de neoformación, permiten no sólo evaluar el grado de perfusión de los tejidos comprometidos en el proceso de cicatrización ósea y la repermeabilización vascular a través de la zona osteotomizada sino también constatar la correcta evolución de la consolidación de la fractura o detectar la presencia de procesos que la interfieran en función de la distribución del tejido óseo neoformado en la zona osteotomizada. Si bien es cierto que la detección de complicaciones en el proceso de cicatrización de las fracturas puede llevarse a cabo radiológicamente, el interés del estudio gammagráfico estriba en la precocidad de su diagnóstico, puesto que la detección gammagráfica de dichas complicaciones es posible cuando en la imagen radiográfica todavía no existen signos radiográficos que nos indiquen su presencia.

Cuando el objetivo del estudio se centra en evaluar el comportamiento gammagráfico del proceso de cicatrización fracturaria, la realización de la exploración gammagráfica en la fase I (distribución del fármaco por la red vascular y tisular) tiene un interés indirecto, prueba de ello es la omisión de dicha exploración en los trabajos publicados sobre este tema (Muheim, 1973; Johannsen, 1973; Gumerman, et al., 1978, Oni et al., 1989; Gunalp et al., 1992). Evidentemente, únicamente en aquellos trabajos en los que se pretendía llevar a cabo un estudio del flujo sanguíneo a través de la zona osteotomizada (Khan et al., 1978; Hughes et al., 1978; Lavender et al., 1979; Charkes, 1980; Aro et al., 1988; 1990) la realización de la exploración en la fase I resultaba imprescindible. Sin embargo, la posibilidad de poder, por una parte, descartar lesiones vasculares importantes en la región de estudio y, por otra, relacionar focos de hipercaptación presentes en esta fase con reacciones inflamatorias de los tejidos blandos especialmente en el caso de osteomielitis incipientes justificaba sobradamente la inclusión de la fase I en nuestro protocolo de exploración gammagráfica.

Mattar y Siegel (1979) y Lamb (1987) describieron las características gammagráficas necesarias para el diagnóstico de osteomielitis mediante la evaluación comparativa entre las imágenes gammagráficas de la fase I con respecto a las de la fase II (fase ósea) y utilizando como radiofármacos los compuestos fosfatados del ^{99m}Tc . Dichos autores observaron que cuando únicamente existe una reacción inflamatoria-infecciosa de los tejidos blandos, las imágenes de la fase I muestran una hipercaptación difusa sobre los tejidos blandos afectados mientras que en la fase II únicamente se observa si acaso, un leve incremento de captación en las zonas óseas en contacto con los tejidos blandos afectados. Por el contrario, en

presencia de una osteomielitis plenamente instaurada, tanto las imágenes de la fase I como las de la fase II muestran unos focos de hipercaptación bien delimitados y muy activos. Por lo tanto, y a pesar de que el desarrollo de otros radiofármacos a base de ^{67}Ga (Mattar y Seigel, 1979; Hughes, 1980), leucocitos marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Moragas et al., 1991; Schelstraete et al., 1992; Copping et al., 1992) y de ^{111}In (Hughes, 1980; Hoskinson et al., 1991; Schelstraete et al., 1992) han incrementado de forma considerable la especificidad de las técnicas gammagráficas para la detección de procesos osteomielíticos, la utilización del $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP aplicado al estudio de la cicatrización ósea puede aportarnos suficiente información para el diagnóstico prematuro de osteomielitis.

En lo referente a nuestro estudio y a los resultados obtenidos en la **valoración gammagráfica de la fase I**, la no presencia de focos de hipercaptación destacables a nivel de la zona intervenida quirúrgicamente en ninguna de las exploraciones gammagráficas de la citada fase permite asegurar, según las premisas descritas anteriormente, la inexistencia de procesos inflamatorio-infecciosos de los tejidos blandos ni de focos osteomielíticos, lo que evidentemente interferiría no sólo en la interpretación de la imagen gammagráfica ósea sino también en el proceso de cicatrización de la propia osteotomía. Sin embargo, los focos débiles de hipercaptación observados en algunas imágenes gammagráficas y localizados en la zona que correspondería a la interfase aguja-piel demostraban la presencia de una reacción inflamatoria de los tejidos blandos circundantes (fig. IV.10B; pág. 182). La falta de referencias bibliográficas referentes al seguimiento de la cicatrización ósea mediante técnicas gammagráficas (fase I y fase II) en el caso de fracturas reducidas con fijadores externos dificulta la contrastación de las observaciones citadas anteriormente con las de otros autores. En nuestra opinión y basándonos en la escasa actividad de los patrones gammagráficos obtenidos en las interfases aguja-piel en comparación con los patrones propios de procesos osteomielíticos descritos por otros autores (Mattar y Siegel, 1979) así como en los datos obtenidos de las mismas interfases en las exploraciones clínicas y radiológicas, consideramos que el patrón gammagráfico obtenido podría atribuirse a la reacción inflamatoria propia de los tejidos blandos como respuesta a la presencia de un cuerpo extraño (la aguja transfixiante), al movimiento relativo entre las masas musculares y la aguja y por último, a la carga contaminante (que no infectante) característica de las interfases aguja-piel y descrita ampliamente por Green (1981), descartando, por tanto, la presencia de reacciones osteomielíticas.

Asimismo, la captación gammagráfica en la fase I ligeramente superior en el c.p.o. de 7 días con respecto a los sucesivos controles es perfectamente atribuible a la fase final de la respuesta inflamatoria que se produce inmediatamente después de la fractura y del abordaje quirúrgico. Por este motivo, la primera exploración gammagráfica no debe realizarse antes de una semana para evitar la interferencia de dicha reacción inflamatoria con la relacionada

propriadamente con el proceso de consolidación de la fractura (Mattar y Siegel, 1979; Wallace, 1992). Por otra parte, si el método quirúrgico tanto en lo concerniente a la técnica operatoria como a las medidas de asepsia ha sido el mismo para los grupos de angulación y de flexión, resulta por tanto evidente la similitud de los resultados obtenidos en las exploraciones gammagráficas de la fase I en ambos grupos.

Aunque Wallace et al. (1992) consideran que la realización de exploraciones gammagráficas en la fase I es válida para establecer estudios de flujo vascular en el hueso fracturado así como para detectar, tal y como hemos visto, la presencia de reacciones inflamatorias u osteomielíticas, la realización de valoraciones cuantitativas en esta fase como método para constatar la correcta evolución de la consolidación fracturaria no presenta excesiva fiabilidad. Por ello, resulta todavía necesaria la exploración **gammagráfica tardía (fase II)** para obtener resultados de mayor significación. La imagen gammagráfica que se observa en la fase II corresponde al radiofármaco acumulado en el tejido óseo por acción del radiotrazador, puesto que al cabo de las dos horas de inoculación, el restante radiofármaco ya ha sido eliminado de los tejidos blandos y excretado vía renal. Hughes (1977) determinó que el trayecto que sigue el radiofármaco ($^{99m}\text{Tc-MDP}$) hasta abordar el tejido óseo comprende una rápida salida del espacio vascular hacia el espacio perivascular, de él hacia el fluido óseo extracelular para finalmente alcanzar y acumularse en la superficie de los cristales de hidroxapatita.

Tres son los factores que intervienen en la cantidad de radiofármaco acumulado y detectado gammagráficamente: la perfusión vascular local de la zona explorada, la cantidad de tejido óseo neoformado y el tiempo transcurrido entre la administración del radiofármaco y el momento de la exploración (Hughes, 1980). Si establecemos un tiempo fijo entre la inoculación y la exploración, las dos únicas variables presentes serán la vascularización local y la neoformación ósea.

La mayoría de autores coinciden en afirmar que si el radiofármaco tiene que llegar hasta la región ósea osteotomizada vía sanguínea, cuanto mayor sea la densidad vascular local, mayor será la superficie ósea a la que tendrá acceso el radiofármaco (Hughes et al., 1977; Khan et al., 1978, Mattar y Siegel, 1979). Por lo tanto, una primera interpretación de la imagen gammagráfica proporciona una valoración del estatus vascular de la zona explorada. Cuando en 1975, Paradis y Kelly demostraron que después de fracturarse un hueso largo, el aporte vascular local se incrementa considerablemente hasta presentar un máximo a los 10 días de producirse la fractura equivalente a cuatro veces el flujo fisiológico, se consideraba que la captación gammagráfica seguiría una proporción semejante. Sin embargo, Lavender et al. (1979) demostraron la inexistencia de la citada proporcionalidad al observar que durante las dos semanas siguientes a la fractura, los niveles de captación

gammagráfica se mantenían estabilizadamente elevados. Lavender et al. (1979) llevaron a cabo un estudio comparativo entre los perfiles de flujo vascular y los de captación gammagráfica observando cómo incrementos relativamente pequeños del flujo vascular iban acompañados de importantes incrementos en la captación gammagráfica, fenómeno que se hacía más evidente en los huesos fracturados que en los utilizados como patrón. Asimismo, Sagar et al. (1978, en Lavener et al., 1979) demostraron que incrementando artificialmente el flujo vascular de un hueso normal hasta cinco veces, la captación gammagráfica respondía con un modesto incremento (70%). La citada desproporcionalidad puede ser atribuida a cambios vasculares no sólo cuantitativos sino también cualitativos tales como alteraciones en la permeabilidad de los vasos neoformados (Lavender et al., 1979) o a la reactivación de capilares inactivos en condiciones normales (Rhineland, 1968; Hughes et al., 1978) y principalmente a las características estructurales del tejido óseo en proceso de neoformación (cristales de hidroxapatita más pequeños pero de mayor superficie de intercambio)(Lavender et al., 1979). Por lo tanto, la segunda lectura que puede llevar a cabo de la imagen gammagráfica en la fase II se relaciona con la cantidad de hueso neoformado.

A tenor de lo descrito anteriormente, la **valoración visual** de las imágenes gammagráficas de nuestro estudio reflejan, en el c.p.o. de 7 días, una respuesta vascular evidente y presente en ambos grupos. Sin embargo, la mayor amplitud de la zona de captación gammagráfica y especialmente el carácter más activo de los dobles focos de hipercaptación en el grupo de angulación con respecto a los del grupo de flexión permiten adelantar un mayor aporte vascular en el primer grupo (Fig. V.8; pág., 250). Consideramos la citada hipercaptación de origen vascular puesto que a la semana de intervención, el incremento de la captación gammagráfica por fenómenos de neovascularización prima sobre los de neoformación ósea (Paradis y Kelly, 1975). Asimismo, el hecho de que en dos imágenes del grupo de angulación (5A y 7A) el doble foco de hipercaptación característico se presente como un único foco procedente de la fusión de los anteriores nos sugiere la posible restitución de la vascularización a través de la zona osteotomizada basándonos en los estudios microangiográficos realizados por Rhineland (1965, 1968, 1974a) en los que constataba que la revascularización centromedular se inicia ya a las 48 horas de producirse la fractura y puede completarse a los 7 días. Por otra parte, la pobre captación gammagráfica observada en la imagen 8A no la atribuimos a una lesión vascular quirúrgica distinta a la centromedular puesto que la imagen del mismo animal correspondiente al grupo de flexión (8F) presenta también una baja captación gammagráfica (Fig. V.14, pág. 253).

Hughes et al. (1978) demostraron que a los 10 días de llevar a cabo una osteotomía tibial en perros, la captación gammagráfica (utilizando $^{99m}\text{Tc-MDP}$) llegaba a ser cuatro veces superior a la captación normal. Dicho comportamiento no sólo se debería al incremento en la neovascularización de la zona fracturada, tal y como habían demostrado previamente

otros autores (Rhineland, 1968; Paradis y Kelly, 1975) sino también al inicio de la neoformación de un tejido óseo todavía inmaduro y evidentemente no perceptible radiológicamente. Nosotros pudimos constatar, en el c.p.o. de 15 días, la presencia de este tejido óseo, que definimos como trabéculas de tejido condroide, en los estudios de microscopía electrónica de retrodispersión (v. "Discusión de los resultados microrradiográficos y de microscopía de retrodispersión", pág 337). Las citadas apreciaciones nos permiten describir con mayor precisión las imágenes gammagráficas obtenidas en el c.p.o. de 15 días. Así consideramos que en aquellos casos en los que se había consolidado la fusión de los dos focos de hipercaptación (y por tanto, la recanalización vascular a través de la osteotomía), los núcleos más activos a ambos lados de la línea de osteotomía corresponderían a la mayor densidad vascular perifracturaria así como al depósito inicial de tejido óseo neoformado. La citada situación se repetía con mayor frecuencia en el grupo de angulación considerando como una situación más evolucionada la observada en algunas imágenes (5A y 15A) en las que se había producido incluso la fusión de los citados núcleos calientes y la imagen gammagráfica mostraba un foco de hipercaptación muy activo centrado exactamente sobre la zona osteotomizada y un amplio halo a su alrededor ligeramente menos activo (Fig. V.8, pág. 250). Consideramos como interpretación del anterior patrón que el foco central correspondería a la solapación de la captación vascular junto con la de una incipiente pero intensa neoformación ósea mientras que el halo periférico podría deberse predominantemente a la reacción hiperémica peri-osteotomía. La tendencia hacia la lenta normalización de las imágenes gammagráficas 8A y 8F con un cierto retraso más evidente en la 8F (Fig. V.14, pág. 253), apuntaba la idea, posteriormente reafirmada con la valoración global de los resultados, que las diferencias más grandes observadas en nuestro estudio tienen lugar entre distintos animales, mientras que en un mismo animal, las diferencias existen pero con menor evidencia.

El incremento progresivo de captación gammagráfica observado en los sucesivos controles postoperatorios indica un aumento destacable en el depósito de hueso neoformado puesto que debemos de suponer una influencia cada vez menos importante del componente vascular en la captación total a medida que progresa el periodo postoperatorio, aunque evidentemente ello dependerá de las condiciones microambientales del foco de fractura y como consecuencia de las dimensiones del callo óseo. La mayor amplitud y energía mostrada por los focos calientes de las imágenes del grupo de angulación con respecto a las mostradas por el grupo de flexión permiten apuntar que la mayor neoformación ósea se traduce en la formación de un callo de fractura más evolucionado en el grupo de angulación, y no sólo en lo referente a cantidad, sino también a la calidad del tejido óseo neoformado ya que, según los trabajos de Lavender et al. (1979), a mayor cantidad de tejido óseo neoformado, mayor cantidad de cristales de hidroxiapatita y por tanto, mayor captación de radiofármaco.

La progresión de las imágenes gammagráficas del animal nº 6 presentaba unas características claramente diferenciadas del resto de animales. Entre las citadas diferencias destacaríamos el carácter más activo del foco de hipercaptación principal en la extremidad intervenida con el fijador de tipo flexión especialmente en los tres primeros controles postoperatorios (7, 15 y 21 días) y en una disposición irregular y descentrada de varios focos de hipercaptación especialmente en las imágenes 6A de 30 y 60 días (fig. V.9, pág. 250 y V.10B, pág. 251). La explicación gammagráfica de las características diferenciales descritas, aunque sería necesario apoyarla sobre datos clínicos, radiológicos e histológicos, estaría relacionada probablemente con unas condiciones biomecánicas inadecuadas. En este sentido, suponemos que si el método quirúrgico utilizado en este animal ha sido común para las intervenciones de los restantes animales y no se ha producido una lesión vascular yatrogénica, no deben existir diferencias vasculares iniciales con respecto al resto de animales ni entre las dos extremidades del mismo animal. Por ello, el hecho de que la imagen 6A presentase menor hipercaptación que la 6F se debería a una menor respuesta de revascularización a partir de unas condiciones vasculares iniciales teóricamente semejantes y suficientes. Posiblemente, la presencia de una estabilidad interfragmentaria insuficiente sea la causa del citado retraso no sólo en la revascularización de la región osteotomizada sino también en la del proceso global de cicatrización ósea, tal y como podría deducirse de unos patrones anormales de distribución gammagráfica en los que destaca la persistencia de los dos focos de hipercaptación parcialmente fusionados y axialmente desalineados que correspondería a la formación de un callo perióstico incompleto con desplazamiento interfragmentario. La falta de uniformidad en la distribución gammagráfica, especialmente en el caso del animal 6A se evidencia más en los controles de 30 y 60 días, aunque en este último, se manifiesta ya una mayor normalización, posiblemente debida a la corrección de la inestabilidad por acción del propio callo formado en el que progresivamente se va sustituyendo tejido no calcificado (probablemente cartilago) por tejido ya calcificado (Fig. V.10B, pág. 251). La impresión obtenida con el estudio de las imágenes gammagráficas queda confirmada con los datos obtenidos en el estudio clínico y radiológico, motivo por el cual se discutirán conjuntamente en el apartado "Discusión general" (pág. 344).

Ya sea por no estar presentes o bien por omitir su descripción, ninguno de los trabajos revisados en los que se llevaban a cabo estudios gammagráficos de fracturas reducidas con fijadores externos (Aro et al., 1990; Wallace et al., 1992) hacía referencia a lo que nosotros denominamos focos secundarios de hipercaptación. Por este motivo, carecemos de criterios comparativos para elaborar nuestra discusión acerca de los citados focos secundarios aunque gracias a la evaluación comparativa de las imágenes radiológicas y gammagráficas podemos afirmar que dichos focos de hipercaptación corresponden a la reacción perióstica que se forma en la interfase aguja-hueso. La localización mayoritaria de dichos focos secundarios suele ser la subepifisaria tibial proximal (coincidiendo con la

interfase aguja-hueso n° 1)(Fig. V.8, pág. 250) aunque a medida que transcurre el periodo postoperatorio y en algunos animales, aparecen focos secundarios a nivel subepifisario tibial distal (coincidiendo con la interfase aguja-hueso n° 4) (Fig. V.10, pág. 251). Aunque es de suponer que las interfases n° 2 y 3 deben de presentar una cierta reacción perióstica, el efecto de hipercaptación gammagráfica que generan se confunde con el del foco de hipercaptación principal procedente de la propia consolidación fracturaria. Es importante destacar que en nuestro estudio, la manifestación gammagráfica de los focos secundarios de hipercaptación se anticipa alrededor de dos semanas a la correspondiente manifestación radiológica de la reacción perióstica periaguja, coincidiendo con los resultados observados por Mattar y Siegel (1979) y cercanos a los de Stevenson et al., 1974 (en Gumerman, et al., 1978) evaluando la viabilidad de injertos óseos.

Los focos de hipercaptación secundarios que se podían adivinar en la región subepifisaria proximal de la tibia durante la exploración gammagráfica de la fase II no podían corresponder a la reacción inflamatoria de los tejidos blandos en la interfase aguja-piel n° 1 (a pesar de su existencia constatada clínicamente) puesto que al tratarse de tejidos no óseos, no se evidenciarían en la fase ósea de la exploración.

Asimismo, en algunos casos la reactivación perióstica diafisaria podría ser tan intensa, extendiéndose hasta zonas relativamente alejadas del foco de fractura, que explicaría la fusión sucesiva de focos secundarios de hipercaptación con el foco principal (Fig. V.9, c.p.o. 30d, extr. angulación; pág., 250).

Por último, la no presencia de hipercaptación gammagráfica destacable en la exploración gammagráfica de la fase I junto con los datos registrados en la exploración clínica y radiológica, permiten descartar el origen osteomielítico tanto de los focos de hipercaptación secundarios como de los principales que manifiesten una amplia zona de actividad.

Tal y como hemos visto, la interpretación visual de las imágenes gammagráficas permite obtener una idea más o menos precisa referente a la evolución del proceso de consolidación de la fractura, sin embargo, dicha interpretación está basada en apreciaciones individuales cualitativas. Por ello, la intención de llevar a cabo una **valoración cuantitativa** de la captación gammagráfica del foco de fractura ha sido el objetivo de muchos investigadores para disponer de un método totalmente objetivable. Después de los primeros intentos fallidos por parte de Green et al. (1971; en Gumerman et al., 1978) y Johansen (1973) para desarrollar un método matemático que permitiese constatar la correcta evolución de la cicatrización fracturaria o pronosticar la presentación de uniones retardadas o no uniones, Muheim (1973) logró dicho propósito al definir el índice de captación gammagráfica

dividiendo la cantidad de captación gammagráfica de la zona fracturada entre la de la extremidad contralateral inicialmente sana. Estudios posteriores (Oni et al., 1989) describen los citados índices aunque relacionando la zona de fractura con respecto a una zona cercana aparentemente sana del mismo hueso, método utilizado para confeccionar los índices de captación gammagráfica (I.C.G.) de nuestro estudio.

La evolución de los **índices de captación gammagráfica** registrados en nuestro estudio (tabla V.28, pág. 242) sigue, como era de esperar, la misma tendencia observada en la valoración visual de las imágenes gammagráficas. En este sentido, la totalidad de los valores van incrementándose a medida que transcurre el periodo postoperatorio hasta el c.p.o. de 30 días, a partir del cual decrecen ligeramente hasta el c.p.o. de 60 días. La fase creciente es debida tanto al aumento de la vascularización local como al evidente incremento en la neoformación ósea alrededor del foco osteotomizado durante el primer mes de postoperatorio (Johansen, 1973; Hughes, 1980). Sin embargo, la elaboración de tejido óseo debería continuar hasta como mínimo los 60 días (recordemos que el tiempo medio de consolidación radiográfica de las osteotomías rondaba los 2 meses) por lo tanto, resulta relativamente discordante el descenso en la curva de captación en ese periodo. Aunque un tamaño de muestra superior al utilizado para el c.p.o. de 60 días (4 índices de captación) permitiría obtener valoraciones de mayor precisión, podríamos justificar la disminución de la captación gammagráfica basándonos en criterios vasculares y tisulares. En condiciones normales, la activa respuesta vascular presente en las fases iniciales de la cicatrización ósea va decreciendo a medida que se completa la formación del callo óseo de fractura. De esta manera, cuando el callo óseo se encuentra en un estadio suficientemente evolucionado, las necesidades vasculares durante el proceso de remodelación ósea van decreciendo hasta tender a la densidad vascular presente en el hueso antes de fracturarse, traduciéndose en una menor captación gammagráfica. Por otra parte, la progresiva madurez del tejido óseo neoformado justificaría también el descenso en la captación gammagráfica. En este sentido Galasko (1975) y posteriormente Spitz et al. (1993) demostraron que el hueso fibrorreticular presenta mayor poder de captación que el hueso laminar y éste, a su vez, que el hueso compacto ordenado osteonalmente, siendo la citada progresión tisular la presente en las fases más avanzadas de cicatrización ósea. Lavender et al. (1979) atribuyeron la citada diferencia de captación a distintos cambios que experimenta la matriz ósea tales como el progresivo aumento del tamaño de los cristales de hidroxapatita (aunque menor afinidad por el radiofármaco) a medida que madura el tejido óseo.

A tenor de lo descrito anteriormente y teniendo en cuenta que los índices de captación gammagráfica del grupo de angulación son mayores a los registrados en el grupo de flexión con unas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$; pág.242) podríamos considerar que en aquel grupo, el grado tanto de revascularización a través de la línea de

osteotomía así como de neoformación ósea es mayor, ya que dichos factores determinan la cantidad de captación gammagráfica registrada (Muheim, 1973; Hughes et al., 1978; Gumerman et al., 1978; Wallace et al., 1992).

El hecho de que en el c.p.o. de 7 días el componente vascular sea el máximo responsable de la captación gammagráfica registrada (Lavender et al., 1979) (en fases tan prematuras no existe una neoformación ósea destacable) nos permite asegurar de forma matemática que en el grupo de angulación se produce una respuesta vascular en la zona osteotomizada claramente superior a la observada en el grupo de flexión. Los índices de captación registrados en los siguientes controles siguen siendo superiores en el grupo de angulación aunque la influencia de origen vascular sobre la captación total vaya decreciendo en favor de la producida por la neoformación ósea. En este sentido, la correlación de diferencias a lo largo del periodo postoperatorio debemos considerarla normal puesto que evidentemente, los mecanismos de osteogénesis dependen fundamentalmente de las condiciones vasculares locales. Por otra parte, el hecho de que una vez restituida la vascularización en la zona osteotomizada del grupo de flexión (deducida por la fusión de los dos focos de hipercaptación principales) sigan persistiendo importantes diferencias a favor de los índices de captación del grupo de angulación, nos plantea la posibilidad de que el grado de neoformación ósea se vea afectado, en nuestro caso, por otros factores además de la condición vascular inicial. Probablemente, la citada diferencia pueda justificarse por las distintas condiciones biomecánicas aportadas por los dos diseños de fijador externo.

A pesar de que las condiciones biomecánicas no puedan evaluarse gammagráficamente, a partir de nuestro estudio gammagráfico podemos afirmar que la respuesta vascular y la neoformación ósea son claramente superiores en el grupo de angulación y como es sabido, cuanto mejores sean las condiciones vasculares y mayor sea la rapidez y cantidad de neoformación ósea mayor será, en principio, la velocidad de consolidación de la fractura (Goodship y Kenwright, 1985; Aro et al., 1989; Palmer et al., 1992), especialmente cuando el método utilizado para reducir la fractura (fijación externa) es un método que proporciona estabilidad pero no excesiva rigidez (Green, 1981; Edwards, 1982; Aron y Toombs, 1984; Egger, 1991a).

Los trabajos de Wallace et al. (1992) acerca de la captación gammagráfica comparativa entre personas con fracturas tibiales tratadas con distintos sistemas de reducción (escayolados, fijadores externos y clavos centromedulares) reflejan unos resultados coincidentes con los obtenidos en nuestro estudio. En este sentido, la captación gammagráfica del grupo de fijadores externos resultó ser muy superior a la del grupo de extremidades tratadas conservativamente y éste a su vez al del grupo tratado mediante enclavamiento centromedular. Wallace et al. (1992) justifican sus resultados argumentando que el fijador

externo permite una más rápida respuesta vascular y osteogénica debido probablemente a que proporciona unas óptimas condiciones de estabilidad, mientras que la estabilización mediante escayolado, a pesar de partir con unas condiciones vasculares similares a las del fijador externo, la respuesta de neovascularización se ve frenada por el mayor grado de inestabilidad que afectará igualmente a la diferenciación tisular del callo de fractura. Por último, el hecho de que la reducción mediante un clavo centromedular genere la menor captación gammagráfica es justificada por la destrucción yatrogénica de la circulación intramedular y posteriormente por unas condiciones de estabilidad inferiores a las proporcionadas con el fijador externo. De esta manera, Wallace et al. (1992) aportan un nuevo factor a tener en cuenta en la valoración cuantitativa de las gammagrafías, la estabilidad interfragmentaria. Por ello, la máxima rigidez interfragmentaria presente en fracturas reducidas mediante placas de osteosíntesis permite la cicatrización con contacto y por tanto, una lenta y reducida presencia de tejido óseo neoformado, mostrando unos patrones de captación gammagráfica muy poco activos (Muheim, 1973).

Entre la bibliografía revisada, únicamente se ha podido localizar un trabajo en el que se llevase a cabo una valoración gammagráfica comparativa entre osteotomías reducidas mediante fijadores externos y no como en el trabajo de Wallace et al. (1992) en el que las condiciones microambientales que proporcionaban los tres sistemas de reducción eran claramente diferentes. En 1990, Aro et al. realizaron, entre otros estudios, cuantificaciones gammagráficas, en osteotomías tibiales en perros, reducidas mediante fijadores externos, no observándose contajes diferentes entre la extremidad sometida a neutralización y la sometida a dinamización. La no coincidencia entre nuestros resultados y los descritos por Aro et al. (1990), podría justificarse en el método experimental utilizado. En este sentido, los citados autores priorizan la valoración de la fase I a la de la fase II, la cual además se realizaba a los 45 minutos de la inyección y no a partir de las dos horas cuando las imágenes reflejan más fielmente la captación gammagráfica ósea (Mattar y Siegel, 1979). Otro motivo por el cual no se reflejan diferencias entre los dos grupos puede relacionarse con el hecho de que únicamente se llevan a cabo dos exploraciones gammagráficas, la primera a los 15 días de la osteotomía, cuando todavía no se ha dinamizado un fijador externo y por tanto las condiciones entre ambas extremidades son idénticas y otra a los 90 días, cuando todas las osteotomías de los animales experimentales no sólo ya estaban consolidadas sino que los callos formados debían encontrarse en plena fase de remodelación. Según nuestra opinión, el método gammagráfico utilizado por Aro et al. (1990) no es el idóneo para permitir la detección de distintos índices de captación entre los grupos, probablemente presentes dada la constatación, por los mismos autores y mediante otros estudios, de tendencias distintas en el proceso de cicatrización de las osteotomías.

En los últimos años, se han llevado a cabo muchos intentos (Muheim, 1973;

Johansen, 1973; Smith et al., 1987; Oni et al., 1989; Wallace et al., 1992) para establecer el valor de los índices de captación gammagráfica precisos que permitan pronosticar con total seguridad y de forma prerradiológica si una fractura se consolidará fácilmente, sufrirá algún proceso de retraso en su cicatrización o desembocará en una no unión. La totalidad de los autores reseñados anteriormente están de acuerdo en afirmar que cuanto mayor sea el índice de captación gammagráfico más probabilidades existen de que la fractura evolucione favorablemente. Sin embargo, la mayoría no determinaban cuál es el valor mínimo por debajo del cual pueden esperarse complicaciones en el proceso de cicatrización. Oni et al. (1989), después de evaluar gammagráficamente (fase II, 6 semanas postop.) 50 fracturas diafisarias de tibia en personas establecieron que la obtención de un índice de captación gammagráfico (zona de fractura versus zona inalterada adyacente) superior a 2 indicaba la existencia de un potencial de cicatrización suficiente como para que se pueda producir normalmente la cicatrización de la fractura. En la misma línea, los trabajos de Smith et al. (1987) a partir de determinaciones de la fase I a las 2 semanas de postoperatorio, demostraban que un índice de captación gammagráfica inferior a 1.3 permitía pronosticar con una especificidad del 90% y una sensibilidad del 70 % el desarrollo de una no unión en la tibia.

Los índices de captación registrados en nuestro estudio (v. "índices de captación relativos"; tabla V.29, pág. 244) registran el valor mínimo en el c.p.o. de 7 días, siendo de 2,8 y 2,2 para los grupos de angulación y flexión respectivamente, mostrándose mucho más elevados en posteriores controles. La evidencia de que todos los índices de captación gammagráfica registrados se mantengan siempre por encima de las cifras presentadas por Smith et al. (1987) y Oni et al. (1989) concuerda con el hecho de que ningún animal de ninguno de los dos grupos ha desarrollado una no unión de la fractura. Ello nos permite comprobar gammagráficamente lo observado con otras exploraciones, es decir, la diferencia entre los dos grupos evaluados no estriba en la consolidación o no de la osteotomía (ambos grupos presentan índices por encima de los descritos) sino en que los valores del grupo de flexión son significativamente menores ($p < 0,001$) que los del grupo de angulación, el cual presenta por lo tanto, un mayor potencial de cicatrización (Oni et al., 1989).

Los valores de los índices de captación de ambos grupos reflejan a lo largo de todo el periodo postoperatorio, una evolución paralela, manteniéndose siempre por encima los correspondientes al grupo de angulación (tabla V.28, pág. 242). El hecho de que la velocidad de la respuesta vascular presente en la zona osteotomizada sea mucho mayor que la de neoformación ósea, queda reflejado gammagráficamente en que el incremento máximo de captación gammagráfica se produce, en ambos grupos, entre los controles de 7 y 15 días, periodo en el que predomina el origen vascular de la captación gammagráfica. La posterior neoformación ósea refleja unos índices cada vez más elevados pero con un factor de crecimiento menor, hasta alcanzar el máximo absoluto alrededor de los 21 (grupo de flexión)

y 30 días (grupo de angulación) para posteriormente, decrecer suavemente hasta los dos meses de postoperatorio momento en que se llevó a cabo el último registro. El descenso de la captación gammagráfica a los dos meses obedece, según nuestro criterio, a que no existe un incremento muy importante en la neoformación ósea neta sino que se produce una maduración del callo óseo con una remodelación tisular ininterrumpida hasta la formación de hueso compacto inicialmente laminar y posteriormente de disposición osteonal. Por ello, y a pesar de tratarse de tejido de neoformación, cuanto mayor sea la cantidad de hueso compacto presente, menor será el valor de captación gammagráfica debido a que el tejido óseo maduro presenta una menor capacidad para captar radiofármaco que la que presentan tejidos óseos más inmaduros como el hueso fibrorreticular (Galasko, 1975; Spitz et al., 1993). Por este mismo motivo, el hecho de que la caída de la captación gammagráfica en el último mes del estudio sea mucho más importante comparativamente en el grupo de angulación que en el de flexión podría indicar una mayor madurez del callo óseo y por tanto un estadio más adelantado en el proceso de cicatrización fracturaria.

La evolución de los valores en los índices de captación registrados en nuestro estudio coincide plenamente con la descrita en otros estudios semejantes. En este sentido, Mennen et al. (1985; en Spitz et al., 1993) evaluando fracturas yatrogénicas de cúbito y radio en mandriles, registraron un incremento máximo de los índices de captación en los primeros días de postoperatorio mientras que el valor máximo absoluto fue registrado a los 21 días, momento a partir del cual se inició un descenso lento de los valores. Spitz et al. (1993), en estudios con seres humanos, registraron un valor máximo entre las 2 y 5 semanas. Sin embargo, nuestros resultados se alejan ligeramente de los obtenidos por Henry et al. (1985; en Lamb, 1987) en los que, evaluando la cicatrización ósea en gatos, los máximos fueron registrados entre las 4 y 12 semanas.

Por otra parte, cabría destacar como único dato discordante de nuestra serie, que en el animal nº 6, los índices de captación gammagráfica del grupo de flexión son superiores a los del grupo de angulación en los tres primeros controles postoperatorios. En este caso, existe una correlación entre, por una parte, el resultado de la valoración visual de las gammagrafías del citado animal, en las que veíamos cómo las imágenes del grupo de angulación mostraban un retraso en la fusión de los focos de hipercaptación y un carácter menos energético (fig. V.9, pág. 250) y, por otra, los índices de captación gammagráfica registrados en el mismo c.p.o. (tabla V.28, pág. 242). Según las observaciones de Wallace et al. (1992) descritas previamente, podríamos atribuir la citada discordancia a una inestabilidad interfragmentaria que retrasase la respuesta vascular en el foco de osteotomía de la extremidad intervenida con el fijador tipo angulación. Asimismo, los índices de captación registrados en posteriores controles (30 y 60 días) se invierten, siendo superior el del grupo de angulación al del de flexión, siguiendo la tendencia general e indicando una

posible normalización de la situación. Sin embargo, las imágenes gammagráficas en esos controles no sugieren tal normalización puesto que persiste un patrón anormal en ambas extremidades aunque más evidente en la del grupo de angulación (Figs. V.9., pág. 250; V.10, pág. 251).

La anterior situación introduce algunas lagunas en la interpretación de los índices de captación, que si bien en la gran mayoría de las ocasiones la obtención de un valor elevado debe considerarse como beneficioso, en ocasiones puede no reflejar la realidad. En este sentido, Muheim (1973) cuantificó gammagráficamente distintas no uniones atróficas observando como en todos los casos los índices de captación se mostraban anormalmente bajos (probablemente por un deficiente aporte vascular) mientras que en no uniones hipertróficas, los índices de captación presentaban niveles muy elevados debidos probablemente a la formación de callos exuberantes pero incompletos (en este caso, las condiciones vasculares eran suficientes pero existía insuficiente estabilidad). De esta manera se constató que en determinadas ocasiones, la obtención de índices de captación elevados no siempre sugiere una correcta evolución de la fractura. Wallace et al. (1992), a pesar de considerar la interpretación de los índices de captación de gran fiabilidad, aconsejan completar dicha cuantificación con la valoración visual tradicional y subjetiva de las imágenes gammagráficas para evitar lo que denominan "insensibilidad" de los índices de captación, especialmente en los casos de no uniones hipertróficas.

Asimismo, si la valoración conjunta de las imágenes gammagráficas y de los índices de captación proporciona datos de enorme fiabilidad, la utilización conjunta de un tercer método gammagráfico consistente en la elaboración de los perfiles de captación permite ajustar definitivamente tanto el diagnóstico como el pronóstico de la fractura u osteotomía estudiada (Gumerman et al., 1978; Lavender et al., 1979; Hughes, 1980; Gunalp et al., 1992). Tras hacer un barrido lineal de la zona explorada, las **gráficas de captación lineal** no sólo proporcionan información aproximada de la cantidad de captación gammagráfica (datos que reflejan con mayor precisión los índices de captación) sino que describen su distribución exacta y puntual en la región osteotomizada o, en su caso, fracturada. De esta manera, si el perfil obtenido presenta un único pico centrado a nivel del foco de la fractura indica la existencia de un callo óseo completo (Gumerman et al., 1978; Gunalp et al., 1992) mientras que si la gráfica presenta dos picos con una depresión central localizada en el foco de fractura indica la falta de continuidad en el callo óseo (Gunalp et al., 1992), de esta manera es posible diferenciar, respectivamente, la presencia de una consolidación normal de la fractura de la de una no unión hipertrófica, a pesar de que la captación gammagráfica total en ambas regiones osteotomizadas sea igualmente elevada. En el caso de no uniones atróficas, el perfil muestra una gráfica muy plana con una depresión localizada a nivel de la osteotomía (Gunalp et al., 1992).

La evolución general de las **gráficas de captación lineal** obtenidas en nuestro estudio se acerca con bastante fidelidad a las reflejadas en los trabajos de Gumerman et al. (1978) y Hughes (1980). Gumerman et al. (1978) llevaron a cabo un estudio seriado con unos tiempos de registro similares a los utilizados en nuestro trabajo, lo que permite llevar a cabo una evaluación comparativa más precisa. Estos autores observaron cómo la tendencia general de los perfiles registrados en las osteotomías tibiales que cicatrizaron normalmente mostraban, a los 7 días, la formación de un doble pico cuya depresión central, considerablemente profunda, se localizaba justamente en la línea de fractura. A partir de los 15 días, el doble pico se fusionaba transformándose en uno único mientras que a los 21 días la amplitud del mismo iniciaba una progresiva disminución. Asimismo, la persistencia del doble pico en controles tardíos, 30 o 60 días, se observaba en los animales en los que yatrogénicamente se les había generado uniones retardadas (30 días) o no-uniones (60 días).

Con referencia a nuestros resultados, la mayor parte de los perfiles obtenidos en el grupo de flexión se ajustan a la dinámica descrita anteriormente presentando a los 7 días un perfil de doble pico aunque con una depresión central menos profunda y sin la disminución en la amplitud de las gráficas a las 3 semanas de postoperatorio. Sin embargo, la mayoría de perfiles del grupo de angulación muestra una anticipación en la sucesión de patrones de manera que ya a la semana de intervención, los perfiles registrados presentan un único pico, desapareciendo por tanto la depresión central (fig. V.11, pág. 252). Si la evolución general de los perfiles tiende a la fusión de los dos picos y la captación gammagráfica en esta fase es de origen primordialmente vascular (Hughes, 1980), la profundidad de la depresión central sería un signo indicativo del grado de revascularización existente a través del foco de fractura tal y como demostraron Gumerman et al., (1978) al interponer metilmetacrilato entre los extremos óseos fracturados y constatar que la depresión central permanecía hasta el último control (60 días) y su profundidad descendía hasta el nivel de captación mínimo registrado en la zona de interés. A partir de dichas observaciones podemos constatar, mediante las gráficas de captación lineal, que la respuesta vascular a través del foco de fractura es más rápida en el grupo de angulación que en el de flexión (fig. V.11, pág. 252).

Por otra parte, y en lo que respecta a la disminución en la amplitud de las gráficas a partir de los 21 días, observada por Gumerman et al. (1978), no observamos un comportamiento homogéneo entre los distintos perfiles gammagráficos registrados. Así, mientras que en algunas gráficas se produce efectivamente tal estrechamiento, en otras llega incluso a ensancharse. La reacción perióstica de las agujas más cercanas al foco de osteotomía así como la extensión del callo de fractura en cada caso particular justificaría el comportamiento descrito anteriormente, sin haberse podido observar, por otra parte, diferencias evidentes entre los perfiles gammagráficos de ambos grupos. Otro detalle importante observado en nuestros perfiles y no descrito por Gumerman et al. (1978) se refiere

a la presencia en varios perfiles de un único pico bien diferenciado pero con el vértice bifásico, es decir, con la presencia en la parte más elevada de la gráfica de una pequeña depresión centrada a nivel de la línea osteotomizada y que divide en dos la zona más apical (fig. V.11, grupo ang., c.p.o. 15d; pág., 252). Generalmente, tal particularidad aparecía en las gráficas de 21 días y no se observaron diferencias en cuanto a su presentación entre los dos grupos evaluados. Si bien la observación de una depresión a nivel del foco de osteotomía podría, inicialmente, ser atribuido a un déficit vascular a través de la fractura, la presencia de una única gráfica (aunque de vértice dividido) y en animales cuyos anteriores registros indicaban una completa revascularización transfracturaria anulaban tal posibilidad y reforzaba nuestra hipótesis acerca de la visualización gammagráfica de las primeras fases del callo óseo. Por lo tanto, cada una de las dos fases presentes en el pico dividido pertenecía a la reacción perióstica que se estaba iniciando en los márgenes de los fragmentos óseos fracturados. De la misma manera, al no existir todavía neoformación ósea a nivel de la línea de osteotomía, la gráfica presentaba unos inferiores niveles de captación (que se reflejaban en la depresión situada entre los dos picos) aunque suficientes como para constatar el correcto aporte vascular. Resulta de especial interés constatar la inexistencia de signos indicativos de tal callo de fractura en los controles radiográficos efectuados simultáneamente aunque sí se manifestaron en los posteriores (generalmente al cabo de 7 o 15 días). La visualización gammagráfica anticipada de fenómenos observados radiográficamente al cabo de varias semanas es una de las constantes observadas en los estudios gamma-radiográficos realizados por distintos autores (Stevenson et al., 1974 en/y Gumerman et al., 1978; Mattar y Siegel, 1979; Hughes, 1980).

Por otra parte, la gráfica de captación lineal de la gammagrafía 6A permite evidenciar un proceso de unión retardada en dicha extremidad puesto que si bien los índices de captación siguen siendo elevados y superiores a los registrados en la imagen 6F, la persistencia de una depresión centrada a nivel del foco de osteotomía escoltada por dos picos elevados indica la existencia de un importante callo óseo (índices de captación elevados y por tanto, importante neoformación ósea) aunque incompleto (fig.V.13, pág. 253). Por el contrario, y a pesar de que la imagen 6F registra unos índices de captación inferiores en los últimos controles postoperatorios a los de la 6A, la gráfica de captación presenta un único pico perfectamente centrado sobre la línea osteotomizada, lo que indicaría una consolidación fracturaria mucho más avanzada o completa. De este modo, la aparente y ocasional "insensibilidad" de los índices de captación descrita por Wallace (1992) y que en nuestro estudio se manifestaba en las imágenes gammagráficas del animal nº 6 desaparece al evaluar las correspondiente gráficas de captación lineal.

Por último, y a pesar de que las gráficas de captación lineal aportan una muy valiosa información acerca de la distribución del radiofármaco en la zona de interés, la reducida

superficie de exploración y la necesidad de una colocación idéntica entre las distintas zonas de interés exploradas aconsejan su interpretación conjunta con la valoración visual de las gammagrafías y con los índices de captación gammagráfica..

VI.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS MICROANGIOGRAFICOS

El nivel de los conocimientos actuales sobre la vascularización de los huesos, considerados como órganos completos, resulta hoy bastante adecuado. Y no sólo por lo que se refiere a los datos morfológicos y funcionales en condiciones normales, sino también por lo que respecta a las consecuencias clínicas cuando la vascularización ósea resulta comprometida en mayor o menor grado. Por ello, parafraseando una expresión emitida por Macnab y De Haas (1974), hace ya por tanto más de veinte años, quizá hoy ya no sea necesario que cualquier exposición sobre el tratamiento quirúrgico de fracturas tibiales, especialmente de su diafisis, deba ir precedida de una revisión del estado actual de los conocimientos de su aporte vascular y su propia vascularización sanguínea. Por ello, resulta aquí, probablemente, oportuno argumentar que tres han sido las razones que nos han movido a referirnos en este trabajo a la vascularización sanguínea de la tibia y en concreto a su microvascularización. La primera responde al hecho de ser este hueso considerado tradicionalmente "conflictivo" o "problemático" en aspectos concernientes a su respuesta vascular y, por tanto, clínica ante diversas intervenciones quirúrgicas para resolver sus fracturas. La segunda se debe a que en la revisión bibliográfica efectuada no hemos encontrado ningún artículo referente a la respuesta morfológica que se produce en la microvascularización ósea ante fracturas tratadas con la aplicación de fijadores externos. La tercera responde a nuestro convencimiento de que el mejor conocimiento y la consideración de la vascularización ósea en el tratamiento quirúrgico de las fracturas, hecho frente al que demasiadas veces el clínico se muestra negligente, puede redundar sin duda en utilizar procedimientos técnicos, pautas y criterios que puedan ayudar a una resolución más adecuada y cabal de estos procesos.

Conviene también aclarar que el análisis de los aspectos de la microvascularización de osteotomías tibiales que hemos realizado en este trabajo consiste en una serie de descripciones cualitativas, utilizando como elemento de referencia el patrón vascular bien conocido de tibias normales, sin haber pretendido en modo alguno extraer consecuencias de carácter cuantitativo, puesto que, dadas las características peculiares de estas técnicas, de su necesaria laboriosidad, de sus métodos de observación y de la valoración cuantitativa o estadística de los datos obtenidos, el número necesario de animales estudiados para ello tendría que haber sido tan elevado que hubiera quedado absolutamente fuera de los modestos límites a nuestro alcance.

Aunque no podemos ni tampoco pretendemos afirmarlo con absoluta rotundidad ni de manera completamente excluyente, consideramos que por la disposición, distribución, forma de ramificación y curso de las ramas vasculares observadas en nuestras preparaciones, la mayor parte de ellas corresponde al sistema vascular arterial y, probablemente, capilar de

carácter arterial. Para argumentar esto nos basamos además en las observaciones de Rhinelander y Baragry (1962), posteriormente confirmadas por López-Curto et al. (1980). Estos autores señalan que las redes venosas, especialmente abundantes en la cavidad medular, drenan in vivo o se vacían postmortem con tal rapidez que para ponerlas de manifiesto el sistema venoso debe inyectarse separada e independientemente del arterial. En nuestro caso, sólo introdujimos la suspensión de material radioopaco por el sistema arterial siguiendo una metodología parcialmente similar a la utilizada por los primeros autores (revisado por Rhinelander et al., 1979).

Por lo que respecta a los aspectos generales del comportamiento morfológico microvascular durante la evolución de la osteotomía y, en ausencia de trabajos similares realizados con fijadores externos, necesariamente tenemos que referirnos a este tipo de estudios morfológicos pero realizados con otros sistemas de fijación o, en general, con otras formas de tratamiento de las fracturas. Por ello, consideramos obligado hacer referencia a los excelentes estudios de Rhinelander en esta materia (ampliamente revisados en Rhinelander y Wilson, 1982). En efecto, aunque este autor y sus colaboradores analizan detalladamente la respuesta vascular durante la evolución de fracturas óseas en diferentes huesos, incluida la tibia, tras la aplicación de más de siete tipos distintos de tratamiento, pero no de fijadores externos, nuestros resultados coinciden en gran parte y, por tanto, confirman varias de las observaciones de este autor en lo que serían aplicables a los fijadores externos. En concreto, podemos afirmar que además del papel, sin duda destacado, que juega la vascularización perióstica sobretudo en las primeras fases de evolución de la fractura, la vascularización medular, una vez reconstituida a ambos lados de la línea de fractura resulta dominante a la hora de vascularizar las corticales y el propio callo de fractura.

Tratando de hacer una recapitulación crítica del comportamiento microvascular durante las cuatro etapas de evolución de las osteotomías tibiales que hemos estudiado y teniendo en cuenta las diferencias existentes en ambas extremidades por el distinto diseño de los fijadores externos que se ha aplicado a cada lado, podemos realizar, a la luz de los datos de la bibliografía relevante, las consideraciones que a continuación se exponen.

Al cabo de una semana de producida la osteotomía transversal completa, hemos observado una clara diferencia entre los dos grupos experimentales (flexión y angulación), consistente en un defecto vascular más acusado en el grupo de flexión que en el de simple angulación, que afecta tanto a la circulación medular como cortical. Así, en el grupo de flexión, la circulación medular todavía permanece interrumpida, mientras que en el de angulación se aprecian ya indicios de conexión vascular a ambos lados de la línea de osteotomía. Rhinelander (1965) observó arteriolas cruzando la línea de fractura también ya al cabo de una semana en osteotomías experimentales completas practicadas en el radio. Con

respecto a las corticales, destaca la existencia de una zona avascular muy regular (v. pág. 255) en el grupo de flexión, de tal manera que entre la línea de osteotomía y las agujas centrales del fijador, el tejido compacto, hasta este momento, sólo recibe aporte sanguíneo desde el periostio. Por el contrario, en el grupo de angulación, sólo una estrecha franja central de las corticales en las proximidades de la línea de osteotomía se halla momentáneamente exenta de vasos funcionales, pero las porciones corticales externo e interna reciben aporte sanguíneo desde el periostio y desde la cavidad medular, respectivamente. A pesar de que en ambos grupos experimentales y en este periodo la circulación perióstica se encuentra ya aumentada, sólo en el grupo de angulación brotes vasculares periósticos penetran en el espacio de osteotomía. De todo ello podemos extraer que hasta la primera semana, en la región próxima a la osteotomía existe un déficit de aporte sanguíneo de origen medular casi completo, mientras que la vascularización perióstica es dominante, al menos en el foco de fractura y en sus proximidades.

Esto confirma las observaciones de Trueta (1974), al observar que después de producida una fractura, la mayor parte de los nuevos vasos procede del periostio, de manera que la supresión del flujo intramedular incrementa la vascularización de origen perióstico. Por medio de técnicas que permiten detectar la cantidad de flujo sanguíneo, Lauenen y Kelly (1969), Paradis y Kelly (1975) y Hughes et al. (1978) observaron un aumento del flujo sanguíneo hacia y en el interior del hueso fracturado desde el primer día, alcanzando un máximo entre 10 y 15 días después de producida la fractura. Con las mismas técnicas, Strachan et al. (1990) detectaron posteriormente que la contribución de la vascularización perióstica al riego sanguíneo del hueso cortical es muy significativa, invirtiéndose incluso la dirección del flujo y pasando de centrífugo a centrípeto. Rhinelanders (1972, 1974) también adscribe cierta importancia al aporte vascular perióstico, pero sólo hasta que se restablece la circulación intramedular.

Al cabo de dos semanas tras la osteotomía, hemos observado ya cambios significativos con respecto a la situación anterior. La circulación sanguínea entre ambas mitades de la cavidad medular se ha reconstituido en ambos grupos experimentales a nivel del foco de osteotomía por medio de la formación de una densa red vascular que, a diferencia de lo que ocurría hasta ahora, es la que envía numerosos brotes vasculares interpuestos entre las corticales a nivel del espacio de fractura, hecho ya observado por Olerud y Dankwardt-Lillienström (1968). Por último, la vascularización perióstica se ha incrementado considerablemente destacando su patrón de distribución transversal o perpendicular a la diáfisis. El incremento de flujo sanguíneo detectado por Lauenen y Kelly (1969), entre otros varios autores, se refleja en nuestras preparaciones por medio de un considerable incremento de las redes vasculares en los distintos territorios considerados en el hueso. Sobre la supuesta controversia entre la importancia de la vascularización medular por contraposición a la

vascularización perióstica, podemos decir que, a nuestro entender, ambas la tienen relativa y cada una en su momento durante el proceso de cicatrización de una fractura reducida mediante fijadores externos, de tal manera que cada una de ellas contribuyen a realizar funciones no contrapuestas sino complementarias para conseguir la resolución de la fractura. Por lo que respecta al origen de la vascularización perióstica, han existido malentendidos hasta la publicación del trabajo de Cooper y Cawley (1988), realizado precisamente en la tibia canina. Según estos autores, las tres caras de la diáfisis de la tibia presentan una abundante vascularización perióstica cuyos vasos son específicos, procedentes de diversas ramas principales de la región de la pierna y, a su vez, distintos de los que vascularizan los músculos. Los vasos periósticos forman una red de interconexiones de mallas rectangulares sobre la superficie del periostio, a partir de la cual pequeñas ramas penetran en la superficie externa de la cortical diafisaria. A pesar de las observaciones en contra de Macnab y De Haas (1974), las anastomosis de las ramas periósticas transversales parecen ser menos abundantes en la mitad distal de la tibia, según Cooper y Cawley (1988). A este hecho puede deberse la observación frecuente de que las fracturas tibiales producidas en su tercio distal cicatrizan más lentamente, probablemente por estar además esa región desprovista de orígenes o inserciones musculares. En efecto, según otros autores (Holden, 1972; Rhinelander, 1972; Strachan et al., 1990) resulta fundamental para la cicatrización de las fracturas el aporte sanguíneo, pero no de los tejidos blandos circundantes al hueso, sino de los orígenes o inserciones musculares y de las bandas fibrosas, retináculos, vainas sinoviales tendinosas y láminas aponeuróticas. Nosotros hemos observado que la red vascular perióstica desplegada y que la formación de callo perióstico en el foco de fractura no es uniforme alrededor de todo el perímetro de la tibia. En otros términos, podemos decir que aunque en nuestros animales siempre hemos observado la presencia de una red vascular perióstica en todo el perímetro de la diáfisis tibial, dada la dirección anteroposterior de los cortes realizados en las tibias operadas para llevar a cabo las microangiografías, podemos afirmar que mientras las caras craneolateral y craneomedial presentaban una reacción vascular perióstica discretamente aumentada, la cara posterior, por el contrario, exhibía una amplísima red vascular y el callo perióstico era aquí bastante más grueso.

Transcurrido un mes después de la osteotomía, mientras la vascularización medular era similar en los dos grupos experimentales, la riqueza vascular en las corticales manifestaba diferencias. En el grupo de flexión, las corticales todavía presentan áreas poco o nada vascularizadas en las proximidades de la línea de osteotomía, lo cual revela, sin duda, compromiso del tejido óseo compacto. En contraposición a esto, en el grupo de angulación la vascularización de las corticales a ambos lados de la osteotomía era bastante más abundante, pero con claro predominio ya del aporte vascular procedente de la cavidad medular. Igualmente, el tejido constitutivo del callo cicatricial interpuesto entre las corticales presenta, a diferencia del grupo de flexión, una intensa vascularización de origen medular y

perióstico. En esta fase (30 días), el callo perióstico y su vascularización han adquirido un desarrollo considerable en ambos grupos, pero, como hemos dicho, la circulación medular es ya predominante, con lo cual, la vascularización perióstica parece estar destinada fundamentalmente ahora a consolidar el callo perióstico y la vascularización medular a consolidar el callo endóstico. En la porción del callo interpuesta entre las corticales ambas vascularizaciones colaboran en su irrigación.

De nuestras observaciones puede deducirse que en osteotomías transversas completas tratadas con fijadores externos, con interrupción inicial completa de la circulación medular, la circulación perióstica adquiere una importancia relativa superior a la observada por otros autores con la misma forma de tratamiento pero aplicada en fracturas donde la vascularización medular no resultaba comprometida. En este sentido, Court-Brown (1985) y Smith et al. (1990), los únicos autores que, hasta donde nosotros sabemos, han analizado no la morfología microvascular sino el flujo sanguíneo en fracturas tras la aplicación de fijadores externos, señalan que, cuando la arteria nutricia y la circulación medular quedan intactas, existe una alteración en la importancia relativa de la osificación perióstica y medular durante el proceso de cicatrización de la fractura. La osteogénesis medular resulta estimulada mientras que la formación de callo perióstico se reduce, aunque la osificación endocondral de este último se ve acelerada (Court-Brown, 1985).

Después de transcurridos sesenta días, ya no se apreciaron diferencias en la mayoría de los casos sometidos a los dos tipos de manipulación (flexión y angulación) durante el tratamiento. No obstante, el callo perióstico y, por tanto, su vascularización, aunque más reducidos, todavía son apreciables.

VI.5. DISCUSION DE LOS RESULTADOS MICRORRADIOGRAFICOS, DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION E HISTOLOGICOS

El hecho de que en los trabajos científicos anglosajones dedicados al estudio de la cicatrización de las fracturas aparezcan términos tales como "osteoid bone" (Ham y Cormack, 1984; Ilizarov, 1989); "inmature bone" (Olerud y Danckwardt-Lillieström, 1968); "compact bony callus" (Schenk et al., 1982); "regenerated bone" (Elkins y Morandi, 1993); "fiber bone" (Palmer et al., 1992); "fibrous bone" (Rahn, 1982; Aron, 1990); "inmature woven bone" (Pettine et al., 1993) refiriéndose al tejido óseo de neoformación que se produce durante la consolidación de las fracturas requiere, a nuestro entender, una revisión terminológica para homologar denominaciones y evitar confusiones en la consulta de los artículos de los distintos autores. Además, la situación se complica definitivamente cuando a la diversidad terminológica se le añaden otros conceptos que mezclan características de naturaleza arquitectural con otras de naturaleza tisular tales como "cancellous bone" (Palmer et al., 1992; Egger, 1993b) considerado como tejido propio de las fases iniciales del callo endóstico.

De este modo, los tejidos calcificados que podemos identificar mediante distintas técnicas (microrradiografía, microscopía electrónica de retrodispersión o histología de muestras sin decalcificar) en el proceso de consolidación de las fracturas son: el cartílago calcificado, el tejido condroide, el hueso fibrorreticular y el hueso lamelar (Dhem et al., 1989) (Fig. V.70). El cartílago calcificado presenta un aspecto microscópico típicamente "esponjoso" con una matriz caracterizada por la presencia de colágeno de los tipos II y IX (Hiltunen et al., 1993), fuertemente calcificada y que aísla lagunas celulares grandes y redondeadas (Figs. V.54, V.55, V.70). El hueso fibrorreticular ("woven bone") es un tejido óseo cuya matriz extracelular (u osteoide) presenta preferentemente fibras de colágeno tipo I dispuestas desordenadamente y cuyas lagunas celulares, redondeadas, no siguen un patrón arquitectural reconocible (Brown, 1980; Goret-Nicaise, 1986)(Fig.V.57, V.70). La elevada tasa de crecimiento que presenta el hueso fibrorreticular justificaría las denominaciones de "inmature bone" o "regenerated bone" reflejada en algunos trabajos. Por otra parte, el hueso lamelar ("lamellar bone") es un tejido óseo, cuya matriz caracterizada también por la presencia de colágeno de tipo I (Hiltunen et al., 1993) y que se presenta ordenadamente formando laminillas fácilmente reconocibles en las cuales las lagunas celulares tienen ya una forma madura, es decir, pequeñas y fusiformes (Fig. V.57, V.70). La aposición del hueso lamelar se lleva a cabo siempre sobre otro tejido calcificado preexistente y en forma de láminas alargadas que son el resultado de la reconstrucción lineal osteoblástica tras el paso de un frente osteoclástico (Goret-Nicaise, 1986; Manzanares, 1988). En la región cortical, se produce una compactación de las láminas del hueso lamelar y tras la denominada

remodelación haversiana, es decir, el paso inicial de una cuña osteoclástica y la posterior evolución de osteoblastos que elaboran láminas concéntricas de hueso lamelar a partir de un eje central vascular, adquiere el aspecto osteonal característico de los huesos largos y maduros ("osteonal bone" o "compact bone")(Fig. V.70, V.71). En la cavidad medular, no se produce una marcada compactación de las láminas de hueso lamelar, sino que éstas se organizan en forma de trabéculas adquiriendo la denominación de hueso esponjoso ("cancellous bone"). Por último, existe un cuarto tipo de tejido calcificado, identificado inicialmente en las fracturas de las suturas craneales, denominado tejido condroide. El aspecto del tejido condroide es semejante al del tejido fibrorreticular aunque presentando unas lagunas mucho más grandes, irregulares y conectadas entre ellas (Fig. V.57, V.64, V.70), la matriz extracelular se caracteriza por la presencia simultánea de colágeno de tipo I y II y presenta una tasa y velocidad de calcificación muy superiores a la del tejido cartilaginoso y por supuesto a la del tejido óseo (Goret-Nicaise, 1986; Dhem et al., 1989). Así pues, el hueso esponjoso no participa directamente como tejido de reparación fracturaria puesto que se trata de un tejido óseo maduro resultado de la disposición dispersa de láminas de tejido óseo lamelar. Asimismo, el hueso "osteóide" ("osteoid bone") no existe como tal ya que la sustancia osteóide es la matriz propia de todos los tejidos óseos (constituida entre otras sustancias por colágeno mayoritariamente de tipo I) de la misma manera que existe una matriz extracelular del tejido cartilaginoso (con presencia de colágeno tipo II y IX) y otra para el tejido condroide (tipificada bioquímicamente por la presencia de colágeno tipo I y II)(Goret-Nicaise, 1986; Manzanares, 1988; Dhem et al., 1989; Hiltunen et al., 1993).

Evidentemente, una diferenciación clara entre los diferentes tejidos y especialmente la identificación del tejido condroide únicamente ha sido posible cuando se han llevado a cabo estudios con técnicas que preservasen la naturaleza calcificada de los tejidos (Perren, 1980; Dhem et al., 1989). La observación mediante técnicas histológicas convencionales (con decalcificación de las muestras), si bien permite la identificación de tejido cartilaginoso y de tejido óseo, no permite precisar, en el primer caso, la significación de la presencia de tejido cartilaginoso y, en el segundo, el grado de madurez ni de calcificación de los tejidos óseos presentes. De este modo, resulta de diferente pronóstico para la cicatrización de una fractura, la presencia de cartílago (fibrocartílago) sin calcificar (sugere de una posible no unión o unión retardada) a la de cartílago completamente calcificado. En este último caso, la presencia de cartílago calcificado indica un cierto retraso en el proceso de consolidación, aunque aporta la suficiente estabilidad para permitir una recuperación tisular de la fractura y funcional del paciente. Del mismo modo, tampoco el estudio histológico convencional permite identificar separadamente distintos patrones de calcificación ósea que determinan con mayor precisión los distintos grados de madurez de los tejidos óseos presentes en la consolidación de la fractura. Inicialmente la microrradiografía y actualmente la microscopía electrónica de retrodispersión (m.e.r.) combinada con la histología sin decalcificación permiten

definitivamente llevar a cabo una precisa identificación tisular que proporciona una mayor exactitud en la valoración microscópica de la consolidación fracturaria.

La utilización de las citadas técnicas en nuestro estudio ha proporcionado datos de gran relevancia para la caracterización y diferenciación entre la evolución de la consolidación de las osteotomías en los grupos flexión y angulación. Sin embargo, es importante resaltar inicialmente que las mayores diferencias en el proceso de cicatrización se han producido entre distintos individuos mientras que las diferencias detectadas entre las dos extremidades de un mismo individuo, aunque presentes, resultaron más sutiles. Esta apreciación coincide con lo observado por otros autores en estudios semejantes y cuyos resultados se basaban en valoraciones microrradiográficas, de m.e.r. e histomorfométrias (Egger et al., 1993b).

A pesar de que radiográficamente no aparecen signos de activación del proceso de cicatrización fracturaria hasta las tres semanas, inmediatamente después de la respuesta vascular generada a la semana y detectada tanto gammagráficamente como microangiográficamente, se produce una respuesta ósea protagonizada por el ataque osteoclástico. Resulta de especial interés destacar que la activación osteoclástica, identificada en las imágenes microrradiográficas y de m.e.r. por la presencia de lagunas de Howship, se concentra en dos frentes: la cavidad medular, atacando activamente esquirlas derivadas de la osteotomía; y la superficie perióstica ligeramente separada de la zona osteotomizada, donde el ataque es todavía incipiente. Por el contrario, no existen evidencias de ataque osteoclástico en la superficie ósea osteotomizada en ambos fragmentos, que permanece intacta, evidenciando un retraso que se irá manteniendo a lo largo del proceso de cicatrización. La mayor intensidad de la respuesta osteoclástica observada en las preparaciones del grupo de angulación sugeriría, inicialmente, que en este grupo el proceso de cicatrización de la osteotomía está más avanzado, aunque sólo fuese en sus fases más prematuras.

La sensación inicial de mayor precocidad en la aparición de los fenómenos propios de la consolidación fracturaria en el grupo de angulación detectada en las primeras fases se confirmó en posteriores periodos de supervivencia aunque tal y como se ha comentado previamente, con una evolución paralela entre ambos grupos. A pesar de que a las dos semanas de evolución las diferencias entre ambos grupos son más bien de carácter cuantitativo (en el grupo de angulación se podía evidenciar por una parte, mayor cantidad, superficie y densidad de trabeculación y, por otra, una mayor profundidad y amplitud del ataque osteoclástico junto con más frentes de ataque), fue en las preparaciones de 30 y 60 días donde las diferencias se hacían más evidentes. En este caso, las diferencias no sólo eran cuantitativas sino también cualitativas, puesto que cuando en las preparaciones de ambos grupos predominaba una trabeculación a base de tejido condroide, la cantidad de hueso fibrorreticular y lamelar que se depositaba sobre las trabéculas era mayor en el grupo de

angulación (animal nº 5). Asimismo, en osteotomías de consolidación más retrasada por la presencia de focos de tejido cartilaginoso, el grado de calcificación del cartílago en el grupo de flexión era inferior al del grupo de angulación, presentando éste aposición de hueso fibrorreticular o lamelar sobre la trama de cartílago para formar las trabéculas osteocartilaginosas. Únicamente en un caso (animal nº 6), la consolidación de la osteotomía de la preparación del grupo de flexión mostraba un aspecto claramente más avanzado que el del grupo de angulación ya que la preparación de éste último grupo presentaba una zona considerable de tejido cartilaginoso cuyo proceso de calcificación se encontraba limitado todavía a las zonas más periféricas. El retraso en la consolidación de ambas preparaciones, más evidente en la del grupo de angulación, no se justificaría por el simple desplazamiento interfragmentario presente (puesto que otras preparaciones con mayor desplazamiento manifestaron signos de mayor madurez) sino más bien por problemas previos de inestabilidad interfragmentaria, lo que nos llevaría, especialmente en la extremidad de angulación, al diagnóstico de una posible unión retardada de la osteotomía. Sin embargo, la estabilidad que ha proporcionado el tejido cartilaginoso es suficiente para permitir la calcificación progresiva del mismo lo que indica que la osteotomía evoluciona hacia su consolidación y que la recuperación funcional del animal está asegurada. Dicha apreciación no hubiese sido posible de determinar mediante técnicas que implicasen la decalcificación de las muestras.

La mayor presencia de tejido condroide en la mayoría de preparaciones del grupo de angulación con respecto a las del grupo de flexión es otro indicador de una consolidación más avanzada de las osteotomías de aquél grupo. Ello se fundamenta en que el tejido óseo (hueso fibrorreticular y hueso lamelar) necesita de un sustrato calcificado que actúe como soporte para su aposición y, dado que el tejido condroide presenta una velocidad de calcificación mucho más elevada que la del tejido cartilaginoso (Goret-Nicaise, 1986), implica que cuanto mayor sea la cantidad de tejido condroide más rápidamente dispondrá el tejido óseo de un soporte calcificado donde aponerse, disminuyendo considerablemente el tiempo necesario para la cicatrización. Dicho comportamiento se ve reflejado en las preparaciones (5A, 18A, 19A y 20A).

En las preparaciones de mayor evolución, pudimos constatar la presencia esporádica de cicatrización primaria, concretamente de "gap healing", simultáneamente con la presencia de callos perióstico y endóstico muy avanzados. La coexistencia de signos indicativos de cicatrización primaria ("gap healing") de la fractura con otros propios de la cicatrización secundaria (formación de callos perióstico y endóstico) nos induce a pensar que ambos mecanismos de cicatrización no son en absoluto excluyentes, tal y como inicialmente se pensaba (Schenk y Willenegger, 1963 en/y Perren, 1980). Tal situación se hace todavía más evidente cuando en un mismo foco de osteotomía se observan amplias zonas de hueso lamelar neoformado y en otro extremo persiste todavía tejido cartilaginoso incluso sin calcificar.

Parece probable, por tanto, que las condiciones microambientales de vascularización y estabilidad no sólo determinen la diferenciación tisular global a nivel del foco de fractura sino que aquéllas se modifiquen puntualmente a lo largo del foco de fractura determinando el desarrollo de distintas estirpes tisulares en función de cada zona particular de la fractura. Esta situación se expresaría de forma más evidente en fracturas reducidas mediante fijadores externos puesto que éstos aportarían una reducción de estabilidad variable. Si asumimos que la fijación externa proporciona un grado de estabilidad situado entre el mínimo registrado por la reducción mediante enclavamiento centromedular, donde encontraríamos exclusivamente signos de cicatrización secundaria, y el máximo obtenido con las placas de compresión dinámica, situación en la que observaríamos la típica cicatrización primaria, es comprensible, por tanto, que observemos simultáneamente signos de ambos tipos de cicatrización. Estudios recientes realizados con fijadores externos en osteotomías tibiales caninas (Chao et al., 1989; Aro et al., 1990; Aro y Chao, 1993) demuestran también la coexistencia de ambos procesos, siendo los mismos autores que establecieron la clasificación de la consolidación fracturaria establecida hasta el momento (reflejada en la tabla II.12, pág. 120) quienes empiezan a considerar la necesidad de su modificación considerando dos tipos de cicatrización primaria en función de la presencia o no simultáneamente de callo perióstico (Chao et al., 1989).

En nuestro estudio, y sin observar diferencias importantes entre los dos grupos, se refleja claramente cómo la superficie osteotomizada de ambos fragmentos es la región que presenta más tardíamente signos evidentes de reparación tisular. Con frecuencia, el inicio del ataque osteoclástico a los márgenes osteotomizados no se presentaba hasta los 15 o 30 días (periodos en los que se manifestaba ya un evidente callo perióstico o endóstico) y únicamente en dos zonas intercorticales¹ (5A y 6F; c.p.o. 60 días) el ataque se completó en todo el grosor de la cortical. Asimismo, pudimos constatar cómo el ataque osteoclástico siempre se iniciaba desde el extremo perióstico de la cortical y/o desde el endóstico (Fig. V.51) y nunca desde la zona intermedia de la cortical, demostrando que, en nuestro caso, la reparación de los márgenes fracturados proviene de la población celular que se encuentra en el callo perióstico o en el endóstico, sin participación directa de las células localizadas en la región cortical y próximas a la zona osteotomizada. El espacio intercortical podía ocuparse de dos formas: la primera mediante la aposición de tejido óseo neoformado (generalmente hueso fibrorreticular) en la superficie osteotomizada de los fragmentos, para lo cual resultaba indispensable el ataque osteoclástico previo de la zona de aposición. La segunda opción, más frecuentemente observada, consistía en la interposición de tejido condroide que una vez convenientemente calcificado, proporciona un soporte óptimo para la aposición en sus

¹ En cada preparación pueden observarse dos zonas intercorticales, la superior y la inferior, localizándose entre ellas la cavidad medular.

trabéculas de tejido fibrorreticular. Esta última opción permite un relleno más rápido del gap aunque para conseguir por completo la unión con el margen osteotomizado requiere también de un previo ataque osteoclástico. De cualquier manera ambos procesos se mostraron terriblemente lentos hasta el punto que en algunas preparaciones se observaba un sólido callo perióstico y endóstico, incluso en proceso de remodelación, y la superficie osteotomizada permanecía prácticamente inalterada. Aro y Chao (1989), en osteotomías tibiales caninas reducidas mediante fijadores externos, observaron también cómo la unión entre ambas superficies osteotomizadas es la zona ósea que más tardíamente completa su consolidación. Desconocemos el mecanismo que gobierna tal fenómeno pero pudimos constatar que no se trata de diferencias individuales, ni de estabilidad, ni de amplitud del "gap" puesto que observamos cómo en una misma preparación, uno de los espacios intercorticales estaba completamente ocupado por tejido óseo neoformado en continuidad con el preexistente y empezaban ya los signos de remodelación osteonal mientras que en el otro espacio intercortical y a pesar de ser considerablemente más pequeño y estar protegido por un robusto callo perióstico y endóstico, todavía ni se había iniciado el ataque osteoclástico.

Probablemente, si el estudio de m.e.r. se hubiese realizado con preparaciones de 3 o 4 meses, los resultados obtenidos pudieran aportar datos que aclarasen tal comportamiento pero al tratarse de fenómenos que tienen lugar en la cicatrización de las osteotomías de los dos grupos, sin diferencias entre ambos, no formaba parte de los objetivos de nuestro estudio. Estudios recientes muestran que cuando se pretenda evaluar la consolidación de osteotomías tibiales (en perro) reducidas mediante fijadores externos que presentan diferencias en el grado de estabilización de la reducción de la fractura, para obtener resultados concluyentes es necesario llevar a cabo estudios de m.e.r. e histológicos antes de los dos meses puesto que a partir de ese momento, los cambios detectados no se deben al efecto del fijador sino a estadios de distinta evolución dentro de un mismo proceso de consolidación (Aro et al., 1990; Egger et al., 1993b; Aro y Chao, 1993).

La mayor densidad de espacios vasculares activos (con medio de contraste en su interior) observada en las zonas corticales limitantes con el "gap" así como la presencia de fases más avanzadas en el proceso de cicatrización intercortical constituyen dos circunstancias que pudimos correlacionar durante la interpretación de las imágenes de m.e.r. aunque consideramos necesario un estudio de cuantificación mediante un analizador de imagen para poder obtener una valoración de mayor precisión. Probablemente, tal fenómeno se deba a una reactivación vascular derivada de la remodelación osteonal tras el ataque osteoclástico de los márgenes osteotomizados y al posterior depósito de tejido óseo.

Aunque, en la mayoría de las preparaciones de ambos grupos, la presencia de un callo endóstico incipiente protagonizado por una trabeculación dispersa generalmente de tejido

condroide se evidencia con anterioridad a la formación del callo perióstico, es éste el que evoluciona de forma más importante incrementando tanto en tamaño como en densidad de trabeculación y de madurez tisular. Los casos en los que el callo endóstico se desarrollaba considerablemente coincidían con preparaciones que manifestaban un desplazamiento interfragmentario. En estos casos, el callo endóstico ocupaba la totalidad de la cavidad medular con una densa trabeculación y depósito de tejido óseo lamelar.

Además de la naturaleza centrípeta del ataque osteoclástico de los márgenes osteotomizados, también hemos podido constatar un comportamiento centrípeto en la maduración del callo perióstico. De este modo, cuando en las zonas más internas del callo perióstico y en continuidad con la línea de osteotomía detectábamos la presencia de tejido condroide o de tejido cartilaginoso sin calcificar, la periferia del callo estaba constituida respectivamente por trabéculas osteocondroidales con abundante aposición de tejido lamelar o por tejido cartilaginoso completamente calcificado con presencia de trabéculas osteocartilaginosas con un ligero depósito de hueso fibrorreticular e incluso lamelar.

Por lo tanto, la m.e.r. supone el método más moderno e indicado para llevar a cabo el estudio de la cicatrización de las fracturas. La utilización adicional de la microrradiografía y de la histología sin decalcificar posibilita, en el primer caso la obtención de una imagen panorámica inalcanzable mediante m.e.r. debido a su poder de ampliación y en el segundo caso, la identificación tisular (básicamente tejido cartilaginoso o fibroso indiferenciado) de las zonas no calcificadas y por tanto, no reflejadas en las imágenes de m.e.r.

La presencia de un espacio interfragmentario de mayor o menor amplitud es inevitable en una osteotomía reducida mediante fijadores externos, por lo tanto, era de esperar que no detectásemos fenómenos propios de la cicatrización ósea con contacto. Los casos que presentaban cicatrización con separación secundaria (denominación basada en la última clasificación de Aro y Chao, 1993) mostraban a los 60 días la presencia de "cutting cones" de aspecto parecido a los descritos por Perren (1980) aunque dicho autor y otros varios (Egger, 1993b; Aro et al., 1990; Aro y Chao, 1993) identifican al tejido que rellena el hueco como tejido óseo lamelar de orientación transversal. En nuestro trabajo y a partir de los criterios de identificación de tejidos óseos publicados por otros autores en fracturas de huesos planos (Goret-Nicaise, 1986; Goret-Nicaise et al., 1988; Manzanares, 1988; Dhem et al., 1989) consideramos que, en la mayoría de las ocasiones (y especialmente en las preparaciones del grupo de angulación), es el tejido condroide el que ocupa el espacio intercortical puesto que no se observa la disposición en láminas propia del tejido lamelar ni las lagunas celulares presentan el característico aspecto fusiforme y distribución aislada.

VI.6. DISCUSION GENERAL DE LOS RESULTADOS

"The use of external fixation must be viewed as a race against time."

(La utilización de fijadores externos debe considerarse como una carrera contrarreloj).

Green, 1981

Estas palabras, enunciadas por Green en su libro "Complications of External Skeleton Fixation" (Charles C. Thomas. Springfield. 1981), reflejan gráficamente cual debe ser la filosofía con las que afrontar la utilización de los fijadores externos, es decir, el tiempo limitado que puede permanecer implantado un fijador externo en la extremidad intervenida.

Green (1981) considera, asimismo, que la implantación de fijadores externos genera en la región intervenida una serie de fenómenos que resultan altamente beneficiosos para la correcta evolución de la cicatrización ósea (rápida revascularización, mínima interferencia del material implantado, etc.), a la vez que se producen otros fenómenos, especialmente a medio y largo plazo, que pueden retrasar la cicatrización ósea e incluso complicarla severamente (osteolisis periaguja). Paralelamente, la reducción mediante fijadores externos permite además la instauración de determinados fenómenos que pueden resultar simultáneamente beneficiosos y perjudiciales según la intensidad con la que se presenten (grado de estabilidad en la reducción de la fractura)(Green, 1981).

La limitación temporal a la que aludíamos al principio del capítulo se debe al hecho de que el punto más débil del conjunto fijador externo-hueso intervenido es la interfase aguja-hueso (Briggs y Chao, 1982) puesto que el desarrollo de un proceso osteolítico en el componente óseo de esa interfase es un fenómeno inevitablemente presente en mayor o menor medida cuando se aplican fijadores externos (Green, 1981), lo cual puede conducir a la desestabilización del fijador y al fracaso en la reducción de la fractura.

La desestabilización global del fijador externo se produce cuando varias de las agujas que lo integran se desprenden prematuramente (es decir, antes de culminarse la consolidación de la fractura), suponiendo, tal desprendimiento la complicación más importante en la utilización de los fijadores externos (Green, 1981; Aron y Toombs, 1984 y 1986; Egger, 1991b). Dada la dificultad en la detección clínica del citado desprendimiento, la valoración

radiográfica de la reacción osteolítica presente en el hueso que rodea a la aguja representa un método francamente útil para poder predecir el desprendimiento presente o futuro de aquélla (Fox, 1986; Egger, 1991a; Pettine et al., 1993). El resultado de la reacción osteolítica en nuestro estudio y a partir de las citadas consideraciones, refleja unos valores para el grupo de flexión significativamente mayores a los del grupo de angulación. Por lo tanto, y a pesar de lo apuntado por distintos autores (Eghker et al., 1980; Clamen, 1980; Gaudichaud et al., 1982; Renegar et al., 1982; Paul, 1982; Robertson, 1983; Sinibaldi, 1983; Aron y Toombs, 1984; Roe et al., 1985; Weber y Magerl, 1985; Aron y Dewey, 1992; Bouvy et al., 1993), podríamos afirmar que, en nuestro caso, la implantación transversal y posterior flexión de las agujas muestra una frecuencia superior de desprendimiento y por tanto sería una práctica menos recomendable para evitar el desplazamiento lateral del fijador y por tanto su desestabilización, a pesar de que momentáneamente lo llegase a evitar (Egger y Greenwood, 1985a). Al ser la osteolisis una de las causas de la exudación del trayecto de la aguja, resulta también justificable que la reacción inflamatoria (en la que se incluye la exudación) registrada en el grupo de flexión se haya mostrado significativamente mayor que la del grupo de angulación. Por el mismo motivo, la mayor reacción osteolítica relativa de las interfases centrales (2 y 3) del grupo de flexión se acompaña de una reacción inflamatoria igualmente superior en esas interfases con respecto a las mismas del grupo de angulación (Tabla V.4.; pág. 200).

La justificación de una menor reacción osteolítica en el grupo de angulación podría basarse en conceptos de tipo biomecánico. Por una parte, la mayor superficie de contacto entre la aguja y el hueso derivada de la implantación angulada de la aguja (Gumbs et al., 1988) posibilita que las interfases del grupo de angulación tengan que soportar una menor tensión por unidad de superficie. Por otra parte, las interfases del grupo de flexión deben de soportar, además del estrés dinámico generado por las fuerzas de apoyo (presente también en las interfases del grupo de angulación), los efectos del estrés estático derivado de la incurvación de las agujas para obtener la compresión interfragmentaria (Pettine et al., 1993). Ambos fenómenos se traducirían inicialmente en la presencia, alrededor de las agujas incurvadas, de un anillo de tejido óseo profundamente lesionado (microfisuras, desestructuración tisular, muerte celular, etc) detectado en las imágenes de microscopía electrónica de retrodispersión a los 7 días de la intervención (Fig. V.41) y que posteriormente se convertiría en un anillo de tejido óseo necrótico visualizable radiológicamente a partir de los 15 ó 30 días.

Asimismo, es evidente que cuando la reacción osteolítica todavía no ha progresado excesivamente, la incurvación de las agujas, en el grupo de flexión, genera una marcada compresión interfragmentaria en la zona de aposición intercortical. A partir de las observaciones de Rhineland (1972) relacionadas con el efecto de la compresión sobre la

vascularización cortical (pág. 121), resulta posible suponer, en ausencia de otros argumentos más verosímiles, que la citada compresión dificultaría la microvascularización en los márgenes osteotomizados, déficit que se añade a la ya precaria situación vascular existente tras la osteotomía (Schatzker et al., 1975; Rahn, 1982). Dicha apreciación ha podido ser confirmada tanto gammagráficamente como microangiográficamente. En el primer caso, se ha podido observar cómo los índices de captación gammagráfica del grupo de angulación son significativamente mayores ($p < 0,001$) a los registrados en el grupo de flexión (pág. 243) lo que implica que también el aporte vascular a nivel de la zona osteotomizada es mayor en el grupo de angulación, puesto que la captación gammagráfica de los 15 primeros días después de la intervención es un reflejo claro de la respuesta vascular postfracturaria (Paradis y Kelly, 1975; Hughes et al., 1978; Lavender et al., 1979). Las gráficas de captación lineal en el control postoperatorio de 7 días reflejan el mismo déficit vascular al presentar aquéllas una depresión central, especialmente evidente en los animales nº 5 (pág. 246 y Fig. V.11, pág. 252); nº 8 (pág. 248) y nº 18 (pág.18). Asimismo, la evaluación microangiográfica corrobora igualmente las observaciones gammagráficas al visualizar en las preparaciones del grupo de flexión una franja isquémica en las corticales a ambos lados de la línea de osteotomía más amplia en el grupo de flexión. Probablemente, también la demora en la respuesta osteoclástica de las preparaciones del grupo de flexión observada en las imágenes de microscopía electrónica de retrodispersión esté de alguna manera relacionada con el déficit vascular descrito anteriormente.

Ya en 1941, Murray demostró que el aporte vascular resulta esencial, junto con una adecuada estabilización interfragmentaria, para el correcto desarrollo del proceso de consolidación fracturaria (Murray, 1941; Cruess y Dumont, 1985a). Por consiguiente, si tanto los resultados gammagráficos como los microangiográficos nos demuestran que las osteotomías del grupo de angulación disponen de un más rico aporte vascular, también es de esperar que tal situación se traducirá, siempre que dispongamos de una suficiente estabilidad, en una consolidación más temprana de las osteotomías del grupo de angulación. Efectivamente, a partir del estudio radiológico hemos podido comprobar cómo los tiempos medios de consolidación en el grupo de angulación (~56 días) son significativamente menores ($p=0,003$) que los del grupo de flexión (~66 días) y que a partir de una población determinada, entre el 21% y el 64% de ellos consolidarían antes con el fijador de tipo angulación (intervalo de confianza: 95%) (pág. 222). Evidentemente, la significación estadística obtenida en los resultados radiológicos debería verse también reflejada en los restantes estudios. Gammagráficamente, los índices de captación registrados a partir del control postoperatorio de 15 días, y por tanto indicativos de la neoformación ósea que tiene lugar en el foco de osteotomía (Hughes, 1978; Lavender et al., 1979), siguen siendo más elevados en el grupo de angulación que en el de flexión, lo que indica simplemente un mayor depósito de hueso neoformado. Sin embargo y de forma excepcional, los índices de captación

más elevados no siempre indican un mejor grado de consolidación de la fractura, tal como se demuestra en el animal nº 6. En este caso, los índices de captación a los 30 y 60 días son superiores en la extremidad izquierda (grupo angulación) (Tabla V.28; pág. 242) sin embargo, las imágenes radiográficas muestran una mayor madurez del callo de la extremidad derecha (grupo flexión) (Fig. V.5.; pág. 231). Wallace et al. (1992), definen como "insensibilidad" de los índices de captación cuando un valor elevado de éstos sólo refleja la cantidad de tejido óseo neoformado sin que ello se correlacione con una mejor consolidación de la fractura. En nuestro caso, los elevados índices de la extremidad izquierda (angulación) reflejan la existencia de un callo perióstico exuberante (depósito importante de hueso neoformado gracias a un adecuado aporte vascular) debido probablemente a una insuficiente estabilidad interfragmentaria que dificulta el cierre completo del callo (Fig. V.5A). Afortunadamente, dicha inespecificidad, es decir la falta de correlación, en algunas ocasiones, entre los índices de captación y el grado de consolidación de la fractura, desaparece por completo cuando se incluye, en el estudio gammagráfico, la valoración de las gráficas de captación lineal a partir de las imágenes adquiridas con el colimador de tipo "pin-hole". En el caso anteriormente expuesto, y a pesar de que las imágenes obtenidas con el colimador paralelo a los 60 días (Fig. 10B; pág. 251) no aportan ninguna información adicional, las gráficas de captación lineal (pág. 247 y Fig. V13; pág. 253) en ese mismo periodo concuerdan con el diagnóstico radiológico al presentar, en la extremidad del grupo de angulación, una depresión localizada a nivel del foco de fractura que indica un cierto retraso en el depósito de hueso neoformado en esa precisa zona. El trazado de la citada gráfica se asemeja a los descritos en casos de uniones retardadas o de no uniones (Gummerman et al., 1978). Por el contrario, la extremidad contralateral presenta a ese nivel, una gráfica de pico único indicando una mejor consolidación (Fig. V13; pág. 253). No obstante, la correlación habitual (representada en los animales nº 5 y 8; págs. 242; 246; 248; Fig.V.8, pág. 250; y Fig. V.14, pág. 253) sugiere que cuanto mayor sea el índice de captación gammagráfica mayor será el depósito óseo y por tanto mayor será la robustez del callo. Ello conducirá a una rápida consolidación de la osteotomía con lo que podremos proceder a la retirada del fijador externo con anterioridad a la posible desestabilización por fenómenos de osteolisis generalizada en las distintas interfases. La evaluación de las gráficas de captación permitirá disponer de una valoración más precisa en determinados casos en los que se detecte una cierta complicación en el proceso de cicatrización ósea.

Asimismo, la valoración mediante microscopía electrónica de retrodispersión de las preparaciones del animal nº 6, permite comprobar cómo la depresión central presente en la gráfica de captación gammagráfica descrita anteriormente (extremidad intervenida con el fijador tipo angulación, control postoperatorio de 60 días) se corresponde a la interposición de tejido no visible en las imágenes, cuya zona periférica presenta un patrón de calcificación característico del tejido cartilaginoso (Figs. V.60 y V.61), evidenciable radiológicamente en

el control postoperatorio de 45 días (Fig. V.5A) y confirmado histológicamente. Resulta imposible diferenciar el aspecto radiológico del cartílago calcificado del del hueso (Fig. V.5B; pág 231) sin embargo, la observación microscópica de la presencia de una tasa de calcificación mínima en el cartílago situado justo en la línea de osteotomía así como la menor compactación del cartílago calcificado con respecto a la del hueso calcificado o a la del tejido condroide observadas, justificaría el descenso en los valores de captación lineal a nivel del foco osteotomizado. La presencia también de cartílago calcificado en la preparación de flexión (aunque en menor cantidad) sugeriría unas condiciones de estabilidad inadecuadas en ambas osteotomías y en algún momento del periodo postoperatorio aunque, el hecho de que el tejido cartilaginoso se encuentre en avanzado estado de calcificación implica que las condiciones de estabilidad actuales son suficientes como para permitir una consolidación final de la osteotomía. Por lo tanto, la posibilidad de observar mediante microscopía electrónica de retrodispersión el grado de calcificación y compactación del cartílago permite, a diferencia de las técnicas histológicas convencionales (con decalcificación), emitir un pronóstico preciso de la consolidación de la osteotomía y valorar justamente la trascendencia de la presencia de cartílago según tienda a calcificarse (caso en el que la fractura acabará consolidando aunque con un mayor tiempo invertido para lograrlo) o bien no existan indicios de tal calcificación (lo que podría conducirnos al diagnóstico de una no-uni6n).

La mejor cicatrizaci6n 6sea en el grupo de angulaci6n no s6lo se evidenci6, como ya hemos visto, con unos tiempos de consolidaci6n m6s cortos sino tambi6n por la naturaleza m6s madura de los componentes tisulares que constituyen el callo 6seo y a pesar de que el aspecto radiogr6fico sea similar. La exploraci6n mediante microscopía electrónica de retrodispersi6n ha permitido una correcta tipificaci6n de las distintas variedades tisulares que intervienen en el proceso de cicatrizaci6n fracturaria (tej. condroide, tej. cartilaginoso, hueso fibrorreticular, hueso lamelar) y una valoraci6n m6s precisa de la madurez tisular de las distintas preparaciones. En este sentido, la considerablemente mayor velocidad de calcificaci6n del tejido condroide (unas $70\mu/\text{día}$) con respecto a la del t. cartilaginoso (unas $40\mu/\text{día}$) (Goret-Nicaise, 1986), proporciona con anterioridad un armaz6n calcificado al tejido 6seo imprescindible para su aposici6n (Dhem et al. 1989). Por lo tanto, la mayor cantidad de tejido condroide presente en las preparaciones del grupo de angulaci6n posibilita una mayor y m6s prematura aposici6n de tejido 6seo fibrorreticular o lamelar (seg6n la estabilidad presente en cada zona de la propia fractura) lo que se traducir6 en una mayor madurez tisular del callo y en una m6s avanzada cicatrizaci6n de la osteotomía (animal n6 5: im6genes radiogr6ficas, p6gs. 228-229; im6genes de microscopía electrónica de retrodispersi6n, p6gs. 290-291), incluso en aquellos casos en los que ambas osteotomías de un mismo animal se consideraron como consolidadas radiogr6ficamente en el mismo control postoperatorio

Es posible tambi6n que la mayor presencia de tejido condroide en el grupo de

angulación se relacione de alguna manera con la menor rigidez de la reducción interfragmentaria existente en este grupo. Distintos autores (Goret-Nicaise, 1986; Goret-Nicaise et al., 1988; Manzanares et al., 1988; Dhem et al., 1988) demostraron que en aquellas situaciones biomecánicas en las que predominan las fuerzas de distracción y compresión tiene lugar una mayor formación de tejido condroide. Estas serían las condiciones presentes en el foco de osteotomía reducido mediante el fijador de tipo angulación, produciéndose una reducción estable pero menos rígida a la presente en el grupo de flexión debido a la compresión interfragmentaria generada por la incurvación de las agujas (Paul, 1982; Sinibaldi, 1983; Aron y Toombs, 1984; Aron y Dewey, 1992). Los trabajos de Burny (1979) y de Goodship y Kenwright (1985) ya demostraron que una reducción estable pero no rígida y por tanto que posibilitase la presencia de micromovimientos a través del foco de fractura ejercía un efecto estimulante en la osteogénesis. Posteriores estudios (Kenwright y Goodship, 1989; Ilizarov, 1989; Karaharju et al., 1993; Egger et al., 1993a; Kershaw et al., 1993) han confirmado las citadas observaciones y en ellos se basa la concepción actual de la dinamización de las fracturas, bien sea mediante la utilización de sofisticados sistemas de fijación externa (De Bastiani et al., 1984; Chao et al., 1989; Egger, 1993b; Aro y Chao, 1993) o el progresivo desensamblaje del fijador externo utilizado en medicina veterinaria por las evidentes limitaciones económicas (Egger, 1990a y 1991b; Rudd y Whitehair, 1992; Lincoln, 1992). Por este motivo, las osteotomías del grupo de flexión deberían presentar un callo perióstico de menor tamaño dada la mayor rigidez en la reducción (Palmer et al., 1992), sin embargo, no se registra siempre tal comportamiento porque en control postoperatorio avanzados, el desarrollo de reacciones osteolíticas en las interfases del grupo de flexión reduce la rigidez de la reducción y la compresión interfragmentaria, cuya estabilidad en este grupo puede incluso ser menor (y, por tanto, el callo mayor) a la del grupo de angulación. Prueba de ello es la existencia de individuos con callos de menor tamaño en la osteotomía intervenida con el fijador de tipo flexión que en la de angulación, lo que indica claramente, una reducción interfragmentaria de mayor rigidez. Sin embargo, la tendencia más generalizada solía ser justo la contraria. La disparidad de comportamientos explicaría la falta de diferencias estadísticamente significativas registradas en la valoración radiológica del callo de fractura (pág. 223). Así pues, y aunque en nuestro estudio no se ha cuantificado biomecánicamente la rigidez que genera la incurvación de las agujas es evidente que en el grupo de flexión la compresión interfragmentaria generada por la incurvación de las agujas siempre en la medida descrita por distintos autores y utilizada en la práctica clínica habitual (Eghker et al., 1980; Aron y Toombs, 1984), se traduce en una reducción de la osteotomía más rígida en las fases iniciales y variable en las siguientes (en función del grado de osteolisis periaguja).

La detección prerradiológica de los cambios que tienen lugar en el hueso intervenido es un hecho frecuentemente observado en los estudios comparativos radiogammagráficos

(Gummerman et al., 1978; Mattar y Siegel, 1979). De esta manera, es posible detectar a partir de los resultados gammagráficos (valoración visual, cuantitativa y mediante gráficas de captación), cambios que acontecen en el hueso intervenido (focos de hipercaptación a nivel del foco de fractura o en las interfases aguja-hueso) que tardarán entre 7 y 15 días en manifestarse radiológicamente en forma de callo fracturario o de reacción perióstica alrededor de la aguja. Un buen ejemplo de lo descrito anteriormente puede encontrarse en las imágenes gammagráficas (Fig. V.14; pág. 253) y radiológicas (Fig. V.1., pág. 227 y Fig. V.2. pág. 228) del animal nº 8, en las que se detecta un activo foco de hipercaptación a nivel de la zona osteotomizada a los 15 días (ambas extremidades) y no aparecen signos radiográficos claros de presencia de callo perióstico hasta el control postoperatorio de 30 días. Asimismo, el foco secundario de hipercaptación localizado por debajo de la epífisis tibial proximal y detectado en la extremidad izquierda (grupo angulación) ya en el control postoperatorio gammagráfico de 15 días (informando de foco de neoformación ósea) apenas se percibe en el control postoperatorio radiográfico de 30 días en forma de una reacción perióstica de la interfase nº 1. Asimismo, la frecuencia con la que aparecen focos secundarios de hipercaptación subepifisarios (región proximal de la tibia) en los distintos controles postoperatorios de la mayoría de animales, coincide también con que la interfase nº 1 presenta los valores medios más elevados de reacción inflamatoria y osteolítica de las cuatro interfases. Las valoraciones gammagráfica, clínica y radiológica que indican una afectación ósea más importante en la interfase aguja-hueso nº 1 coinciden con los resultados clínicos y radiológicos obtenidos por otros autores (Paul, 1982; Gumbs et al., 1988; DeCamp et al., 1988). Asimismo, la valoración gammagráfica ha permitido descartar la presencia de fenómenos osteomielíticos en algunas interfases que presentaban signos radiológicos compatibles, según algunos autores (Walker et al., 1975), con los citados procesos.

Un último detalle a destacar se refiere al paralelismo detectado en los resultados de las distintas pruebas y entre las dos osteomías del mismo animal. En este sentido y especialmente en lo referente a los resultados radiológicos, gammagráficos y de microscopía electrónica de retrodispersión, las diferencias más importantes observadas se produjeron entre distintos individuos, mientras que en un mismo individuo, y aunque las diferencias favorecían generalmente a la extremidad intervenida con el fijador de tipo angulación, éstas se manifestaban de forma menos marcada. Ello indicaría la conocida dependencia multifactorial de la correcta cicatrización fracturaria, sobre la que el tipo de configuración de fijador externo empleada representaría simplemente uno más de los factores determinantes.

VII. CONCLUSIONES.

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en los distintos estudios realizados y tras la correspondiente contrastación con la bibliografía consultada podemos formular las siguientes conclusiones:

- 1.- El valor medio de la reacción inflamatoria en las interfases aguja-piel del grupo de flexión es significativamente mayor ($p < 0,001$) que en el grupo de angulación.
- 2.- No hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas en cuanto al grado de recuperación funcional ni al apoyo postquirúrgico entre las extremidades de ambos grupos.
- 3.- El valor medio de la osteolisis en las interfases aguja-hueso del grupo de angulación es significativamente menor ($p < 0,005$) que el del grupo de flexión, lo que se correspondería con una menor frecuencia en el desprendimiento de las agujas.
- 4.- El tiempo de consolidación medio de las osteotomías del grupo de angulación es significativamente menor ($p < 0,005$) al del grupo de flexión.
- 5.- No hemos podido detectar diferencias estadísticamente significativas con referencia al tamaño del callo de fractura, reacción perióstica periaguja ni grado de desplazamiento interfragmentario.
- 6.- En lo que respecta a índices y a gráficas de captación gammagráficas, nuestro estudio ha permitido aportar unos patrones de referencia sobre la cicatrización ósea en osteotomías tibiales caninas reducidas con fijadores externos no reflejados con anterioridad en la literatura científica.
- 7.- El estudio gammagráfico revela que el proceso de cicatrización de las osteotomías del grupo de angulación avanza más rápidamente y manifiesta un mayor grado de madurez que las del grupo de flexión.
- 8.- El estudio microangiográfico confirma las observaciones gammagráficas al demostrar, en las fases iniciales, un marcado déficit vascular cortical en la zona osteotomizada del grupo de flexión y una mayor riqueza vascular en el grupo de angulación.

- 9.- A partir del estudio microrradiográfico y microscópico de retrodispersión, se ha podido constatar que las osteotomías del grupo de angulación presentan una mayor y más rápida respuesta osteoclástica así como una mayor madurez de los tejidos que participan en el proceso de cicatrización.
- 10.- El estudio con microscopía electrónica de retrodispersión ha permitido identificar, en fracturas de huesos largos, la presencia de tejido condroide, hasta ahora únicamente reflejado en el bibliografía con referencia a fracturas de huesos craneales.

Finalmente, relacionando algunos de los aspectos principales que acabamos de mencionar, podemos afirmar a modo de resumen:

- a) que la reacción osteolítica media es significativamente menor en el grupo de angulación, por lo que también será menor el desprendimiento prematuro de las agujas y la desestabilización del fijador externo, y,
- b) que la mayor riqueza vascular de las osteotomías del grupo de angulación, determinada tanto microangiográficamente como gammagráficamente, junto con unas condiciones de estabilidad no rígida conducen a una consolidación más rápida de las osteotomías, demostrada radiológicamente, así como a una mayor madurez de los tejidos que constituyen el callo de fractura, demostrada mediante microscopía electrónica de retrodispersión.

X. BIBLIOGRAFIA

X. BIBLIOGRAFIA

- Adams, S.B.: The role of external fixation and emergency fracture management in bovine orthopedics. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice*. 1(1):109-129, 1985.
- Adams, F.: *The Works of Hippocrates*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1939. Reprinted as "The Classic. An Abridged Report on External Skeletal Fixation. Hippocrates. *Clinical Orthopaedic and Related Research*, 241:3-4, 1989.
- Albright, J.A. and Brand, R.A.: *The Scientific Basis of Orthopaedics*. Appleton-Century-Crofts. New York. 1979
- Alegre, F.; Duran, A.I.; López, A.; Robert, S.: Fractura de quinta vértebra lumbar. Nueva técnica de reducción. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 9(4): 25-29, 1989.
- Alexander, J.W.: Tibial Fractures and Their Management. *Comp. Cont. Ed.* 4(1):78-87, 1982.
- Alexander, J.W.: Fracture classification and basic principles of management. In: Alexander, J.W. (ed): *Leonard's Orthopedic Surgery of the Dog and Cat*. 3rd ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1985a.
- Alexander, J.W.: Malunions, Delayed Union, Nonunions and Growth Deformities. In: Alexander, J.W. (ed): *Leonard's Orthopedic Surgery of the Dog and Cat*. 3rd ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1985b.
- Allhands, R.V.; Kallfelz, F.A.; Lust, G.: Radionuclide Joint Imaging: An Ancillary Technique in the Diagnosis of Canine Hip Dysplasia. *American Journal of Veterinary Research*, 41(2):230-233, 1980.
- Allhands, R.V.; Twardock, A.R.; Boero, M.J.: Uptake of ^{99m}TcMDP in Muscle Associated with a Peripheral Nerve Block. *Veterinary Radiology* 28(5):181-184, 1987.
- Anderson, R.; Finlayson, B.L.: Sequelae of transfixation of bone. *Surgery* 13:46-54. 1943.
- Anderson, G.I.: Nonunion Fractures. *Seminar Proceedings. 3rd Veterinary Surgical Forum. Munich, West-Germany, 1989*.
- Anderson, M.A.; Mann, F.A.; Wagner-Mann, C.; Hahn, A.W.; Jiang, B.L.; Tomlinson, J.L.: A Comparison of Nonthreaded, Enhanced Threaded, and Ellis Fixation Pins Used in Type I External Skeletal Fixators in Dogs. *Veterinary Surgery*, 22(6):482-489, 1993.
- Anson, L.W.: Malunions. In: Olmstead, M.L. (ed.): *Fracture Complications. Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 21(4):761-780, 1991.
- Antonin, J.; Guitart, P.; Rodón, J.: Fractura diafisaria del antebrazo. Tratamiento por fijación externa. *Bases mecánico-anatómicas. Clínica Veterinaria de Pequeños Animales* 11(10):21-44, 1991.
- Arnoczky, S.P.; Wilson, J.W.; Schwarz, P.: Fractures and Fracture Biology. In: Slatter, D.H. (ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Arnoczky, S.P.; Wilson, J.W. Fracture Biology. A.A.H.A. 52nd Annual Meeting. Orlando, 1985.
- Aro, H.T.; Kelly, P.J.; Lewallen, D.G.; Chao, E.Y.S.: Comparison of the effects of dynamization and constant rigid fixation on rate and quality of bone osteotomy union in external fixation. *Orthop. Trans. Orthop. Res. Soc.* 12:378. 1988
- Aro, H.T.; Kelly, P.J.; Lewallen, D.G.; Chao, E.Y.: The effects of physiologic dynamic compression on bone healing under external fixation. *Clin. Orthop.* 256:260-273, 1990.
- Aro, H.T.; Wahner, H.T.; Chao, E.Y.: Healing patterns of transverse and oblique osteotomies in the canine tibia under external fixation. *J. Orthop. Trauma*. 5(3):351-364, 1991
- Aro, H.T. and Chao, E.Y.S.: Bone-Healing Patterns Affected by Loading, Fracture Fragment Stability, Fracture Type, and Fracture Site Compression. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 293:8-17, 1993.
- Aron, J.D.: Using methyl methacrylate to make external fixation spints. *J. Bone Jt. Surg.* 58A:151, 1976.
- Aron, D.N.: Delayed Unions and Non-Unions of Fractures. In: Bojrab, M.J. (ed.): *Current techniques in small animal surgery*. Lea & Febiger. Philadelphia. 1983
- Aron, D.N. and Toombs, J.P.: Update Principles of External Skeletal Fixation. *Comp. Cont. Ed.* 6(9): 845-858, 1984.
- Aron, D.N. and Toombs, J.P.; Hollingsworth, S.C.: Primary Treatment of Severe Fractures by External Skeletal Fixation: Threaded Pins Compared with Smooth Pins. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 22: 659-670, 1986.
- Aron, D.N.: Oblique Fractures: Special Consideration for Management. *Compendium on Continuing Education*, 12(12):1743-1754, 1990.

- Aron, D.N.; Dewey, C.W.: Application and Postoperative Management of External Skeletal Fixators. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol: 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Arsenault, A.L.; Hunter, W.L. and Hodsman, A.B.: Microvascular Organization at the epiphyseal-Metaphyseal Junction of Normal and Rachitic Rats. In: Uthoff, H.K. and Wiley, J.J. (eds.): Behavior of the Growth Plate. Raven Press, New York, 1988.
- Autefage, A.: Le Cal Sous Fixation Externe. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991a.
- Autefage, A.: Le Fixateur Externe à Coaptateurs à Flasques. Préparation du Montage d'Après les Radiographies. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991 b.
- Autefage, A.: Le Fixateur Externe à Coaptateurs à Flasques. Fractures par Arme à Feu. Fractures Ouvertes. Osteomyélite. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991c.
- Badia, J.M.; Roger, L.I.; Mascaró, R.; Ximeno, L.I.: Método Ilizarov. Elementos Básicos y Montajes. Avances en Traumatología 17(4):199-204, 1987
- Bagby, G.W.; Janes, J.M.: The effect of Compression on the Rate of Fracture Healing Using a Special Plate. American Journal of Surgery. 95:761-771. 1958
- Balligand, M. Surgical treatment of incurvation of the radius by external fixation in two adult dogs. Annales de Médecine Veterinaire, 130(3): 159-167, 1986.
- Basset, C.A.L.; Pawluk, R.J.; Pilla, A.A.: Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields: A surgically non-invasive method. Annals of the New York Academy of Sciences. 238:242-261.1974.
- Behrens, F.: A Classification of External Fixators. In: Uthoff, H.K. (ed.): Current Concepts of External Fixation of Fractures. Springer-Verlag, Berlin. 1982a.
- Behrens, F.: Unilateral External Fixation for Severe Lower Extremity Lesions: Experience with the ASIF (AO) Tubular Frame. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982b.
- Behrens, F.; Johnson, W.D.; Koch, T.W.; Kovacevic, N.: Bending Stiffness of Unilateral and Bilateral External Fixator Frames. Clinical Orthopaedic and Related Research. 178:103-110. 1983.
- Behrens, F.: A Primer of Fixator Devices and Configurations. Clinical Orthopaedics and Related Research 241:5-14, 1989.
- Behrens, F. and Johnson, W.D.: General Theory and Principles of External Fixation. Clinical Orthopaedics and Related Research 241:15-23, 1989a.
- Behrens, F. and Johnson, W.D.: Unilateral External Fixation. Methods to Increase and Reduce Frame Stiffness. Clinical Orthopaedics and Related Research 241:48-56, 1989b.
- Bennett, R.A.; Egger, E.L.; Histand, M.; Ellis, A.B.: Comparison of the strength and holding power of 4 pin desing for use in half pin (type 1) external fixation. Vet. Surg. 16(3): 207-211, 1987.
- Berg, J.; Lamb, C.R.; O'Callaghan, M.W.: Bone Scintigraphy in the Initial Evaluation of Dogs with Primary Bone Tumors. Journal of American Veterinary Medical Association 196(6):917-920, 1990.
- Berzon, J.L.: Fractures of the Humerus. In: Slatter D. H. (ed). Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Bianchi-Maiocchi, A.: Introduzione alla conoscenza delle metodiche di Ilizarov in ortopedia e traumatologia. Ed. Medi Surgical Video. Milano, 1983.
- Biery, D.N.: Orthopaedic Radiography. In: Newton, C.D. & Nunamaker, D.M. (Eds.): Textbook of Small Animal Orthopaedics. J.B. Lippincott Co. Philadelphia. 1985.
- Binnington, A.G.: Delayed union and nonunion. En: Slatter D.H. (ed). Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Bjorling, D.E., Toombs, J.P.: Transarticular application of the Kirschner-Ehmer splint. Veterinary Surgery 11(1): 34-40, 1982.
- Blass, Ch. E.: External stabilization of long bone fractures. A.A.H.A 53rd Annual Meeting. New Orleans, 1986.
- Bloomberg, M.S., Goring, R.L., Born, F.: Frozen diaphyseal bone allografts combined with external and internal pin splintage in small animal orthopedic surgery. J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 20:393-403, 1984.
- Bloomberg, M.S.: Practical long bone fracture fixation. External pin splintage. A.A.H.A. 52nd. Annual Meeting. Orlando, 1985.
- Bohr, H. and Sorensen, A.H.: Study of fracture healing by means of radio-active tracers. Journal of Bone and Joint Surgery. 32(A):567-574.

1950.

Boitzy, A.: *Ostéogénèse et compression*. Haans Huber Berne. Stuttgart. 1972.

Boltze, W.H. *Le fixateur externe*. Bulletin A.O., 1976.

Bonneau, N.H., Olivieri, M., Breton, L.: *Avulsion of the gastrocnemius tendon in the dog causing flexion of the hock and digits*. Journal of American Animal Hospital Association. 19(5): 717-722, 1983.

Bonnel, F. and Micaffeff, J.I.: *Etude Biomécanique Comparative des Fixateurs Externs. (Tibia-Femur)*. Rev. Chir. Orthop. 69:367-370, 1983.

Boone, E.G., Johnson, A.L., Montavon, P., Hohn, R.: *Fractures of the tibial diaphysis in dogs and cats*. J.A.V.M.A. 188(1): 41-45, 1986.

Boothe, H., Tangner, C.H.: *Clinical application of the Kirschner apparatus in long bone fractures*. J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 19(5): 679-687, 1983.

Boothe, H.W.; Boothe, D.M.; Komkov, A.; Hightower, D.: *Use of Hepatobiliary Scintigraphy in the Diagnosis of Extrahepatic Biliary Obstruction in dogs and cats: 25 cases (1982-1989)*. Journal of American Veterinary Medical Association 201(1):134-141, 1992.

Bourne, G.H.: *The Biochemistry and Physiology of Bone*. 2nd. Ed. Academic Press. New York. 1972.

Bouvy, B.M.; Markel, M.D.; Chelikani, S.; Egger, E.L.; Piermattei, D.L.; Vanderby, R.: *Ex Vivo Biomechanics of Kirschner-Ehmer External Skeletal Fixation Applied to Canine Tibiae*. Veterinary Surgery, 22(3):194-207, 1993.

Braden, T.D.; Brinker, W.O.; Little, R.W.; Jenkins, R.B.; Butler, D.: *Comparative Biomechanical Evaluation of Bone Healing in the Dog*. Journal of American Veterinary Medical Association, 163(1):65-69. 1973

Braden, T.D.; Brinker, W.O.: *Radiologic and gross anatomic evaluation of bone healing in the dog*. J.A.V.M.A., 169(12):1318-1324, 1976.

Braden, T.D.: *Posttraumatic Osteomyelitis*. In: Olmstead, M.L. (ed.): *Fracture Complications*. Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice. 21(4):761-780, 1991.

Bradley, R.L., Rouse G.P.: *External skeletal fixation using the through-and-through Kirschner-Ehmer splint*. J. Am. Anim. Hosp. Assoc. (16): 523-530, 1980.

Braitto, W.; Montanari, C.; Caracciolo, F.; Paroni, G.; Domenella, G.: *False aneurysm of the anterior tibial artery in lower leg fractures treated with the Ilizarov external fixator*. Case report. Ital. J. Orthop. Traumatol. 18(1):135-139. 1992. Abs.

Bramlage, L.R.; Weisbrode, S.M.; Spurlock, G.E.: *The effect of a pulsating electromagnetic field on the acute healing of equine cortical bone*. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners, 30:43-48, 1984.

Brand, R.A.: *Fracture Healing*. In: Albright, J.A. and Brand, R.A. (eds.): *The Scientific Basis of Orthopaedics*. Appleton-Century-Crofts. New York. 1979

Brandeisky, J.A.; Sherman, M.; Lenet, M.: *Compression: is it necessary for bone healing?*. J. Foot Surg. 28(5):425-428, 1989.

Briggs, B.T. and Chao, E.Y.: *The mechanical performance of standard Hoffmann-Vidal external fixation apparatus*. J. Bone Jt. Surg. 64A:566, 1982.

Brinker, W.O.: *Fractures of the Mandible*. Veterinary Medicine 44:53-55, 1949.

Brinker, W.O.: *Skeletal Fixation-pin splints*. In: Lacroix, J.V.; Hoskins, H.P. (eds.): *Canine Surgery*, 3rd Ed. American Veterinary Publications. Evanston. 1952.

Brinker, W.O. and Flo, G.L.: *Principles and Application of External Skeletal Fixation*. Vet. Clin. North Am. [Small Anim. Pract.], 5(2):197-208, 1975.

Brinker, W.O.; Hohn, R.B.; Prieur, W.D.: *Manual of Internal Fixation in Small Animals*. Springer-Verlag. Berlin. 1984.

Brinker, W.O.; Verstraete, M.C.; Soutas-Little, R. Wm.: *Stiffness Studies on Various Configurations and Types of External Fixators*. J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 21(6): 801-808, 1985.

Brinker, W.O.; Piermattei, D.L.; Flo, G.L.: *Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Treatment*. 2nd. Ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1990.

Brockman, D.J.: *The use of External Skeletal fixators in small animals*. Veterinary and Comparative Orthopaedic Traumatology 4:50, 1991.

Brooker, A.F.Jr. and Edwards, C.C.: *External Fixation. The Current State of the Art*. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1979.

- Brooker, A.F.: History of External Fixation. In: Brooker, A.F.; Cooney, W.P.; Chao, E.Y. (eds.): Principles of External Fixation. Williams and Wilkins. Baltimore. 1983.
- Brooker, A.F.: Principles of External Fixation. In: Brooker, A.F.; Cooney, W.P.; Chao, E.Y. (eds.): Principles of External Fixation. Williams and Wilkins. Baltimore. 1983b.
- Brookes, M.: The Blood Supply of Bone. Butterworths. London. 1971
- Brown, G.: Secondary Bone Union. In: Bojrab, M.J. (ed.): Pathophysiology in Small Animal Surgery. Lea & Febiger, 1981.
- Burny, F.L.: Elastic External Fixation of Tibial Fractures. Study of 1421 Cases. In: Brooker, A.F.Jr. and Edwards, C.C. (eds.): External Fixation. The Current State of the Art. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1979.
- Burny, F.L.; Bourgois, R.; Donkerwolcke, M.: Elastic External Fixation: A Biomechanical Study of the Half-Frame. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982
- Burstein, A.H.; Currey, J.C.; Frankel, V.H.; Heiple, K.G.; Lunseth, P.; Vessely, J.C.: Bone Strength. The Effect of Screw Holes. The Journal of Bone and Joint Surgery, 54A(6):1143-1156, 1972.
- Bush, M.: External Fixation of Avian Fractures. Journal of American Veterinary Medical Association 171(9): 943-946, 1977.
- Clamen, C.: Closed reduction of a tibial nonunion by transfixation pinning. Veterinary Surgery. 9:125-127. 1980.
- Caja, V.L.; Moroni, A.; Ruiz, J.A.; Gómez, J.C.: Importancia de los clavos en los fijadores externos. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993a.
- Caja, V.L.; Larsson, S.; Kim, W.; Chao, E.Y.S.: Biomecánica del fijador circular. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993b.
- Cañadell, J.: Alargamientos de la Extremidad Inferior. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993a.
- Cañadell, J.: Utilización de los fijadores externos en resecciones tumorales. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993b.
- Carmichael, S.: The external fixator in small animal orthopaedics. Journal of Small Animal Practice, 32:486-493, 1991.
- Ceballos, A.; Pereda, O.; Ortega, R.; Balsameda, R.: Electrically-induced osteogenesis in external fixation treatment. Acta Orthop. Belg. 57(2):102-108, 1991.
- Chambers, J.N.: Principles of management of mandibular fractures in the dog and cat. Journal of Veterinary Orthopedics, 2(2): 26-36, 1981. Abs.
- Chambers, J.N.: External skeletal fixation for routine fracture management A.A.H.A. 51st Annual Meeting. San Francisco, 1984a.
- Chambers, J.N.: External skeletal fixation for complex orthopedic problems. A.A.H.A. 51st Annual Meeting. San Francisco, 1984b.
- Chancrin, J.L.; Boubee, T.; Marguin, M.: Utilisation du Fixateur Externe du Service de Santé des Armées (F.E.S.S.A.) en chirurgie orthopédique vétérinaire: a propos de 29 cas. Pratique Medicale et Chirurgicale de l'Animal de Compagnie. 25(3):217-223, 1990.
- Chancrin, J.L.: Le Fixateur Externe du Service de Santé des Armées (F.E.S.S.A.). Materiel. Montages et Applications. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991
- Chao, E.Y.S.; Briggs, B.T.; McCoy M.T.: Theoretical and Experimental Analyses of Hoffmann-Vidal External Fixation System. In Brooker, A.F.Jr. & Edwards, C.C. (eds.): External Fixation. The Current State of the Art. Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1979.
- Chao, E.Y.S. and Pope, M.H.: The Mechanical Basis of External Fixation. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982
- Chao, E.Y.S.: Biomechanics of external fixation. In: Brooker, A.F.; Cooney, W.P.; Chao E.Y.S. (Eds.): Principles of External Fixation. Ed. Williams and Wilkins, Baltimore, 1983.
- Chao, E.Y.S.; Aro, H.T.; Lewallen, D.G.; Kelly, P.J.: The Effect of Rigidity on Fracture Healing in External Fixation. Clinical Orthopaedics and Related Research 241:24-35, 1989.
- Charkes, N.D.: Skeletal Blood Flow: Implications for Bone-Scan Interpretation. Journal of Nuclear Medicine, 21:91-98, 1980.
- Churchill, M.A.; Brookes, M.; Spencer, J.D.: The blood supply of the greater trochanter. The Journal of Bone and Joint Surgery, 74B(2):272-274, 1992.

- Cohen, A.J.; Braunstein, P.; Pais, M.J.: The role of gallium and bone scintigraphy in disseminated coccidioidomycosis. *Clinical Nuclear Medicine*. 9(9):538-539, 1984. Abs.
- Collier, M.A.; Kallfelz, F.A.; Rendano, V.T.; Krook, L.P.; Schryver, H.F.: Capacitively coupled electrical stimulation of bone healing in the horse: in vivo study with a Salter type IV osteotomy model with stainless steel surface electrodes. *American Journal of Veterinary Research*. 46(3):622-631, 1985.
- Connolly, J.F.: Selection, evaluation and indications for electrical stimulation of ununited fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 161:39-53. 1981.
- Cooper, R.C. Jr. and Cawley, A.J.: Blood Supply to the periosteum of the canine tibia. *Am. J. Vet. Res.* Vol.49, 8:1419-1423, 1988
- Copping, C.; Dalglish, S.M.; Dudley, N.J.; Griffiths, P.A.; Harrington, M.; Potter, R.; Smith, B.D.: The role of ⁹⁹Tcm-HMPAO white cell imaging in suspected orthopaedic infection. *Br. J. Radiol.* 65(772):309-312, 1992. Abs.
- Coppola Jr., A.J. and Anzel, S.H.: Use of the Hoffmann External Fixator in the Treatment of Femoral Fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 180:78-82, 1983.
- Coulboeuf, F., Geller, M., Ruhaut, B.: Application de la fixation externe aux fractures de la mandibule chez le chien. *Le point veterinaire* 18(95): 35-41, 1986.
- Court-Brown, C.M.: The Effect of External Skeletal Fixation on Bone Healing and Bone Blood Supply. An Experimental Study. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 201:278-289, 1985.
- Cruess, R.L. and Dumont, J.: Healing of Bone. Basic Fracture Healing. In: Newton, C.D. & Nunamaker, D.M. (Eds.): *Textbook of Small Animal Orthopaedics*. J.B. Lippincott Co. Philadelphia. 1985a.
- Cruess, R.L. and Dumont, J.: Healing of Bone. Conditions Influencing Fracture Healing. In: Newton, C.D. & Nunamaker, D.M. (Eds.): *Textbook of Small Animal Orthopaedics*. J.B. Lippincott Co. Philadelphia. 1985b.
- Cziffer, E.; Toth, J.: Possible applications of the "Manuflex" external fixing instrument in small animal surgery. *Acta Veterinaria Hungarica*. 37(1-2):149-165. 1989.
- Daly, W.R. Orthopaedic infections. In: Slatter, D.H. (ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Daniel, G.B. and Allhands, R.V.: *In-vitro* Testing of Technetium-99m-labeled Monoclonal Antibodies Specific for *Dirofilaria Immitis*. *Veterinary Radiology* 29(1):31-36, 1988.
- Daniel, G.B. and Allhands, R.V.: *In-Vivo* Testing of Technetium-99m-labeled Monoclonal Antibodies Specific for *Dirofilaria Immitis*. *Veterinary Radiology* 30(2):74-79, 1989.
- Davidson, J.R.; Bauer, M.: Fractures of the Mandibule and Maxilla. In: Harari, J. (ed): *The Veterinary Clinics of North America*. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Day, L.: Electrical stimulation in the treatment of ununited fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 161:54-57. 1981
- DeAngelis, M.P.: Causes of delayed union and nonunion of fractures. *Vet. Clin. North Am. [Small Anim. Pract.]*, 5:251,1975.
- De Bastiani, G.; Aldegheri, R.; Renzi-Brivio, L.: The treatment of fractures with a dynamic axial fixator. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 66B(4):539-545, 1984.
- De Bastiani, G.; Aldegheri, R.; Renzi Brivio, L.; Trivella, G.P.: Dynamic axial external fixation. *Automedica*, 10:235-272, 1989
- DeCamp, Ch. E.; Brinker, W.O.; Soutas-Little, R.Wm.: Porous titanium-surfaced pins for external skeletal fixation. *J.Am. Anim. Assoc.* (24): 295-300, 1988.
- Decante, F.: Cas clinique. Utilization d'un fixateur externe chez un veau. *Le Point Veterinaire*, 22 (132) 675-678, 1990.
- Denny, H.R.; Sridhar, B.; Weaver, B.M.Q.; Waterman, A.: The management of bovine fractures: a review of 59 cases. *Veterinary Record*. 123(11):289-295, 1988.
- de Palacios, J.; Hernández-Ros, C.; Olaguibel, J.; Rohde, M.; Fernández, M.: *Implantes Oseos y Articulares*. Bases biomecánicas y metalúrgicas de los implantes utilizados en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Ed. Norma. Madrid. 1980.
- de Pablos, J. and Cañadell, J.: Elongación de miembros inferiores. Experiencia en la Clínica Universitaria de Navarra. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 31(1):43-52, 1987.
- Dernell, W.S.; Harari, J.; Blacketter, D.M.: A Comparison of Acute Pull-Out strength Between Two-Way and One-Way Transfixation Pin Insertion for External Skeletal Fixation in Canine Bone. *Veterinary Surgery*, 22(2):110-114, 1993.
- Devous, M.D. and Twardock, A.R.: Techniques and Applications of Nuclear Medicine in the Diagnosis of Equine Lameness. *Journal of*

- American Veterinary Medical Association 184(3):318-325, 1984.
- Dew, T.L.; Keru, D.A.; Johnson, S.A.: Treatment of Complicated Femoral Fractures with External Skeletal Fixation Utilizing Bone Screws and Polymethylmethacrylate. *Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology* 5:170-175, 1992.
- DeYoung, D.J. and Probst, C.W.: Methods of Fracture Fixation. In: Slatter, D.H. (ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. Ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia. 1985.
- Dhem, A.; Goret-Nicaise, M.; Dambrain, R.; Nyssen-Behets, C.; Langelé, B.; Manzanares, M.C.: Skeletal growth and chondroid tissue. *Arch. Ital. Anat. Embriol.* 94(3):237-241, 1989.
- Domènech, J.M.: *Tablas de estadística*. Ed. Herder, Barcelona, 1988.
- Domènech, J.M.: *Métodos estadísticos en Ciencias de la Salud. Comparación de medias*. Ed. Gráficas Signo, Barcelona. 1992a.
- Domènech, J.M.: *Métodos estadísticos en Ciencias de la Salud. Comparación de proporciones*. Ed. Gráficas Signo, Barcelona, 1992b.
- Donald, G.D. and Seligson, D.: Fixateur Systems in Current Use. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982
- Donath, K.: The Diagnostic Value of the New Method for the Study of Undecalcified Bones and Teeth with Attached Soft Tissue (Säge-Schliff (Sawing and Grinding) Technique). *Path. Res. Pract.* 179:631-633, 1985.
- Donath, K.: Preparation of Histologic Sections by the Cutting-Grinding Technique for Hard Tissue and other Material not suitable to be sectioned by routine methods. Equipment and Methodical Performance. Exakt-Kulzer-Publication, Norderstedt, 1988.
- Dulisch, M.L.: Skull and Mandibular Fractures. In: Slatter, D.H. (ed): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Dyce, K.M.; Sack, W.O.; Wensing, C.J.G.: *Textbook of Veterinary Anatomy*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1987.
- Edge, A.S. and Denham, R.A.: External fixation for complicated tibial fractures. *J. Bone Joint Surg.* 63B:92-97, 1981.
- Edwards, Ch.C.: The Timing of External Fixation. In. Uthhoff, K.H.; *Current concepts of External Fixation of Fractures*. Springer-Verlag. Berlín 1982.
- Eger, C.E.: A Technique for the management of radial and ulnar fractures in miniature dogs using transfixation pins. *Journal of Small Animal Practice.* (31):377-387, 1990.
- Egger, E.L.: Static strength evaluation of six external skeletal fixation configurations. *Vet. Surg.*, 12: 130-136, 1983.
- Egger, E.L. and Greenwood, K.M.: External Skeletal Fixation. In: Slatter, D.H.(ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1972-1988, 1985.
- Egger, E.L.; Rigg, D.L.; Blass, C.E.; Berg, R.J.; Runyon, C.L.; Wykes, P.M.: Type I biplanar configuration of external skeletal fixation. Application technique in nine dogs and one cat. *JAVMA*, 187(3):262-267, 1985.
- Egger, E.L.; Freeman, L.: Transarticular pinning and external splintage for treatment of congenital hyperextension of the stifle and tibiotarsal joint: a case report. *Journal of the American Animal Hospital Association.* 21(5):663-667, 1985.
- Egger, E.L.; Histan, M.; Blass, C.E.; Powers, B.E.: Effect of Fixation Pin Insertion on the Bone-Pin Interface. *Vet. Surg.*, 15(3):246-252, 1986a.
- Egger, E.L.; Runyon, C.L.; Rigg, D.L.: Use of the Type I Double Connecting Bar Configuration of External Skeletal Fixation on Long Bone Fractures in Dogs: A Review of 10 Cases. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 22:57-64, 1986b.
- Egger, E.L.; Histan, M.B.; Norrdin, R.W.; Konde, L.J.; Schwarz, P.D.: Comparison of canine osteotomy healing stabilized with decreasingly rigid fixation against constantly rigid fixation. *Scientific Meeting Abstracts-ACVS. Veterinary Surgery* 16(1):88, 1987.
- Egger, E.L.: Introduction to External Fixation. A.A.H.A. 55th Annual Meeting. Washington, 1988a.
- Egger, E.L.: Principles of External Fixation Application. A.A.H.A. 55th Annual Meeting. Washington, 1988b.
- Egger, E.L.: Postoperative Management of external fixation. A.A.H.A. 55th Annual Meeting. Washington, 1988c.
- Egger, E.L.: Indications for the clinical use of external fixation. A.A.H.A. 55th Annual Meeting. Washington, 1988d.
- Egger, E.L. and Whittick, W.G.: Principles of Fracture Management. The Use of External Skeletal Fixation. Kirschner-Ehmer Apparatus. Half-Pin Splintage and Full-Pin Splintage. In: Whittick, W.G. (ed.): *Canine Orthopedics*. 2nd. Ed. Lea & Febiger. Philadelphia. 1990a.

- Egger, E.L.: External Skeletal Fixation. In: Bojrab, M.J. (Ed.): Current Techniques in Small Animal Surgery. 3rd. Ed. Lea & Febiger. Philadelphia. 1990b.
- Egger, E.L.: External Skeletal Fixation. En: Piermattei, D. & Egger, E.L. (eds.): A Systematic Approach to Diagnosis and Treatment of Lameness in Dogs and Cats. The Advanced Training Center for Small Animal Medicine. Deurne. 1991a.
- Egger, E.L.: Complications of External Fixation: A Problem-Oriented Approach. In: Olmstead, M.L.(ed): The Veterinary Clinics of North America (Small Animal Practice). Fracture Complications. Vol. 21 N°4. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1991b.
- Egger, E.L.: Instrumentation for External Fixation. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Egger, E.L.: External Skeletal Fixation. General Principles. In: Slatter, D.H.(ed.): Textbook of Small Animal Surgery. 2nd. Ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993a.
- Egger, E.L.: Skull and Mandibular Fractures. In: Slatter, D. (Ed.): Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993b.
- Egger, E.L.: Fractures of the Radius and Ulna. In: Slatter, D. (Ed.): Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993c.
- Egger, E.L.; Histand, M.B.; Norrdin, R.W.; Konde, L.J.; Schwarz, P.D.: Canine osteotomy healing when stabilized with decreasingly rigid fixation compared to constantly rigid fixation. *Veterinary and Comparative Orthopaedic and Traumatology*, 6:182-187, 1993a.
- Egger, E.L.; Gottsauer-Wolf, F.; Palmer, J.; Aro, H.T.; Chao, E.Y.: Effects of axial dynamization on bone healing. *J. Trauma*. 34(2):185-192, 1993b.
- Egkher, E.; Martinek, H. and Wielke, B.: How to Increase the Stability of External Fixation Units. Mechanical tests and theoretical studies. *Arch. Orthop. Traumat. Surg.* 96:35-43, 1980.
- Ehmer, E.A.: Bone pinning in fractures of small animals. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 110:14-19, 1947
- Elkins, A.D. and Morandi, M.: The Ilizarov External Ring Fixator: Principles, Techniques and Uses. In: Slatter, D.H. (ed.): Textbook of Small Animal Surgery. 2nd. Ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993.
- Ellis, H.: The Speed of Healing after Fracture of the Tibial Shaft. *J. Bone and Joint Surg.* Vol. 40B, 1:42-46, 1958.
- Fernández, T.; Gómez, L.; Ríos, A.: Fijadores Externos en el Tratamiento de Fracturas Abiertas de Tibia. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales (Revista Oficial de AVEPA)*, 7(4):187-196, 1987.
- Fernández, T.: Uso de cementos acrílicos en sistemas de fijación externa. En: Font, J. (Ed.): *Canis et Felis. Fijadores Externos*. Luzán5. Madrid. 1993.
- Fischer, D.A.: The Hoffmann External Fixator: Technique of Application. In Brooker, A.F.Jr. & Edwards, C.C. (eds.): *External Fixation. The Current State of the Art*. Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1979.
- Fogelman, I.; Collier, B.D.; Brown, M.L.: Bone Scintigraphy: Part 3. Bone Scanning in Metabolic Bone Disease. *Journal of Nuclear Medicine*. 34:2247-2252, 1993.
- Foland, M.A.; Egger, E.L.: Application of Type III External Fixators: A Review of 23 Clinical Fractures in 20 Dogs and Two Cats. *JAAHA* 27:193-202, 1991.
- Font, J.: Principios básicos de la implantación de fijadores externos. 25 Congreso AVEPA. Libro Resúmenes, Barcelona, 1989.
- Font, J.: Fijación Externa en el perro. Aplicación Clínica. Estudio comparativo de dos configuraciones. Tesis Doctoral. 1991
- Font, J.; Cairó, J.: Aplicaciones clínicas del fijador externo. En: Font, J. (Ed.): *Canis et Felis. Fijadores Externos*. Luzán5. Madrid. 1993.
- Fontaine, D.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. Technique Operatoire. In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe*. Nantes 1991a.
- Fontaine, D.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. Radius-Ulna. Montages et Applications. In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe*. Nantes 1991b.
- Forriol, F.; Cañadell, J.: Efectos de la dinamización sobre el callo de las fracturas. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Fox, S.M.: Premature closure of distal radial and ulnar physes in the dog. *Cont. Ed.* 6(2):128-221. 1985.
- Fox, S.M.: Using the Kirschner external fixation splint: A guide for the uninitiated. *Veterinary Medicine*. 81(3) 214-224, 1986.

- Frankel, V.H. and Burstein, A.H.: Orthopaedic Biomechanics. Lea and Febiger. Philadelphia. 1970.
- Frost, H.M.: The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part II. Clin. Orthop. 248:294-309, 1989.
- Gahring, D.R.: Use of external fixation devices in management of fractures and osteotomies. Calif. Vet. 9:19-23, 1980.
- Galasko, C.S.B.: The Pathological Basis for Skeletal Scintigraphy. The Journal of Bone and Joint Surgery, 57B(3):353-359, 1975.
- Gallagher, L.A., Rudy, R.L., Smeak, D.D.: The external fixator boot. Application, principles, techniques and indications. Journal of the American Animal Hospital Association 26:403-410, 1990.
- Gallagher, L.A.; Smeak, D.D.; Johnson, A.L.; Boone, E.G.; Boudrieau, R.J.; Rudy, R.L.: The External Fixator Boot for Support of Surgical Repairs of Injuries Involving the Crus and Tarsus in Dogs and Cats: 21 Cases. Journal of the American Animal Hospital Association 28:143-148, 1992
- Gambardella, P.C., Griffiths, R.C. J.A. Technique for repair of oblique fractures of the distal radius in dogs. Journal of American Animal Hospital Association. 20(3) 429-433, 1984. Abs.
- Gambardella, P.C.: Open Fractures. In: Bojrab, M.J. (ed.): Current techniques in small animal surgery. Lea & Febiger. Philadelphia. 1983
- Genevois, J.P.: Indications de la Fixation Externe. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991.
- Giebel, G.: Transportación en grandes defectos óseos. Seminario de fijadores externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Gilbert, J.A.; Dahners, L.E.; Atkinson, M.A.: The effect of external fixation stiffness on early healing of transverse osteotomies. Journal of Orthopaedic Research, 7(3):389-397, 1989.
- Goodship, A.E.; Lanyon, L.E.; Nicopoulos, A.; O'Connor, J.A.: A technique for investigating the response of bone to changes in its mechanical environment. J. Physiol. (Lond), 277:39P. 1978.
- Goodship, A.E.; Lanyon, L.E.; McFie, H.: Functional adaptation of bone to increased stress: an experimental study. Journal of Bone and Joint Surgery (Am) 61A(4):539-546. 1979.
- Goodship, A.E., Kenwright, J.: The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures. The journal of bone and joint surgery. 67-B (4): 650-656, 1985.
- Goret-Nicaise, M.: La croissance de la mandibule humaine: conception actuelle. Thesis. Catholic University of Louvaine. 1986.
- Goret-Nicaise, M.; Manzanares, M.C.; Bulpa, P.; Nolmans, E.; Dhem, A.: Calcified tissues involved in the ontogenesi of the human cranial vault. Anatomy and Embriology. 178:399-406, 1988.
- Göthman, L.: The normal arterial pattern of the rabbit's tibia. A microangiographic study. Acta Chir. Scand. 120:201-210, 1960.
- Göthman, L.: Arterial changes in experimental fractures of the monkey's tibia treated with intramedullary nailing. A microangiographic study. Acta Chir. Scand. 121:56-66, 1961.
- Goudichaud, J.A.; Meynard, J.A.; Pelse, H.: Fractures des os longs du chat, traitées par fixateurs externes. L'Animal de Compagnie, 17(4): 313-323, 1982.
- Grana, W.A.: External Fixation for Comminuted Fractures of the Distal Radius. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982
- Gregg, P.J.; Barsoum, M.K.; Clayton, C.B.: Scintigraphic Appearance of the Tibia in the Early Stages Following Fracture. Clinical Orthopaedics and Related Research. 175:139-146, 1983.
- Green, S.A.: Complications of External Skeletal Fixation: Causes, Prevention and Treatment. Charles C. Thomas Springfield. Illinois. 1981.
- Green, S.A.: Complications of External Fixation. In. Uthoff, K.H.; Current concepts of External Fixation of Fractures. Springer-Verlag. Berlin 1982.
- Green, S.A.; Ripley, M.J.: Chronic osteomyelitis in pin tracks. Journal of Bone and Joint Surgery. 66A(7):1092-1098. 1984.
- Greenberg, B.M.; Jupiter, J.B.; McKusick, K.; May, J.W. Jr.: Correlation of postoperative bone scintigraphy with healing of vascularized fibula transfer: a clinical study. Ann. Plast. Surg. 23(2):147-154, 1989. Abs.
- Grindhardt, P.S.: The effect of seasonal variation on long bone growth. Human biology. 44(3):335, 1972.
- Gumbs, J.M., Brinker, W.O., De Camp, Ch.E., Schaeffer, R. Kaneene, J.B.; Soutas-Little.: Comparison of acute and chronic pull-out

- resistance of pins used with the external fixator. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* (24): 231-234, 1988.
- Gumerman, L.W.; Fogel, S.R.; Goodman, M.A.; Hanley, E.N. Jr.; Kappakas, G.S.; Rutkowski, R.; Levine, G.: Experimental fracture healing: evaluation using radionuclide bone imaging: Concise Communication. *The Journal of Nuclear Medicine.* 19(12):1320-1323, 1978.
- Günalp, B.; Özgüven, M.; Öztürk, E.; Ercenk, B.; Bayhan, H.: Role of bone scanning in the management of non-union fractures: a clinical study. *European Journal of Nuclear Medicine.* 19(10):845-847, 1992.
- Hahn, K.A.; Hurd, C.; Cantwell, H.D.: Single-Phase Methylene Diphosphate Bone Scintigraphy in the Diagnostic Evaluation of Dogs with Osteosarcoma. *Journal of American Veterinary Medical Association* 196(9):1483-1486, 1990.
- Hall, B.K.: *Developmental and Cellular Skeletal Biology.* Academic Press. 1978.
- Ham, A.W.: A histological study of the early phases of bone repairs. *The Journal of Bone and Joint Surgery.* 12:827-844, 1930.
- Ham, A.W. & Cormack, D.H.: *Tratado de Histología.* 8ª Edición. Interamericana. México. 1984.
- Hanh, M.; Donath, K.; Delling, G.: Präparation von Hüftgelenksendoprothesen zur qualitativen und quantitativen morphologischen Auswertung. *Chirurg.* 58:744-748, 1987.
- Harari, J.: Complications of External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation.* Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Harari, J.; Roberts, G.; DeHaan, C.: Scintigraphic Evaluation of Tissue Viability after Gunshot Injury in a Dog. *Journal of American Veterinary Medical Association* 200(10):1507-1508, 1992.
- Harnagel, S.H.; Hornof, W.J.; Koblik, P.D.; Fisher, P.E.: The Use of ^{99m}Tc Radioaerosol ventilation and Macroaggregated Albumin Perfusion Imaging for the Detection of Pulmonary Emboli in the Dog. *Veterinary Radiology* 30(1):22-27, 1989.
- Harris, W.H.; Jackson, R.H.; Jowsey, J.: The In vivo distribution of tetracyclines in Canine Bone. *The Journal of Bone and Joint Surgery.* 44A(7):1308-1320. 1962.
- Harris, J.D.; Kenwright, J.; Evans, M.; Buxton, R.; Denne, W.A.: Factors affecting the stability of external fixation devices when used for long-bone diaphyseal fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery (Br).* 62B:254, 1980.
- Harris, W.R.: *Fracture Healing.* In: Whittick, W.G. (ed.): *Canine Orthopedics.* 2nd. Ed. Lea & Febiger. Philadelphia. 1990
- Hart, M.B.; Wu, J.J.; Chao, E.Y.S.; Kelly, P.J.: External Skeletal Fixation of Canine Tibial Osteotomies. *The Journal of Bone and Joint Surgery,* 67A(4):598-605, 1985.
- Harvey C.E. and Slatter, D.H.: *Development of Veterinary Surgery. History of Small Animal Surgery.* In: Slatter, D.H. (Ed.): *Textbook of Small Animal Surgery.* W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Hearn, T.C.; Surowiak, J.F.; Schatzker, J.: Effects of tapping on the holding strength of cancellous bone screws. *Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology* 5:10-12. 1992
- Heckman, J.D.; Ingram, A.J.; Loyd, R.D.; Luck, J.V.; Mayer, P.W.: Nonunion treatment with pulsed electromagnetic fields. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 161:58-66. 1981.
- Heim, V.; Pfeiffer, K.M.: *Internal Fixation of Small Fractures.* 3rd. Ed. Springer-Verlag. Berlin. 1988.
- Henry, W.B.; Schachar, N.S.; Wadsworth, P.L.; Castronovo, F.P.; Mankin, H.J.: Feline model for the study of frozen osteoarticular hemijoint transplatacion: Qualitative and quantitative assesment of bone healing. *American Journal of Veterinary Research,* 46(8):1714-1720, 1985.
- Heppenstall, R.B.: *Fracture Treatment and Healing.* W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1980.
- Hernández, T.; Montesinos, M.; Smith-Agreda, V.: Estudio morfológico y cariométrico del callo de fractura experimental tras la irradiación con luz laser He-Ne de 632,8 nm. *An. Anat.* 35:3-12, 1989.
- Hertsch, B. y Wissdorf, H.: Die chirurgische behandlung von unterkieferfracturen beim pferd mit cerclage oder dem fixateur externe (Surgical treatment of mandibular fractures in horses by cerclage or external fixation). *Pferdeheilkunde,* 6(2):55-61, 1990. Abs.
- Hierholzer, G.; Kleining, R.; Horster, G.; Zemenides, P.: External Fixation Classification and Indications. *Arch. Orthop. Traumat. Surg.,* 92: 175-182, 1978.
- Hiltunen, A.; Aro, H.T.; Vuorio, E.: Regulation of Extracellular Matrix Genes During Fracture Healing in Mice. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 293:23-27, 1993.
- Holden, C.E.A.: The role of blood supply to soft tissue in the healing of diaphyseal fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery.*

54A(5):993-1000, 1972.

Hornoff, W.J.; Koblik, P.D.; Strombeck, D.R.; Morgan, J.P.; Hansen, G.: Scintigraphic Evaluation of Solid-Phase Gastric Emptying in the Dog. *Veterinary Radiology* 30(6):242-248, 1989.

Hoskinson, J.J.; Daniel, G.B.; Patton, C.S.: Indium-111-chloride and three-phase bone scintigraphy: a comparison for imaging experimental osteomyelitis. *Journal of Nuclear Medicine*. 32(1):67-75, 1991. Abs.

Hudlieka, O.: Development of microcirculation: Capillary growth and adaptation. In: Renkin, E.M. and Mickel, C.C. (eds.): *The Handbook of Physiology*, Vol.IV. American Physiological Society, Bethesda. 1984.

Hughes, S.; Khan, R.; Davies, R.; Levander, P.: The uptake by the canine tibia of the bone-scanning agent ^{99m}Tc-MDP before and after an osteotomy. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 60B(4):579-582. 1978.

Hughes, S.: Radionuclides in orthopaedic surgery. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 62B(2):141-150. 1980.

Hughes, J.L. and Sauer, B.W.: Wagner Apparatus: A Portable Traction Device. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982

Hulse, D. and Hyman, B.: Biomechanics of Fracture Fixation Failure. In: Olmstead, M.L.(ed): *The Veterinary Clinics of North America (Small Animal Practice)*. Fracture Complications. Vol. 21 N°4. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1991.

Hulse, D. and Hyman, B.: Fracture Biology and Biomechanics. In: Slatter, D. (Ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993.

Hunt, J.M.; Aitken, M.L.; Denny, H.R.; Gibbs, C.: The complications of diaphyseal fractures in dogs: A review of 100 cases. *Journal of Small Animal Practice*. 21:103-119. 1980.

Hyldahl, C.; Pearson, S.; Tepic, S. et al.: Induction and prevention of pin loosening in external fixators in the sheep tibia. *Orthop. Trans. Othop. Res. Soc.* 12:378-379. 1988

Iizarov, G.: The Tension-Stress Effect on the Genesis and Growth of Tissues. Part. I. The Influence of Stability of Fixation and Soft-Tissue Preservation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 238:249-281, 1989.

Jacobs, R.L.; Ray, R.D.: The effect of heat on bone healing. A disadvantage in the use of power tools. *Arch. Surg.* (104): 687-691, 1972.

Jasty, M.; Bragdon, C.R.; Schutzer, S.; Rubash, H.; Haire, T.; Harris, W.H.: Bone ingrowth into porous coated canine total hip replacements. Quantification by backscattered scanning electron microscopy and image analysis. *Scanning Microscopy* 3(4):1051-1057. 1989

Jenkins, D.H.R.; Cheng, D.H.F. and Hodgson, A.R.: Stimulation of bone growth by periosteal stripping. *J. Bone Joint Surg.* 57B(4):482-484, 1975.

Johannsen, A.: Fracture Healing Controlled by ^{87m}Sr Uptake. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 44:628-639, 1973.

Johnson, K.A. Cancellous bone graft collection from tibia in dogs. *Vet. Surg.* 15(4):334-338, 1986.

Johnson, K.A.; Roe, S.C.: Use of an Aiming Device for Application of a Type-II (bilateral) External Fixator to a Fractured Tibia of a Dog. *J. Am. Vet. Med. Assoc*, 192(11):1573-1576, 1988.

Johnson, S.G.; Hulse, D.A.; Vangundy, T.E.; Green, R.W.: Corrective osteotomy for pes varus in the Dachshund. *Veterinary Surgery*. 18(5):373-379, 1989.

Johnson, A.L.; Kneller, S.K.; Weigel, R.M.: Radial and tibial fracture repair with external skeletal fixation. Effects of fracture type, reduction and complications on healing. *Vet. Surg.* 18(5):367-372, 1989. Abs.

Johnson, A.L.: Treatment of Growth Deformities with External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America (Small Animal Practice)*. External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992

Johnson, A.L. and Boone, E.G.: Fractures of the Tibia and Fibula. In: Slatter, D. (Ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993

Kaderly, R.E.; Anderson, W.D.; Anderson, B.G.: Extraosseous vascular supply to the mature dog's coxofemoral joint. *American Journal of Veterinary Research*. 43(7):1208-1214, 1982.

Kaderly, R.E.; Anderson, B.G.; Anderson, W.D.: Intracapsular and intraosseous vascular supply to the mature dog's coxofemoral joint. *American Journal of Veterinary Research*. 44(10):1805-1812. 1983

Kaderly, R.E.: Delayed Union, Nonunion and Malunion. In: Slatter, D. (Ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993

- Kaneps, J.A.; Schmotzer, W.B.; Huber, M.J.; Riebold, T.W.; Watrous, B.J.; Arnold, J.S.: Fracture repair with transfixation pins and fiberglass cast in llamas and small ruminants. *Journal of American Veterinary Medical Association* 195(9), 1989.
- Kantrowitz, B., Smeak, D., Vannini, R.: Radiographic appearance of ring sequestrum with pin tract osteomyelitis on the dog. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* (24): 461-465, 1988.
- Karaharju, E.O.; Aalto, K.; Kahri, A.; Lindberg, L.-A.; Kallio, T.; Karaharju-Suvanto, T.; Vauhkonen, M.; Peltonen, J.: Distraction Bone Healing. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 293:38-43, 1993.
- Karlström, G. and Olerud, S.: Percutaneous pin fixation of open tibial fractures. *J. Bone Joint Surg.* 57A(7):915-924, 1975.
- Kayanja, F.I.B.: The Postnatal Development of the Blood Supply of the Humerus in the Cat. *Anat. Anz.* Bd. 127, S.354-366, 1970.
- Keegan, K.G.; Twardock, A.R.; Losonsky, J.M.; Baker, G.J.: Scintigraphic Evaluation of Fractures of the Distal Phalanx in Horses: 27 cases (1979-1988). *Journal of American Veterinary Medical Association* 202(12):1993-1997, 1993.
- Kenwright, J.; Harris, J.D.; Evans, M.: External skeletal fixation for tibial shaft fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 62B(4):525, 1980.
- Kenwright, J and Goodship, A.E.: Controlled Mechanical Stimulation in the Treatment of Tibial Fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 241:36-47, 1989
- Kershaw, C.J.; Cunningham, J.L.; Kenwright, J.; Tibial External Fixation, Weight Bearing, and Fracture Movement. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 293:28-36, 1993.
- Khan, R.A.; Best, J.K.; Lavender, J.P.: A technique for measuring the accumulation of ⁹⁹Tc^m stannous-ethane-1-hydroxy-1,1-diphosphonate in the canine tibia. *British Journal of Radiology*, 51:51-55, 1978.
- Kimmel, D.B.: A quantitative histologic study of bone turnover in young adult beagles. *The Anatomical Record*, 203:31-45, 1982.
- King, J.; Day, B.: A Review of the Day Frame as External Fixation for Trauma. In: Uthoff, H.K. (ed.): *Current Concepts of External Fixation of Fractures.* Springer-Verlag, Berlin. 1982.
- Klause, S.E.; Schwarz, P.D.; Egger, E.L.; Piermattei, D.L.: A Modification of the Unilateral Type I External Skeletal Fixator Configuration for Primary or Secondary Support of Supracondylar Humeral and Femoral Fractures. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 3:130-134, 1990.
- Kleine, L.J. and Lamb, C.R.: Comparative Organ Imaging: The Gastrointestinal Tract. *Veterinary Radiology* 30(3):133-141, 1989.
- Knetch, C.D.: Distraction with an External Fixation Clamp (Charnley Apparatus) to Maintain Length in Premature Physeal Closure. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 16(6):873-880, 1980.
- Knowles, A.T.; Knowles, J.O.; Knowles, R.P.: Clinical application of splints in fractures of the pelvis. Part II. Special Considerations. *Veterinary Medicine* 44:308, 1949.
- Koblik, P.D. and Hornof, W.J.: Use of First-Pass Nuclear Angiocardigraphy to Detect Left-to-Right Cardiac Shunts in the Horse. *Veterinary Radiology* 28(5):177-180, 1987.
- Koblik, P.D.; Hornof, W.J.; Seeherman, H.J.: Scintigraphic Appearance of Stress-Induced Trauma of the Dorsal Cortex of the Third Metacarpal Bone in Racing Thoroughbred Horses: 121 Cases (1978-1986). *Journal of American Veterinary Medical Association* 192(3):390-395, 1988.
- Koblik, P.D.; Yen C-K; Hornof, W.J.; Whiting, P.; Fisher, P.: Use of Transcolonic 123I-Iodoamphetamine to Diagnose Spontaneous Portosystemic Shunts in 18 Dogs. *Veterinary Radiology* 30(2):67-73, 1989a.
- Koblik, P.D.; Hornof, W.J.; Harnagel, S.H.; Fisher, P.E.: A Comparison of Pulmonary Angiography, Digital Subtraction Angiography, and ^{99m}Tc-DTPA/MAA Ventilation-Perfusion Scintigraphy for Detection of Experimental Pulmonary Emboli in the Dog. *Veterinary Radiology* 30(3):159-168, 1989b.
- Koblik, P.D.; Komtebedde, J.; Yen, C-K; Hornoff, W.J.: Use of transcolonic ^{99m}technetium-pertechnetate as a screening test for portosystemic shunts in dogs. *Journal of American Veterinary Medical Association.* 196(6):925-930, 1990.
- Kojimoto, H.; Yasui, N.; Goto, T.; Matsuda, S.; Shimomura, Y.: Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 70B(4):543-549, 1988.
- Koskinen, E.V.S.: The effect of growth hormone and thyrotropin on human fracture healing. *Acta Orthop. Scand. suppl.* 62:54, 1963.
- Kuettner, K.E. and Pauli, B.U.: Inhibition of neovascularization by a cartilage factor. *Ciba Found. Symp.*, 100:163-173, 1983.
- Kuijpers-Jagtman, A.M. et. al.: The Influence of Vascular and Periosteal Interferences on the Histological Structure of the Growth Plates

- of Long Bones. *Anat. Anz.* 164:245-254, 1987.
- Kunin, A.S.; Simmons, D.J.: *Skeletal Research: An Experimental Approach. Vol II.* Academic Press. New York. 1983
- Lammertyn, M.: *Le Fixateur Externe à Coaptateurs à Flasques. Materiel.* In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe.* Nantes 1991.
- Lamb, C.R.: *Bone Scintigraphy in Small Animals.* *Journal of American Veterinary Medical Association* 191(12):1616-1622, 1987.
- Lamb, C.R. and Koblik, P.D.: *Scintigraphic Evaluation of Skeletal Disease and Its Application to the Horse.* *Veterinary Radiology* 29(1):16-27, 1988.
- Lamb, C.R.; Schelling, S.H.; Berg, J.: *Lymph Node Uptake of ⁹⁹Tc-MDP During Bone Scintigraphy in Dogs.* *Veterinary Radiology* 30(6):268-271, 1989.
- Lamb, C.R.; Berg, J.; Bengston, A.E.: *Preoperative Measurement of Canine Primary Bone Tumors, Using Radiography and Bone Scintigraphy.* *Journal of American Veterinary Medical Association* 196(9):1474-1478, 1990.
- Lamb, C.R.: *Non-Skeletal Distribution of Bone-Seeking Radiopharmaceuticals.* *Veterinary Radiology* 31(5):246-253, 1990.
- Laros, G.S.: *Fracture healing: Compression vs. fixation.* *Arch. of Surg.* 108:698-702. 1974.
- Latimer, K.S.; Kemp, W.B.; Taylor, L.A.; Barton, R.A.: *Emergency stabilization of jaw fractures in the dog using acrylic splints.* *Veterinary Medicine. Small Animal Clinician,* 72:1029-1035, 1977.
- Latte, Y.: *Fixateurs externes.* Cours C.E.S. Ecole Nationale Veterinaire de Toulouse, 1987.
- Latte, Y.: *Un cas de radius curvus traité par le méthode d'Ilizarov.* *Le point Vétérinaire,* 125(21): 805-818, 1990.
- Latte, Y.: *Traitement des Fractures Diaphysaires Chez le Jeune par Association de Vis de Traction et de Fixateur Externe.* *Pratique Médicale et Chirurgicale de L'Animal de Compagnie.* 26(3):221-225. 1991a.
- Latte, Y.: *Utilisation du Fixateur Externe D'Ilizarov pour le Traitement du Radius-Curvus.* *Pratique Médicale et Chirurgicale de L'Animal de Compagnie* 26(3):227-235. 1991b.
- Latte, Y.: *Classification des Divers Montages.* In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe.* Nantes 1991c.
- Latte, Y.: *La Méthode d'Ilizarov. Le Radius Curvus.* In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe.* Nantes 1991d.
- Lavender, J.P.; Khan, A.A.; Hughes, P.F.: *Blood Flow and Tracer Uptake in Normal and Abnormal Canine Bone: Comparisons with Sr-85 Microspheres, Kr-81m and Tc-99m MDP.* *Journal of Nuclear Medicine,* 20:413-418, 1979.
- Laurnen, E.L.; Kelly, P.J.: *Blood flow, oxygen consumption, carbon-dioxide production and blood calcium and pH changes in tibial fractures in dogs.* *Journal of Bone and Joint Surgery.* 51A(2):298-308. 1969.
- Lawyer, R.B., Lubbers, L.M.: *Use of the Hoffmann apparatus in the treatment of unstable tibial fractures.* *The Journal of Bone and Joint Surgery* 62(A): 1264-1273, 1980.
- Lazo-Zbikowski, J.: *Historia de la Osteotaxis.* Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Lazo-Zbikowski, J.: *Concepto de biocompresión en los fijadores externos.* Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Lazo-Zbikowski, J.M.: *La dinamización de los fijadores externos.* Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Lee-Parritz, D.E.; Lamb, C.R.: *Prostatic adenocarcinoma with osseous metastases in a dog.* *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 192(11):1569-1572, 1988.
- Leighton, R.L.: *Complications from Mismanagement of Fixation Devices.* *Vet. Clin. North Am. [Small Anim. Pract.],* 5(2):273-290, 1975.
- Leighton, R.L.: *Favorit Surgical Techniques.* In: *Scientific Proceedings, 49th. Annual Meeting, American Animal Hospital Association,* pp. 227-281, 1982a.
- Leighton, R.L.: *External Fixation in the Treatment of Fractures in the Dog.* In: *Scientific Proceedings, 49th. Annual Meeting, American Animal Hospital Association,* pp. 317-320, 1982b.
- Lenahan, T.M.; Smith, G.K.: *Management of infected tibial nonunions with sequestration in the dog.* *Vet. Surg.* 13(2):115-121, 1984.
- Leroux, A.J.; Moll, H.D.; Modransky, P.M.; Sierra, C.: *Repair of an Open Fracture in a Foal Using a Modified External Fixator.* *Equine Practice* 14(6):7-10. 1992.

- Lesser, A.S.: Arthrodesis. In: Slatter D. (ed.): Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993
- Lessler, M.A.; Ray, D.A.: Dietary lead inhibits avian bone fracture healing. *Journal of Physiology*. 317:223, 1986.
- Letournel, E.: The Judet Fixateur for Fractures of the Ankle. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982
- Lewallen, D.G.; Chao, E.Y.S. and Kelly, P.J.: External Skeletal Fixation vs. Dynamic Compression Plating of Canine Tibial Fractures: A Comparison of the Biomechanics, Histology and Physiology of Fracture Healing. In: Transactions of 28th. Ann. Meetings, Orth. Res. Soc., January 19-21, 1982.
- Lewallen, D.G.; Chao, E.Y.S; Kasman, R.A.; Kelly, P.J.: Comparison of the Effects of Compression Plates and External Fixators on Early Bone Healing. *J.Bone Joint Surg.* 66A(7):1084-1091, 1984.
- Lewis, K.M.; Breidenbach, L.; Stader, O.: The Stader Reduction Splint for Treating Fractures of the Shafts of the Long Bones. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 293:3-7, 1993.
- Lincoln, J.D.: Treatment of Open, Delayed Union and Nonunion Fractures with External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1992
- Lofstedt, J.; Koblik, P.D.; Jakowski, R.M.; McMillan, M.C.; Engelking, L.R.: Use of Hepatobiliary Scintigraphy to Diagnose Bile Duct Atresia in a Lamb. *Journal of American Veterinary Medical Association* 193(1):95-98, 1988.
- Lopez-Curto, J.A.; Bassingthwaight, J.B.; Kelly, P.J.: Anatomy of the Microvasculature of the tibial diaphysis of the adult dog. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 62A(8):1362-1369, 1980.
- Luera, M.; Tarragó, A.: Aplicaciones de los Fijadores Extraesqueléticos de OMS a las Fracturas de Tibia. Libro de resúmenes del XXIIº Congreso Nacional AVEPA, 1987.
- MacCoy, D.M.: Treatment of Fractures in Avian Species. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Macnab, I. and De Haas, W.G.: The role of Periosteal Blood Supply in the Healing of Fractures of the Tibia. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 105:27-33, 1974.
- Mackey, V.S.; Trout, D.R.; Meagher, D.M.; Hornof, W.J.: Stress Fractures of the Humerus, Radius and Tibia in Horses. *Veterinary Radiology* 28(1):26-31, 1987.
- Madkour, M.M.; Sharif, H.S.; Abed, M.Y.; Al-Fayez, M.A.: Osteoarticular brucellosis: results of bone scintigraphy in 140 patients. *American Journal of Roentgenology*, 150(5):1101-1105, 1988. Abs.
- Manley, P.A.: Distal extremity fractures in small animals. *Journal of Veterinary orthopedics*. 2(2): 38-48, 1981. Abs.
- Mann, F.A.; Payne, J.T.: Bone Healing. *Semin. Vet. Med. Surg. Small Anim.*, 4(4):312-321, 1989.
- Manzanares, M.C.: Morphological study of the sutural spaces of the skull. Thesis. Catholic University of Louvaine. 1988.
- Markel, M.D.: The Power of a Statistical Test. What Does Insignificance Mean?. *Veterinary Surgery* 20(3):209-214, 1991.
- Markel, M.D. and Chao, E.Y.S.: Noninvasive Monitoring Techniques for Quantitative Description of Callus Mineral Content and Mechanical Properties. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 293:37-45, 1993.
- Martin, F.: Applications de la Scintigraphie Osseuse au Diagnostic des Boiteries chez le Cheval. *Le Point Vétérinaire* 24(148):75-80, 1992.
- Mattar, A.G. and Siegel, B.A.: Bone Tracers: Radionuclide Imaging and Related Techniques. In: Simmons, D.J. & Kunin, A.S. (eds.): *Skeletal Research: An experimental approach*. Vol. I. Academic Press. New York. 1979.
- Matthews, L.S.; Hirsch, C.: Temperatures measured in human cortical bone when drilling. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 54A(2):297-308. 1972.
- Matthews, L.S., Green, C.A., Goldstein, S.A.: The thermal effects of skeletal fixation pin insertion in bone. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 66.A (7): 1077-1084, 1984.
- Matthiesen, D.T.: Surgical management of distal humeral fractures. *The Compendium on Continuing Education*. 11(6): 1027-1037, 1984.
- Matthiesen, D.T.: Fractures of the Humerus. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Meléndez, E.M.; Colon, C.: Treatment of open tibial fractures with the Orthofix fixator. *Clin. Orthop*. 241:224-230, 1989.

- Metcalf, M.R.: Scintigraphic Gastrointestinal Bleeding Localization with ^{99m}Tc-labeled Red Blood Cells: Clinical Application in Nine Dogs. *Veterinary Radiology* 28(3):96-100, 1987.
- Metcalf, M.R.; Tate, L.p.; Sellet, L.C.: Clinical Use of ^{99m}Tc-MDP Scintigraphy in the Equine Mandibule and Maxilla. *Veterinary Radiology* 30(2):80-87, 1989a.
- Metcalf, M.R.; Sellet, L.C.; Smallwood, J.E.; Thrall, D.E.; Harrington, B.D.: Scintigraphic Characterization of the Equine Foredigit and Metacarpophalangeal Region from Birth to Six Months of Age. *Veterinary Radiology* 30(3):111-118, 1989b.
- McCoy, M.T.; Chao, E.Y.S. and Kasman, R.A.: Comparison of mechanical performance in four types of external fixators. *Clin. Orth. Rel. Res.* 180:23-33, 1983.
- McKibbin, B.: The biology of fracture healing in long bones. *J. Bone Joint Surg. (Br)* 60B(2):150-162, 1978.
- McLaughlin, R.M.: The evolution of the Understanding of Bone Healing. *Veterinary and Comparative Orthopaedic and Traumatology*, 4:16-20, 1991.
- McPherron, M.A.; Schwarz, P.D. and Hstand, M.B.: Mechanical Evaluation of Half-Pin (Type 1) External Skeletal Fixation in Combination with a Single Intramedullary Pin. *Veterinary Surgery*, 21(3):178-182, 1992.
- Mears, D.C.: History of External Fixation. In: Brooker, A.F. & Edwards, C.C. (Eds.): *External Fixation. The Current State of The Art.* The Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1979
- Mears, D.C.: Available Techniques of External Fixation. In: Mears, D.C. (ed.): *External Skeletal Fixation.* Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1983a.
- Mears, D.C.: Fracture Healing: Pathophysiology and Biomechanics. In: Mears, D.C. (ed.): *External Skeletal Fixation.* Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1983b.
- Mears, D.C. and Behrens, F.: Application and Use of External Fixation. In: Mears, D.C. (ed.): *External Skeletal Fixation.* Williams & Wilkins Co. Baltimore. 1983.
- Merloz, P.: La Méthode d'Ilizarov. *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. Conférences d'enseignement.* 47-63. 1989.
- Metz, V.M.; Gilula, L.A.: Imaging techniques for distal radius fractures and related injuries. *Orthop. Clin. North Am.* 24(2):217-228, 1993. Abs.
- Meynard, J.A.: Traitement des fractures des os longs chez le chien. *An. Comp.* (19): 263-301, 1968.
- Meynard, J.A.; Goudichaud, J.A.: Utilisation des fixateurs externes dans le traitement des fractures des membres. *Bull. Acad. Vet.* (43): 294-303, 1971.
- Meynard, J.A.; Goudichaud, J.A.: Ostéosynthèse par fixateurs externes chez le chien. *L'Animal de Compagnie*, 32:249-260, 1973.
- Meynard, J.A., Utilisation des fixateurs externes dans le traitement des fractures multiesquilleuses du radius, du cubitus et du tibia chez le chien. *Bull. Acad. Med.* 159, (2): 186-189, 1975.
- Meynard, J.A.; Goudichaud, J.A.; Pelse, H.: Complications notées à la suite de l'utilisation de fixateurs externes chez le chien. *L'Animal de Compagnie*, 14(6):561-568, 1979.
- Meynard, J.A.: Technique d'utilisation des fixateurs externes dans le traitement des fractures du chien. *Lecture AS. FOR. VET. LI. n°11*, 1979.
- Meynard, J.A.; Goudichaud, J.A.; Pelse, H.: Limites et échecs de l'utilisation des fixateurs externes dans le traitement des fractures chez le chien. *L'Animal de Compagnie*, 17(1):83-92, 1982.
- Meynard, J.A.: Fixation Externe. *C.E.S. de Traumatologie Osteo-Articulaire et Orthopedie Animales. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.* Nov. 1988.
- Meynard, J.A.: Fixation Externe. Etude Biomécanique appliqué à la clinique. *L'Anim. Cie.* 24(5):611-620, 1989.
- Meynard, J.; Goudichaud, A.: Application de la Fixation Externe au Traitement des Fractures diaphysaires du Jeune. *L'Anim. Cie.* 26(3):211-219. 1991a.
- Meynard, J.A.: Generalites, Historique, Principes Generaux de la Fixation Externe. In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe.* Nantes 1991 b.
- Meynard, J.A.: Le Fixateur Externe à Coaptateurs à Flasques. Biomecanique. In: *Proceedings of I Cours de Fixation Externe.* Nantes 1991c.

- Meynard, J.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. Humerus. Montages et Applications. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991 d.
- Meynard, J.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. Tibia. Montages et Applications. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991 e.
- Meynard, J.A.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. La Fixation Externe comme Technique Complémentaire. Humérus. Fémur. Tendon D'Achille. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991f.
- Meynard, J.A.; Goudichaud, A.: Le Fixateur Externe à Coapteurs à Flasques. Resultats et Complications. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991g.
- Milton, J.L.: Fractures of the Femur. In: Slatter, D.H. (Ed.): Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993.
- Mizuno, K.; Mineo, K.; Tachibana, T.; Sumi, M.; Matsubara, T.; Hirohata, K.: The osteogenetic potential of fracture haematoma. Subperiosteal and intramuscular transplantation of the haematoma. The Journal of Bone and Joint Surgery, 72B(5):822-829, 1990.
- Monro, P.P.; Shearer, J.R.; Richards, T.: Re-evaluation of the problems of external fixation of the tibia in the rabbit. Animal Technology. 36(2):105-109, 1985.
- Mooney, V. and Claudi, B.: How Stable Should a External Fixation Be?. In: Uthhoff, H.K. (ed.): Current Concepts of External Fixation of Fractures. Springer-Verlag. Berlin. 1982.
- Moragas, M.; Lomena, F.; Herranz, R.; García, A.; Piera, C.; Muxi, A.; Bassa, P.; Catafau, A.; Pavia, A.; Setoain, J.: ⁹⁹Tcm-HMPAO leucocyte scintigraphy in the diagnosis of bone infection. Nucl. Med. Commun. 12(5):417-427, 1991.
- Morales, J.J.: Complicaciones en el uso de fijadores externos. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Morshead, D. and Leeds, E.B.: Kirschner Ehmer apparatus immobilization following Achilles tendon repair in six dogs. Veterinary Surgery. 13(1):11-14. 1984.
- Mosekilde, L.; Bak, B.: The effects of growth hormone on fracture healing in rats: A histological description. Bone, 14:19-27, 1993.
- Müller, M.E.; Allgöwer, M.; Schneider, R.; Willenegger, H.: Manual of Internal Fixation. Springer-Verlag. Berlin. 1991.
- Muheim, G.: Assessment of Fracture Healing in Man by serial ^{87m}Strontium-Scintimetry. Acta Orthopaedica Scandinavica, 44:621-627, 1973.
- Murray, C.R.: The timing of the fracture-healing process. Its influence on the choice and application of treatment methods. J. Bone Joint Surg., 23:598, 1941.
- Murray, W.M.: An External Fixation System Using Formable Plastics Rods. In: Uthhoff, H.K. (ed.): Current Concepts of External Fixation of Fractures. Springer-Verlag. Berlin. 1982.
- Newman, M.E. and Milton, J.L.: Closed Reduction and Blind Pinning of 29 Femoral and Tibial Fractures in 27 Dogs and Cats. J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 25:61-68, 1989.
- Newton, C.D.; Nunamaker, D.M.: Textbook of Small Animal Orthopaedics. J.B. Lippincott Co. Philadelphia. 1985.
- Newton, C.D.: Healing of Bone. Primary Fracture Healing. In: Newton, C.D. & Nunamaker, D.M.: Textbook of Small Animal Orthopaedics. J.B. Lippincott Co. Philadelphia. 1985.
- Nguyen, V.D.; London, J.; Cone, R.O.: Ring sequestrum: radiographic characteristics of skeletal fixation pin tract osteomyelitis. Radiology. 158(1):129-131. 1986
- Nunamaker, D.M.: Methods of Internal Fixation. External Skeletal Fixation. In: Newton, C.D. and Nunamaker, D.M. (eds.): Textbook of Small Animal Orthopaedics. Lippincott. 1985a.
- Nunamaker, D.M.: Fractures and Dislocations of the Mandible. In: Newton, C.D. and Nunamaker, D.M. (eds.): Textbook of Small Animal Orthopaedics. Lippincott. 1985b.
- Nunamaker, D.M.: Open Fractures and Gunshot Injuries. In: Newton, C.D. and Nunamaker, D.M. (eds.): Textbook of Small Animal Orthopaedics. Lippincott. 1985c.
- Nunamaker, D.M.; Richardson, D.W. Butterweck, D.M.; Provost, M.T.; Sigafoos, R.D.: A new external skeletal fixation device that allows immediate full weightbearing. Application in the horse. Vet. Surg. 15:345-355, 1986.
- Oganesyan, O.V.: Use of the Volkov-Oganesyan Hinge Distractor to Restore Joint Function. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982

- Okin, R.: The use of dental acrylic for external fracture repair. *Canine Practice - Surgery*. 8(6):35-40. 1981.
- Okrasinski, E.B.; Pardo, A.D.; Graehler, R.A.: Biomechanical evaluation of acrylic external skeletal fixation in dogs and cats. *Journal of American Veterinary Medical Association*. 199(11):1590-1593, 1991.
- Olds, R. and Green, S.A.: Hoffman's external fixation for arthrodesis and infected nonunions in dog. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 19:705-712, 1983.
- Olerud, S.; Danckwardt-Lillieström, G.: Fracture Healing in Compression Osteosynthesis in the Dog. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 50B(4):844-851, 1968.
- Olerud, S.; Danckwardt-Lillieström, G.: Fracture Healing in Compression Osteosynthesis in the Dog. An Experimental Study in Dogs with an Avascular, diaphyseal, intermediate fragment. *Acta Orthopaedica Scandinavica. Suppl.* 137. 1971
- Olmstead, M.L.: *The Veterinary Clinics of North America (Small Animal Practice). Fracture Complications*. Vol. 21 N°4. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1991
- Olmstead, M.L.: Fractures of the Humerus. In: Slatter, D. (Ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993
- Olson, S.T.: Morphology and Physiology of the Growth Cartilage under Normal and Pathologic Conditions. In: Sumner-Smith, G. (Ed.): *Bone in Clinical Orthopaedics*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.
- Oni, O.O.; Graebe, A.; Pearse, M.; Gregg, P.J.: Prediction of the healing potential of closed adult tibial shaft fractures by bone scintigraphy. *Clinical Orthopaedics*. 245:239-245, 1989.
- Orbay, J.L.; Frankel, V.H.; Finkle, J.E.; Kummer, F.J.: Canine leg lengthening by the Ilizarov technique. A biomechanical, radiologic and morphologic study. *Clin. Orthop.* 278:265-273, 1992.
- Orozco, R.: *Osteosíntesis diafisaria. Técnica AO*. Ed. Científico Médica. Barcelona, 1973.
- Oshima, M.; Yoshihasi, Y.; Ito, K.; Asai, H.; Fukatsu, H.; Sakuma, S.: Initial stage of Legg-Calve-Perthes disease: comparison of three-phase bone scintigraphy and SPECT with MR imaging. *European Journal of Radiology*, 15(2):107-112, 1992. Abs.
- Palmer, R.H. and Aron, D.N.: Ellis pin complications in seven dogs. *Veterinary Surgery*, 19(6):440-445, 1990.
- Palmer, R.H.; Hulse, D.A.; Hyman, W.A.; Palmer, D.R.: Principles of Bone Healing and Biomechanics of External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1992
- Papageorges, M.; Gavin, P.R.; Barbee, D.D.; Sande, R.D.; Knowles, D.P.; Cheevers, W.P.: Quantitative Tc-99m-MDP Joint Scintigraphy in a Lentivirus-Induced Arthritis of Goats. *Veterinary Radiology* 32(2):82-86, 1991.
- Parchman, M.B.; Flanders, J.A.; Erb, H.N.; Wallace, R.; Kallfelz, F.A.: Nuclear Medicine Bone Imaging and Targeted Radiography for Evaluation of Skeletal Neoplasms in 23 Dogs. *Veterinary Surgery*, 18(6):454-458, 1989.
- Paradis, G.R. and Kelly, P.J.: Blood Flow and Mineral Deposition in Canine Tibial Fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 57A(2):220-226, 1975.
- Parkhill, C.: A New Apparatus for the Fixation of Bones after Resection and in Fractures with a Tendency to Displacement. With Reported Cases. *Trans. Am. Surg. Assoc.* 15:251, 1897. Reprinted in *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 180:3-6, 1983.
- Paul, H.: External Fixation. In: *Scientific Proceedings, 49th Annual Meeting, American Animal Hospital Association*, pp. 375-377, 1982.
- Paul, M.A.; Patka, P.; Van Heuzen, E.P.; Koomen, A.R.; Rauwerda, J.: Vascular injury from external fixation: case reports. *J. Trauma*. 33(6):917-920, 1992.
- Pead, M.J.; Carmichael, S.: Treatment of a severely comminuted fracture in a rabbit using a Kirschner-Ehmer apparatus. *Journal of Small Animal Practice*. 30(10):579-582, 1989.
- Perren, S.M.; Huggler, A.; Russenberger, M.; Stresmann, F.; Muller, M.E.; Allgower, M.: A method of measuring the change of compression applied to living cortical bone. *Acta Orthopaedica Scandinavica. Suppl.* 125. 1969.
- Perren, S.M. and Boitzy, A.: Cellular Differentiation and Bone Biomechanics during the Consolidation of a Fracture. *Anatomia Clinica* 1:13-28, 1978.
- Perren, S.M.: Physical and Biological Aspects of Fracture Healing with Special Reference to Internal Fixation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 138:175-196, 1979.

- Perren, S.M. and Cordey, J.: The Concept of interfragmentary strain. In: Uthoff, H.K. (ed.): Current Concepts of Internal Fixation of Fractures. Springer. Berlin. 1980.
- Perren, S.M.: Primary Bone Healing. In: Bojrab, M.J. (ed.): Pathophysiology in Small Animal Surgery. Lea & Febiger, 1981.
- Pettine, K.A.; Chao, E.Y.S.; Kelly, P.J.: Analysis of the External Fixator Pin-Bone Interface. Clinical Orthopaedics and Related Research. 293:18-27, 1993.
- Pettit, G.D.: A History of Veterinary Orthopaedic Surgery. In: Whittick, W.G. (Ed.): Canine Orthopaedics. 2nd Ed. Lea and Febiger. Philadelphia. 1990.
- Pettit, G.D.: History of External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1992.
- Phillips, L.; Blackmore, J.: Kirschner-Ehmer Device Alone to Stabilize Caudal Lumbar Fractures in small dogs. Veterinary and Comparative Orthopaedic and Traumatology 4:112-115. 1991.
- Piermattei, D.L.: Practical orthopedics of the long bones and lower forelimb A.A.H.A, 45th Annual Meeting, 1978.
- Pilsworth, R.C.; Webbon, P.M.: The use of radionuclide bone scanning in the diagnosis of tibial "stress" fractures in the horse: a review of five cases. Equine Veterinary Journal. Suppl. 6, 60-65, 1988.
- Pimm, M.V.; Rajput, R.S.; Frier, M.; Gribben, S.J.: Anomalies in reduction-mediated technetium-99m labelling of monoclonal antibodies. European Journal of Nuclear Medicine, 18(12):973-976, 1991. Abs.
- Piney, G.: Contribution l'étude de la vascularisation artérielle intra-osseuse du tibia et de la fibula du chien. Thèse. Alfort. Paris. 1972.
- Planell, J.A.: Propiedad mecánica y fractura del hueso. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Pollo, F.E.; Hyman, W.A.; Hulse, D.A.: The Role of the External Bar in a 6-Pin Type 1 External Skeletal Fixation Device. Veterinary and Comparative Orthopaedic and Traumatology 6:75-79, 1993.
- Pope, M.H. and Evans, M.: Design Considerations in External Fixation. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Pope, M.H.; Seligson, D.; Frymoyer, J.W.: The Future of External Fixation. In: Seligson, D. and Pope, M (eds): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Portabella, F.; Fernández, A.; Hernández, J.A.: Tratamiento de las fracturas abiertas de fémur con el fijador externo de Wagner. Avances en Traumatología 17(4):239-245, 1987.
- Pous, J.; Bori, R.; Tchamitchian, H.; Riu, E.: Fijación externa en el tratamiento de anomalías congénitas. Avances en Traumatología 17(4):223-231, 1987.
- Pous, J.: El fijador externo en ortopedia infantil. Seminario de fijadores externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Presnell, K.R.: Pins versus Plates: The Orthopedic Dilemma. Veterinary Clinics of North America [Small Animal Pract.], 8(2):213-217, 1978.
- Puech, B.; Cameli, M.; Chancrin, J.L.; Pierre, C.; Dufour, M.; Elizagaray, A.: Biointegration of massive bone allografts: imaging and histological studies in cat. Biomaterials. 11:75-78, 1990. Abs.
- Putod, J.M.: Etude Anatomique par coupes transversales del'avant-bras et de la jambe du chien, en vue de l'utilisation de fixateurs externes. Thèse doc. Vét. Toulouse. 1986.
- Putod, J.M.: Anatomie Appliquée Longitudinale. Etude Scanner. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991a.
- Putod, J.M.: La Méthode d'Ilizarov. Anatomie par Coupes Transversales. In: Proceedings of I Cours de Fixation Externe. Nantes 1991b.
- Radin, E.L.; Simon, S.R.; Rose, R.M.; Paul, I.L.; Practical Biomechanics for the Orthopaedic Surgeon. John Wiley & Sons. New York. 1979.
- Rahn, B.A.; Gallinaro, P.; Schenk, R.K.; Balatensperger, A.; Perren, S.M.: Compression Interfragmentaire. In: Boitzky, A.: Ostéogénèse et compression. Haans Huber Berne. Stuttgart. 1972.
- Rahn, B.A.: Bone Healing: Histologic and Physiologic Concepts. In: Summer-Smith, G.(ed.): Bone in Clinical Orthopaedics. A Study in Comparative Osteology. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.

- Räihä, J.E.; Parchman, M.; Krook, L.; Vainionpää, S.; Mero, M.; Rokkanen, P.; Törmälä, P.: Fixation of Trochanteric Osteotomies in Laboratory Beagles with Absorbable Screws of Polylactic Acid. *Veterinary Comparative Orthopaedic and Traumatology* 3:123-129, 1990.
- Renegar, W.R.; Leeds, E.B.; Olds, R.B.: The Use of the Kirschner-Ehmer Splint in Clinical Orthopedics. Part I. Long Bone and Mandibular Fractures. *Comp. Cont. Ed.*, 4(5):381-392, 1982.
- Rhineland, F.W. and Baragry, R.A.: Microangiography in bone healing. I. Undisplaced closed fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 44A:1273, 1962.
- Rhineland, F.W.: Some aspects of the microcirculation of healing bone. *Clinical Orthopaedics*, 40:12, 1965.
- Rhineland, F.W.: The normal microcirculation of the diaphyseal cortex and its response to fracture. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 50A:784, 1968.
- Rhineland, F.W.; Phillips, R.S.; Steel, W.M. and Beer, J.C.: Microangiography in bone healing. II. Displaced closed fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 50A:643, 1968.
- Rhineland, F.W.: Circulation in bone. In: Bourne, G.H. (ed.): *The Biochemistry and Physiology of Bone*. 2nd. ed. Vol.2. New York: Academic Press Inc., 1-77, 1972.
- Rhineland, F.W.: Tibial Blood Supply in Relation to Fracture Healing. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 105:34-81, 1974a.
- Rhineland, F.W.: The normal circulation of bone and its response to surgical intervention. *J. Biomed. Mater. Res.* 8:37, 1974b.
- Rhineland, F.W.; Stewart, C.L. and Wilson, J.W.: Bone Vascular Supply. In: Simmons, D.L. and Kunin, A.S. (eds.): *Skeletal Research*. Academic Press. Inc., New York. 1979.
- Rhineland, F.W. and Wilson, J.W.: Blood Supply to Developing, Mature and Healing Bone. In: Summer-Smith, G. (ed.): *Bone in Clinical Orthopaedics. A Study in Comparative Osteology*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.
- Rhineland, F.W.: Normal Vascular Anatomy. In: Newton, C.D. and Nunamaker, D.M. (eds.): *Textbook of Small Animal Orthopedics*. J.P. Lippincot Co. Philadelphia, pp. 12-20, 1985a.
- Rhineland, F.W.: Vascular Responses to Fracture or Other Injury. In: Newton, C.D. and Nunamaker, D.M. (eds.): *Textbook of Small Animal Orthopedics*. J.P. Lippincot Co. Philadelphia, pp. 12-20, 1985b.
- Riba, J.; Ramón, R.: Uso del fijador externo de Ilizarov en Traumatología. *Avances en Traumatología* 17(4):233-236, 1987.
- Riccardi, L.; Perissinotto, A.; Dabala, M.: Mechanical Monitoring of Fracture Healing Using Ultrasound Imaging. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 293:71-76, 1993.
- Richardson, D.W., Nunamaker, D.M., Sigafos, R.D.: Use of an external skeletal fixation device and bone graft for arthrodesis of the metacarpophalangeal joint in horses. *J.Am. Anim. Hosp. Assoc.* 191, (3): 316-321, 1987. Abs.
- Richardson, D.W.: Fracture First Aid: The Open (Compound) Fracture. In: Slatter, D.H. (ed.): *Textbook of Small Animal Surgery*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1985.
- Riddolls, L.J.; Willoughby, R.A.; Dobson, H.: A Method of Mounting a Gamma Detector and Yoke Assembly for Equine Imaging. *Veterinary Radiology* 32(2):78-81, 1991.
- Rijnberk, A.: Thyroid Neoplasia. In: Bojrab, M.J. (ed.): *Pathophysiology in Small Animal Surgery*. Lea & Febiger, 1981.
- Rittmann, W.W.; Perren, S.M.: Cortical Bone Healing after Internal Fixation and Infection. *Biomechanics and Biology*. Springer-Verlag. Berlin. 1974.
- Rivera, L.A.; Abdelbaki, Y.Z.; Titkemeyer, C.W.; Hulse, D.A.: Arterial Supply to the Canine Hip Joint. *Journal of Veterinary Orthopedics*. 1(2):20-33, 1979.
- Robertson, J.J.: Application of a modified Kirschner device in the distraction mode as a prevention of antebrachial deformities in early physal closure. *J.Am. Anim. Hosp. Assoc.* 19(3): 345-352, 1983.
- Roe, S.C.; Johnson, A.L.; Harari, J.: Placement of Multiple Full Pins for External Fixation. *Technique and Results in Four Dogs*. *Veterinary Surgery*. 14(3): 247-252, 1985.
- Roe, S.C.: Classification and Nomenclature of External Fixators. In: Harari, J. (ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992.
- Roger, Ll.; Badía, J.M.: Fijador circular de distracción-compresión de Ilizarov. Metodología y aplicación en traumatología. *Avances en Traumatología* 17(4):207-221, 1987.
- Rosen, H.: Compression treatment of long bone pseudoarthrosis. *Clin. Orthop.* 138:154, 1979.

- Ross, J.T.; Matthiesen, D.T.: The Use of Multiple Pin and Methylmethacrylate External Skeletal Fixation for the Treatment of Orthopaedic Injuries in the Dog and Cat. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 6:115-121, 1993.
- Roush, J.K.: Fractures of the Tibia. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992.
- Rudd, R.G.; Whitehair, J.G.: Fractures of the Radius and Ulna. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992.
- Sarmiento, A.: Functional Bracing of Tibial Fractures. *Clin. Orth. Rel. Res.* 105:202-219, 1974.
- Satterfield, W.C.; O'Rourke, K.I.: External Skeletal Fixation in Avian Orthopedics using a modified through-and-through Kirschner-Ehmer splint technique (The Boston Technique). *J.A.A.H.A.* 17(4):635-637, 1981.
- Schenk, R.K.; Müller, J.; Willenegger, H.: Non-union: The histologic picture. In: Sumner-Smith, G. (Ed.): *Bone in Clinical Orthopaedics*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.
- Schickendantz, M.S.; Watson, J.T.; Sferra, J.J.; Kambic, H.E.: A model for evaluating the strength of bones lengthened by distraction osteogenesis. *Clinical Orthopedics*, 275:248-252, 1992.
- Schiltz, G.: Biomécanique Osseuse: 1. Bases Théoriques et Biomécanique des Fractures. *Le Point Vet.*, 20(115):71-82, 1988.
- Schmidt-Morand, D., Fontaine, D.: Luxations-fractures tibio-tarsiennes ouvertes chez le chien et le chat.: Reparation par montage de fixateurs externes. *Pratique Médicale et Chirurgicale de l'animal de Compagnie*, 21(5): 351-359, 1986.
- Schmidt, A., Rorabeck, C.H.: Fractures of the tibia treated by flexible external fixation. *Clin. Orthop.* 178: 162-172., 1983.
- Schneider, J.: Zur Aetiology und Therapie der Hufbeinfraktur (Aetiology and treatment of fractures of distal phalange in horses). *Monatshefte für Veterinärmedizin*. 42(13):472-475, 1987. Abs.
- Seitz, W.H. Jr.; Froimson, A.I.; Brooks, D.B.; Postak, P.D.; Parker, R.D.; LaPorte, J.M.; Greenwald, A.S.: Biomechanical analysis of pin placement and pin size for external fixation of distal radius fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 251:207-212. 1990.
- Seitz, W.H. Jr.; Froimson, A.I.; Brookes, D.B.; Postak, P.; Polando, G.; Greenwald, A.S.: External fixator pin insertion techniques: biomechanical analysis and clinical relevance. *J. Hand. Surg. Am.* 16(3):560-563, 1991.
- Seligson, D. and Dudey, D.: Historical Introduction. In: Seligson, D. & Pope, M. (Eds.): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Seligson, D.; Blitzer, A.s.h.; Pope, M.H.: The Biology of Fracture Healing with External Fixation. In: Seligson, D. & Pope, M. (Eds.): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Seligson, D.; Stanwyck, T.S.: The General Technique of External Fixation. In: Seligson, D. & Pope, M. (Eds.): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Seligson, D.: External Fixation of Pelvic Fractures. In: Seligson, D. & Pope, M. (Eds.): *Concepts in External Fixation*. Grune & Stratton. New York. 1982.
- Shaar, C.M.; Kreuz, F.P.: *Manual of Fractures. Treatment by External Skeletal Fixation*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1943.
- Shaer, M.: The Thyroid Gland. In: Bojrab, M.J. (ed.): *Pathophysiology in Small Animal Surgery*. Lea & Febiger, 1981.
- Shokry, M.: Preliminary study on the use of a silver oxide watch battery (1,5V) for electrical enhancement of bone healing. *Veterinary Research Communications*, 9(3):245-250, 1985. Abs.
- Shores, A.; Nichols, C.; Koelling, H.A.; Fox, W.R.: Combined Kirschner-Ehmer apparatus and dorsal spinal plate fixation of caudal lumbar fractures in dogs: Biomechanical properties. *Am. J. Vet. Res.* 49(11):1979-1982, 1988.
- Shores, A.; Nichols, G.; Rochat, M.; Fox, S.M.; Burt, G.J.; Fox, W.R.: Combined Kirschner-Ehmer device and dorsal spinal plate fixation technique for caudal lumbar vertebral fractures in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 195(3):335-339, 1989.
- Shores, A.: Fractures and Luxations of the Vertebral Column. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Shih, M.S. y Norridin, R.W.: Effects of prostaglandins on regional remodeling changes during tibial healing in Beagles. A histomorphometric study. *Calcified Tissue International*. 39(3):191-197, 1986.
- Silberstein, E.B.: Nuclear Orthopedics. *Journal of Nuclear Medicine*, 21(10):997-999, 1980.
- Simmons, D.J. & Kunin, A.S.: *Skeletal Research: An Experimental Approach*. Vol. I. Academic Press. New York. 1979.

- Simmons, D.J.: Fracture Healing. In: Urist, M.R.: Fundamental and Clinical Bone Physiology. J.B. Lippincott & Co. Philadelphia. 1980.
- Sinibaldi, K.R.: Fractures of the tibia. In: Bojrab, M.J. (ed.): Current Techniques in Small Animal Surgery. Lea & Febiger. Philadelphia. 1983.
- Sisk, T.D.: General principles and techniques of external skeletal fixation. Clinical Orthopaedics and Related Research. 180:96-100. 1983b.
- Smith, M.A.; Jones, E.A.; Strachan, R.K.; Nicoll, J.J.; Best, J.J.K.; Tohill, P.; Hughes, S.P.F.: Prediction of Fracture Healing in the tibia by quantitative radionuclide imaging. The Journal of Bone and Joint Surgery 69B(3):441-447, 1987.
- Smith, S.R.; Bronk, J.T.; Kelly, P.J.: Effect of fracture fixation on cortical bone blood flow. Journal of Orthopaedic Research 8(4):471-478. 1990
- Smith, M.M.: Orthopaedic Infections. In: Slatter, D. (Ed.): Textbook of Small Animal Surgery. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1993
- Spier, R.: An External Fixation Device Made of Polymer Materials. In: Uthoff, H.K. (ed.): Current Concepts of External Fixation of Fractures. Springer-Verlag. Berlin. 1982.
- Spiegel, P.G. and VanderSchilden, J.L.: Minimal Internal and Minimal External Fixation in the Treatment of Open Extremity Fractures. In: Seligson, D. & Pope, M. (Eds.): Concepts in External Fixation. Grune & Stratton. New York. 1982
- Spitz, J.; Lauer, I.; Tittel, K.; Weigand, H.: Scintimetric Evaluation of Remodeling after Bone Fractures in Man. Journal of Nuclear Medicine. 34:1403-1409, 1993.
- Squire, K.R.E.; Boehm, P.N.: External repair of a displaced comminuted radial fracture in a juvenile camel. Journal of American Veterinary Medical Association, 199(6):769-771, 1991.
- Squire, K.R.E.; Fessler, J.F.; Cantwell, H.D.; Widmer, W.R.: Enlarging Bilateral Femoral Condylar Bone Cysts without Scintigraphic Uptake in a Yearling Foal. Veterinary Radiology & Ultrasound. 33(2):109-113, 1992.
- Stader, O.: Some Orthopedic Problems. North American Veterinarian. 20(8):62-66, 1939.
- Steckel, R.R.: The role of scintigraphy in the lameness evaluation. Veterinary Clinics of North America. Equine Practice. 7(2):207-239, 1991.
- St-Jean, G.; Clem, M.F.; DeBowes, R.M.: Transfixation pinning and casting of tibial fractures in calves: Five cases (1985-1989). Journal of Veterinary Medical Association 198(1):139-143, 1991.
- Stover, S.M.; Hornof, W.J.; Richardson, G.L.; Meagher, D.M.: Bone Scintigraphy as an Aid in the Diagnosis of Occult Distal Tarsal Bone Trauma in Three Horses. Journal of American Veterinary Medical Association 188(6):624-628, 1986.
- Strachan, R.K.; McCarthy, I.; Fleming, R.; Hughes, S.P.: The role of tibial nutrient artery. Microsphere estimation of blood flow in the osteotomised canine tibia. Journal of Bone and Joint Surgery 72B(3): 391-394. 1990.
- Strömberg, N.E.L.: Diaphyseal bone in rigid internal plate fixation. Experimental study of the weakening of canine long bone. Acta Chirurgica Scandinavica. Suppl. 456. Stockholm. 1975.
- Subramanian, G.; McAfee, J.G.: A new complex of Tc-99m for skeletal imaging. Radiology, 98:192-196, 1971.
- Subramanian, G.; McAfee, J.G.; O'Mara, R.E.; Rosenstreich, M.; Mehter, A.: ^{99m}Tc-Polyphosphate PP46: A New Radiopharmaceutical for Skeletal Imaging. JNM, 12(6):399-400, 1971.
- Subramanian, G.; McAfee, J.G.; Blair, R.J.; Rosenstreich, M.; Coco, M.; Duxbury, C.E.: Technetium-99m-Labeled Stannous Imidophosphate, A New Radiodiagnostic Agent for Bone Scanning: Comparison with other ^{99m}Tc Complexes. Journal of Nuclear Medicine, 16(12):1137-1143, 1975.
- Sullins, K.E. and McIlwraith, C.W.: Evaluation of 2 Types of External Skeletal Fixation for Repair of Experimental Tibial Fractures in Foals. Vet. Surg., 16(4):255-264, 1987.
- Sumner-Smith, G.: A comparative investigation into the healing of fractures in miniature poodles and mongrel dogs. Journal of Small Animal Practice 15: 323-328. 1974.
- Sumner-Smith, G. and Bishop, H.M.: Nonunion of Fractures. In: Sumner-Smith, G.(Ed.): Bone in Clinical Orthopaedics. W.B. Saunders Co. Philadelphia. 1982.
- Sumner-Smith, G.: Delayed Unions and Nonunions. Diagnosis, Pathophysiology and Treatment. In: Olmsstead, M.L. (Ed.): Fracture Complications. Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice. 21(4):745-760, 1991.
- Tarragó, A.; Luera, M.: Fijación Externa. Alternativa Ortopédica. Noticias Neosan, año XLIV, No. 221, pp. 73-80, 1986.

- Tarragó, A.: La bioestimulación mecánica y la bioestimulación física como terapia frente a las fracturas conminutivas con gran pérdida de arquitectura ósea. *Revista AVEPA*, 7(2):49-61, 1987.
- Tawn, D.J.; Watt, I.: Bone marrow scintigraphy in the diagnosis of post-traumatic avascular necrosis of bone. *Br. J. Radiol.* 62(741):790-795, 1989. Abs.
- Taylor, R.A.: Electrically-induced osteogenesis: a review. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 20(3):435-438, 1984.
- Thrall, D.E.; Badertscher II, R.R.; Lewis, R.E.; Losonsky, J.M.: Canine Bone Scanning: Its Use as a Diagnostic Tool for Canine Hip Dysplasia. *American Journal of Veterinary Research*, 38(9):1433-1437, 1977.
- Tiedeman, J.J.; Lippiello, L.; Connolly, J.F.; Strates, B.S.: Quantitative roentgenographic densitometry for assessing fracture healing. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 253:279-286, 1990.
- Tiedeman, J.J.; Connolly, J.F.; Strates, B.S.; Lippiello, L.: Treatment of nonunion by percutaneous injection of bone marrow and demineralized bone matrix. An experimental study in dogs. *Clinical Orthopaedics*, 268:294-302, 1991.
- Tomlinson, J. and Constantinescu, G.M.: Acrylic External Skeletal Fixation of Fractures. *Compendium on Continuing Education*, 13(2):235-241, 1991.
- Tonna, E.A.: Bone Tracers: Cell and Tissue Level Techniques. In: Simmons, D.J. & Kunin, A.S. (Eds.): *Skeletal Research: An experimental approach*. Vol. I. Academic Press. New York. 1979.
- Toombs, J.P.; Aron, D.N. et al.: Angled Connecting Bars for Transarticular Application of Kirschner-Ehmer External Fixation Splints. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 25:213-216, 1989.
- Toombs, J.P.: Transarticular Application of External Skeletal Fixation. In: Harari, J.(ed): *The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation*. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Trout, D.R.; Hornof, W.J.; O'Brien, T.R.: Soft Tissue- and Bone-Phase Scintigraphy for Diagnosis of Navicular Disease in Horses. *Journal of American Veterinary Medical Association* 198(1):73-77, 1991.
- Trueta, J. and Morgan, J.D.: The vascular contribution to osteogenesis. I. Studies by the injection method. *J. Bone Joint Surg.*, 42B(1):97-109, 1960a.
- Trueta, J. and Little, K.: The vascular contribution to osteogenesis. II. Studies with the electron microscope. *J. Bone Joint Surg.* 42B(2):367-376, 1960b.
- Trueta, J.: The role of the vessels in osteogenesis. *J. Bone Joint Surg.*, 45B:402-418, 1963.
- Trueta, J.: Blood supply and the rate of healing of tibial fractures. *Clin. Orthop.* 105:11-26, 1974.
- Turner, T.M.: Open Fractures and Osteomyelitis. AAHA's 49th. Annual Meeting Proceeding. 1982
- Uthoff, K.H.: *Current concepts of External Fixation of Fractures*. Springer-Verlag. Berlín 1982.
- Ullman, S.L. and Boudrieau, R.J.: Internal Skeletal Fixation Using a Kirschner Apparatus for Stabilization of Fracture/Luxations of the Lumbosacral Joint in Six Dogs. A modification of the Transilial Pin Technique. *Veterinary Surgery*, 22(1):11-17, 1993.
- Van EE, R.T.; Geasling, J.W.: The principles of external skeletal fixation. *Symposium on Orthopedic Surgery. Veterinary Medicine*. 87(4):334-343, 1992.
- Vaes, G.: Cellular Biology and Biochemical Mechanism of Bone Resorption. A review of recent developments of the formation, activation, and mode of action of osteoclasts. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 231d:239-271, 1988.
- Vidal, J.: Introduction. In: Mears, D.C. (Ed.): *External Skeletal Fixation*. Williams & Wilkins. Baltimore. 1983a.
- Vidal, J.: External Fixation: Yesterday, today and tomorrow. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 180:7-14, 1983b.
- Vilaplana, F.; Grosso, M.D.; Grosso, S.: Traumatología y ortopedia en aves silvestres. *AVEPA* 4(7): 201-210, 1987.
- Viñolas, J.; Goenaga, I.: *Biomecánica del fijador externo*. Libro de resúmenes de: Seminario de Fijadores Externos. Diseños experimentales y experiencia clínica. Sitges. 1993.
- Wahner, H.W.: Radionuclides in the Diagnostic of Fracture Healing. *The Journal of Nuclear Medicine*, 19(12):1356-1357, 1978.
- Walker, M.A., Lewis, R.e., Knelles, S.K., Thrall, D.E.; Losansky, J.M.: Radiographic signs of bone infection in small animals. *J.A.V.M.A.* 9(16): 908-911, 1975.

- Wallace, A.L.; Strachan, R.K.; Blane, A.; Best, J.J.K.; Hughes, S.P.F.: Quantitative early phase scintigraphy in the prediction of healing of tibial fractures. *Skeletal Radiology*, 21:241-245, 1992.
- Wan, P.Y.; Tucker, R.L.; Latimer, F.G.: Scintigraphic Diagnosis. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 33(4):247-248, 1992.
- Warrell, E.; Taylor, J.F.: The role of periosteal tension in the growth of long bones. *J. Anat.* 1:179-184, 1979.
- Weber, B.G. and Cech, O.: Techniques in Indirect External Osteosyntheses: Fixateur Externe. In.: Pseudoarthrosis. Hans Huber Publisher. Bern. 1976.
- Weber, B.G. and Magerl, F.: The External Fixator. Springer-Verlag. Berlin. 1985.
- Weber, B.G.: Bone Healing in the Presence of an External Fixator. In: Weber, B.G. and Magerl, F. (eds.): The External Fixator. Springer-Verlag. Berlin. 1985.
- Weis, E.B.; Roberts, J.B.; Curtiss, P.H.: Salvage of complicated open fractures by transfixation. *The Journal of Trauma* 16(4):266-272. 1976.
- White, A.A. III; Panjabi, M.M.; Southwick, W.O.: Effects of compression and cyclical loading on fracture healing: a quantitative biomechanical study. *Journal of Biomechanics*. 10:233-239. 1977a.
- White, A.A. III; Panjabi, M.M.; Southwick, W.O.: The Four Biomechanical Stages of Fracture Repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 59A(2):1977b.
- Whitehair, J.G.; Vasseur, P.B.: Fractures of the Femur. In: Harari, J.(ed): The Veterinary Clinics of North America. (Small Animal Practice.) External Skeletal Fixation. Vol. 22, N° 1. W.B. Saunders Company. Philadelphia. 1992
- Whitehair, K.J.; Adams, S.B.; Toombs, J.P.; Parker, J.E.; Prostedny, J.M.; Whitehair, J.G.; Aiken, S.W.: Arthrodesis for congenital flexural deformity of the metacarpophalangeal and metatarsophalangeal joints. *Veterinary Surgery*, 21(3):228-233, 1992.
- Whittle, M.; Harris, D.: Biomechanical measurement in orthopaedic practice. Claderon Press. Oxford. 1985.
- Wilde, A.H.; Schickendantz, M.S.; Stulberg, B.N.; Go, R.T.: The incorporation of tibial allograts in total knee arthroplasty. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 72A(6):815-824, 1990. Abs.
- Willer, R.L.; Egger, E.L.; Histand, M.B.: Comparison of Stainless Steel Versus Acrylic for the Connecting Bar of External Skeletal Fixators. *Journal of American Animal Hospital Association*. 27:541-548. 1991.
- Williams, E.A.; Rand, J.A.; An, K.N.; Chao, E.Y.S.; Kelly, P.J.: The early healing of tibial osteotomes stabilized by one-plane or two-plane external fixation. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 69A(3):355-364. 1987.
- Withrow, S.J.; Moore, R.W.: Orthopedic Emergencies in small animals. *Veterinary Clinics of North America*. 11(1): 171-184, 1981.
- Withrow, S.J.: Transarticular pinning and external splintage for treatment of congenital tarsal abnormalities. *JAAHA*. 117(3):469-472.
- Wolff, R.K.; Merickel, B.S.; Rebar, A.H.; Mewhinney, J.A.: Comparison of Bone Scans and Radiography for Detecting Bone Neoplasms in Dogs Exposed to ²³⁹PuO₂: *American Journal of Veterinary Research*, 41(11):1804-1807, 1980.
- Wolff, R.K.; Beierman, W.F.; Mason, M.J.; Harkema, J.R.; Muggenburg, B.A.: Detection of a Liver Tumor in a Beagle Dog Using Single Photon Emission Computed Tomography. *Veterinary Radiology* 29(4):179-183, 1988.
- Woodard, J.C.; Riser, W.H.: Morphology of Fracture Nonunion and Osteomyelitis. In: Olmstead, M.L. (ed.): Fracture Complications. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 21(4):761-780, 1991.
- Wray, J.B. and Lynch, C.J.: The vascular response to fracture of the tibia in the rat. *J. Bone Joint Surg.*, 41A:1143, 1959.
- Wu, J.J.; Shyr, H.S.; Chao, E.Y.S.: Comparison of Bone Fracture Healing under External Fixation with Varying Stiffness Characteristics. In: Transactions of 29th. Ann. Meeting, Orth. Res. Soc., January, pp. 316-317, 1982.
- Wu, J.J.; Shyr, H.S.; Chao, E.Y.S.; Kelly, P.J.: Comparison of Osteotomy Healing under External Fixation Devices with Different Stiffness Characteristics. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 66A(8):1258-1264, 1984.
- Yamagishi, M.; Yoshimura, Y.: The biomechanics of fracture healing. *Journal of Bone and Joint Surgery (Am)*. 37A(5):1035-1068. 1955
- Yano, Y.; McRae, J.; Van Dyke, D.C.; Anger, H.O.: Technetium-99m-Labeled Stannous Ethane-1-Hydroxy-1-Diphosphonate: A New Bone Scanning Agent. *Journal of Nuclear Medicine*, 14(2):73-78, 1973.
- Yanoff, S.R.; Hulse, D.A.; Palmer, R.H.; Herron, M.N.: Distraction osteogenesis using modified external fixation devices in five dogs. *Veterinary Surgery*, 21(6):480-487, 1992a.

Yanoff, S.R.; Hulse, D.A.; Hogan, H.A.; Slater, M.R.; Longnecker, M.T.: Measurements of Vertical Ground Reaction Force in Jumping Dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 5:44-50, 1992b.

Yasui, N.; Kojimoto, H.; Sasaki, K.; Kitada, A.; Shimizu, H.; Shimomura, Y.: Factors Affecting Callus Distraction in Limb Lengthening. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 293:55-60, 1993.

IX. AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Joaquín Camón, Catedrático de Anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona por haber aceptado la codirección de esta tesis. Agradezco tu colaboración, tus críticas constructivas y especialmente, el hacerme ver la diferencia entre hacer un trabajo científico o hacer científicamente un trabajo.

Al Prof. Fidel SanRomán, Catedrático de Cirugía de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid por haber aceptado la codirección de esta tesis y por mostrarse siempre dispuesto a prestarme toda su colaboración.

Al Dr. Josep Font, no sólo debo agradecerte profundamente tu sincera amistad sino también el hecho de que fueses y sigas siendo mi maestro en el campo de la traumatología y ortopedia veterinarias.

A la Dra. M^a Cristina Manzanares, Prof. Titular del Departamento de Ciencias Morfológicas y Odonto-Estomatología y Jefe de la Unidad de Investigación de Crecimiento y Morfología Craneofacial de la Universidad de Barcelona. A tí y a tu equipo, gracias no sólo por la cantidad de tiempo que amablemente me habéis dedicado sino también por descubrirme y enseñarme pacientemente todos aquellos conocimientos relacionados con los tejidos óseos a los que difícilmente hubiese tenido acceso sin vuestra ayuda.

Al Dr. Ramón Herranz y muy especialmente a la Dra. Alicia García del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico de Barcelona. Gracias no sólo por la inestimable colaboración científica sino también por la enorme humanidad, comprensión y paciencia que me habeis dispensado.

Al Dr. Miguel Luera, Prof. Asociado de la Unidad de Cirugía de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, por su amistad y por su vocación en hacernos partícipes a los que empezamos en el campo de la traumatología veterinaria, de tantos conocimientos acumulados a lo largo de toda una vida dedicada a nuestra profesión.

A Josep Rutllant, David Sabaté, Josep Arús, Ferrán Vinaixa i Alex González, os agradezco inmensamente vuestra obligada afición de compartir intempestivas horas de quirófano y de disfrutar de "radioactivos" fines de semana.

A los compañeros de la Unidad de Cirugía que me han demostrado sobradamente su amistad, apoyo y colaboración.

Al Dr. Antonio Arcalís, Médico Adjunto del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica de la Ciudad Sanitaria de la Vall d'Hebró, siempre dispuesto a demostrar que más que un traumatólogo es un buen amigo.

Al Dr. Carlos López, Profesor Titular de Anatomía y Emgriología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, por haberme demostrado su amistad cuando no era precisamente lo más prudente.

A todo el personal técnico y científico de la Clínica Veterinaria Canis, Centre Veterinari Rubí y Centre Veterinari Abad Marcet por vuestra colaboración, comprensión y constante apoyo.

Al Dr. J. Morales del Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica de la Ciudad Sanitaria Principes de España, por haber atendido amablemente a todas mis consultas y por sus valiosos consejos para la realización de este trabajo.

Al Dr. Ramón Fontarnau del "Servei de Microscopia Eletrònica de Rastreig" (Universitat de Barcelona) y a todo su equipo por el inestimable apoyo prestado durante las sesiones de microscopía electrónica.

A la Dra. Pilar Carrasco, de Pan-Química Farmaceutica, por la cesión desinteresada del medio de contraste microangiográfico.

A cuantos de alguna u otra manera han colaborado en la realización de esta tesis y cuyos nombres, por un imperdonable error, se han quedado en el disco duro de mi ordenador.

X. RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio consistía en evaluar el efecto que generaba la implantación angulada o transversal con posterior flexión de las agujas transfixiantes sobre la cicatrización ósea y sobre el desplazamiento lateral de los fijadores externos. Para tal objetivo se practicaron, de forma bilateral, osteotomías centrodiafisarias tibiales en perros utilizándose para su reducción, un fijador externo tipo II de cuatro agujas. De este modo, las osteotomías practicadas en las tibias izquierdas eran reducidas mediante un fijador externo cuyas agujas se implantaban de forma angulada (grupo de angulación) mientras que las practicadas en las tibias derechas eran reducidas también mediante un fijador externo tipo II, aunque en esta ocasión, las agujas se implantaban de forma transversal, para posteriormente incurvarlas en dirección al foco de fractura (grupo de flexión) generando así una cierta compresión interfragmentaria y una reducción más rígida de la osteotomía. Durante el periodo postoperatorio se llevaron a cabo controles clínicos y radiológicos a las 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 16 semanas y exploraciones gammagráficas mediante $^{99m}\text{Tc-DMP}$ a las 1, 2, 3, 4 y 8 semanas. Los estudios postmortem incluían técnicas microangiográficas, microrradiográficas, histológicas de piezas sin decalcificar y de microscopía electrónica de retrodispersión y fueron realizados en animales eutanasiados a las 1, 2, 4 y 8 semanas tras la realización de la osteotomía.

Entre los resultados obtenidos destacaríamos que el valor medio de osteolisis peripin registrado en el grupo de flexión fue mayor ($p < 0,005$) que el del grupo de angulación, grupo en el que se observó también una consolidación más rápida ($p < 0,005$) de las osteotomías. Los resultados gammagráficos (basados tanto en las imágenes obtenidas con el colimador paralelo, como en los índices de captación y en las gráficas de captación lineal) y los microangiográficos demostraron un mayor aporte sanguíneo y una mayor riqueza vascular así como una mayor cantidad de tejido óseo neoformado en el grupo de angulación con respecto al de flexión. Asimismo, los estudios microrradiográficos, histológicos y de microscopía electrónica de retrodispersión reflejaron una activación más tardía del proceso de remodelación ósea en el grupo de flexión así como una menor madurez tisular del callo en el citado grupo con respecto al de angulación. De nuestros resultados se puede constatar la ineficacia de la implantación transversal y posterior flexión de las agujas para evitar el desplazamiento lateral del fijador, según se deduce del mayor grado de osteolisis peripin registrado en este grupo, y para favorecer la cicatrización ósea a partir de una reducción inicialmente más rígida. Finalmente, nuestro estudio aporta, por una parte, los patrones gammagráficos de referencia referentes al proceso de cicatrización de fracturas reducidas con fijadores externos y, por otra, la identificación, probablemente por primera vez en fracturas de huesos largos, de un tejido calcificado, descrito recientemente en las fracturas de suturas craneales, denominado tejido condroide.

XI. ABSTRACT

Experimental midshaft tibial osteotomies were performed in twenty-two adult mongrel dogs. Osteotomies produced on the left tibiae were reduced by means of a type II external skeletal fixator, the pins being inserted in an angulated fashion, and those osteotomies performed on the right tibiae were reduced by means of a type II external fixator with transversally inserted prestressed pins. The influence of angulated pin insertion (lesser rigid fixation) versus prestressing pin insertion (more rigid fixation with a certain degree of interfragmentary compression) on bone healing process and on the lateral frame displacement has been assessed.

After osteotomy, clinical and radiological controls were made at 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 16 weeks and a bone scanning study with ^{99m}Tc -DMP at 1, 2, 3, 4 and 8 weeks. Postmortem studies included microangiography, microradiology, backscattered scanning electron microscopy and histology of undecalcified tissue samples. These studies were made on dogs killed at 1, 2, 4 and 8 weeks.

The tibiae in the angulated pin insertion group exhibited a lesser degree of peripin osteolysis ($p < 0,005$) and a more quickly (9 days) consolidation of the osteotomy ($p < 0,005$) than those in the prestressing pin insertion group. Scintigraphic (including parallel-collimator images, captation indexes and pin-hole profiles) and microangiographic studies revealed the presence of higher degree of, respectively, blood and vascular supply to the osteotomy site as well as a faster new bone formation (along the whole study) in animals included in the angulated pin insertion group. During the whole experimental periods, microradiography, histology and backscattered scanning electron microscopy revealed a delay in the bone remodelling process as well as the presence of a less mature callus in the prestressing pin insertion group as compared with angulated pin insertion group. Our results graphically showed the lower degree of efficiency of prestressing pins in order to avoid lateral frame displacement (due to the higher degree of osteolysis) and to assure a more adequate bone healing process by producing interfragmentary compression.

Finally, our study allowed us to establish, on the one hand, the scintigraphic indexes and profiles of uncomplicated bone healing process in dogs after fractures treated by means of type II external fixators. On the other hand, a recently described variety of supporting tissue present in calvarium suture fractures, the so-called chondroid tissue, has also been identified, probably for the first time, in long bone fractures by means of backscattered scanning electron microscopy.