

Los trazadores utilizados habitualmente en gammagrafía ósea con el ^{99m}Tc son sustancias que contienen fósforo, ya sea en forma de polifosfatos lineales (los desarrollados inicialmente) con uniones tipo P-O-P como el pirofosfato (PYP); en forma de difosfonatos (los más utilizados) con uniones tipo P-C-P como el EHDP (etano 1-hidroxi-1,1-difosfonato) o el MDP (metilen difosfonato) o en forma de imidodifosfatos, con uniones tipo P-N-P. El ^{99m}Tc -MDP ha resultado ser uno de los radiofármacos más sensibles para el estudio gammagráfico de los tejidos óseos por lo que todavía se utiliza para tal fin en la mayoría de servicios de medicina nuclear (Mattar y Siegel, 1980). El radiofármaco no retenido es rápidamente eliminado por vía renal, acumulándose en el vejiga urinaria, por lo que resulta importante mantener una adecuada hidratación del paciente así como una eliminación frecuente de la orina acumulada, puesto que el 70% de la dosis intravenosa de ^{99m}Tc -MDP es excretada vía urinaria en las cuatro horas siguientes a la administración (Lamb, 1990). La dosificación de ^{99m}Tc -MDP para una exploración rutinaria a un adulto se sitúa entre 10 y 20 mCi (milicurios), las imágenes óseas pueden adquirirse a partir de las dos horas post-inyección y la radioactividad recibida para la totalidad del organismo del paciente se sitúa aproximadamente en unos 10 mrad/mCi (Mattar y Siegel, 1979).

En la actualidad, y a pesar de la existencia de distintos sistemas de detección (detectores de centelleo, sondas de centelleo, scanner lineales), la mayoría de centros de diagnóstico gammagráfico utilizan la denominada gammacámara (también conocida como cámara de Anger, por ser el nombre del investigador que la desarrolló). La gammacámara consiste básicamente en una amplia y delgada lámina de cristal de NaI acoplada a un conjunto de tubos fotomultiplicadores (generalmente 37 tubos). Los impulsos luminosos que generan los fotones al incidir sobre la lámina de cristal son transformados en impulsos eléctricos para ser recogidos y amplificados por los tubos fotomultiplicadores y dirigidos hacia un sistema computerizado que calcula las coordenadas "x" e "y" para localizar exactamente el punto de centelleo (Mattar y Siegel, 1979).

Finalmente, la imagen resultante se obtiene de la acumulación de los distintos destellos y puede presentarse en forma de placa gammagráfica, en forma analógica (mayor definición pero mucho más lenta) o bien en forma digital mediante el correspondiente tratamiento informático. Aunque la resolución de la imagen gammagráfica es muy inferior a la de la radiográfica, la finalidad de la exploración gammagráfica no es estructural (como en el caso de la radiografía) sino la de obtener información fisiopatológica y funcional (Devous y Twardock, 1984; Lamb y Koblik, 1988). Asimismo, la colimación de la radiación puede realizarse mediante un colimador de canales paralelos (que abarca una amplia zona de adquisición) o bien mediante un colimador denominado genéricamente "pin hole" que permite unas captaciones de mucha mayor precisión y sensibilidad aunque en detrimento de la superficie de la zona explorada, considerablemente más pequeña (Mattar y Siegel, 1979).

Generalmente, en la imagen gammagráfica podemos observar zonas que destacan por presentar diferentes grados de captación. Aquellas áreas donde se ha producido un acúmulo importante de radiofármaco se denominan "zonas calientes" o de hipercaptación en contraposición a las "zonas frías" o de hipocaptación que corresponden a áreas de la porción explorada donde la captación es muy pequeña o nula (Martin, 1992).

Evidentemente, si la finalidad de la exploración se centra en el estudio del tejido óseo, resulta necesario conocer con cierta exactitud los mecanismos por los cuales se produce el acúmulo de radiofármaco en el hueso. Para ello es imprescindible recordar que el hueso está constituido por un sistema organizado de células rodeadas por una matriz proteica (fase orgánica) donde se incluyen los cristales ultramicroscópicos de hidroxiapatita (fase inorgánica) (Mattar y Siegel, 1979; Hughes, 1980).

La matriz proteica de la fase orgánica está constituida principalmente por colágeno, aunque también encontramos mucopolisacáridos y mucoproteínas, elaboradas por los osteoblastos en una incesante actividad metabólica. La fase inorgánica está compuesta por cristales de hidroxiapatita con una muy importante superficie de intercambio iónico. Tal y como se describe en el apartado dedicado a la vascularización ósea (pág. 119), el hueso cortical obtiene los nutrientes mediante un mecanismo de difusión pasiva a partir de los capilares haversianos del sistema vascular intermedio del hueso compacto. Para ello, atraviesan primero la pared capilar por unos pequeños poros endoteliales y alcanzan las células óseas en el fluido tisular que discurre por el interior de los canalículos óseos que parten de los canales óseos vasculares (Hughes, 1980; Rhinelander, 1972; 1982; Harris, 1990).

Por lo tanto, para que un ión logre alcanzar el interior de un cristal de hidroxiapatita debe pasar desde el espacio vascular (paso 1) a través del fluido extracelular (paso 2) hasta el vaina acuosa que recubre cada cristal (paso 3), depositarse en la superficie del cristal (paso 4) y por fin, penetrar en el interior del cristal de hidroxiapatita (paso 5). Los tres primeros pasos pueden realizarse en breves minutos, el cuarto requerirá varias horas mientras que la incorporación del nuevo ión en la estructura íntima del cristal se producirá en varios días e incluso semanas. Sin embargo, se considera que una vez los iones han llegado a la capa de hidratación del cristal, son ya parte esencial del hueso y por lo tanto, se han "localizado" ya en el hueso. Algunos iones permanecerán siempre en la vaina de hidratación, mientras que otros podrán fijarse a la superficie del cristal y unos terceros podrán incluso reemplazar iones del interior del cristal.

Por lo tanto y debido a la importante actividad metabólica del tejido óseo así como a la amplia superficie de los cristales de hidroxiapatita y a su elevada capacidad de intercambio iónico y de quimioabsorción, tanto la fase orgánica como la fase inorgánica del

hueso podrán marcarse fácilmente con radionúclidos (radiofármacos) de afinidad ósea (Mattar y Siegel, 1979).

Sin embargo, no se conocen con profundidad los factores fisiopatológicos que determinan las diferencias regionales en la captación ósea de los isótopos entre zonas óseas afectadas por alguna patología (o en zonas de crecimiento) y zonas óseas aparentemente inalteradas. Sin duda, las alteraciones del aporte vascular en una determinada zona (p. ej. por una fractura o por un proceso neoplásico) son responsables también de una variación en la cantidad de captación de isótopo de esa misma zona en comparación con las adyacentes no afectadas (a mayor irrigación, mayor aporte local de radiofármaco). Los cambios en la permeabilidad capilar así como las alteraciones en el volumen del fluido óseo extracelular pueden igualmente ser responsables de las anteriores variaciones. Otros factores menos evidentes que también podrían justificar las diferentes absorciones son: alteraciones en la superficie de intercambio de los cristales, alteraciones en la afinidad del radiofármaco por la fase orgánica o inorgánica del hueso y cambios locales en la composición del fluido extracelular (Mattar y Siegel, 1979; Lamb y Koblik, 1988).

Por otra parte, parece evidente que el metabolismo óseo interviene de forma determinante en las citadas variaciones de captación. En la zona del hueso aquejada de alguna patología, p. ej. una fractura, se produce un importante incremento de la actividad metabólica ósea tal y como se demuestra por el importante incremento (casi cuatro veces mayor) en el consumo de difosfonato con respecto al consumo del mismo producto en condiciones fisiológicas o en zonas inalteradas (Hughes, 1980). De aquí el interés de utilizar como trazador el difosfonato para la valoración de patologías óseas (Mattar y Siegel, 1979).

A modo de conclusión, podríamos considerar que el acúmulo de los trazadores óseos en el esqueleto es un proceso relativamente inespecífico que no refleja ningún fenómeno fisiológico particular, pudiendo asociarse tanto a condiciones benignas (cartílagos de crecimiento; raíces dentarias, etc.) como malignas (neoplasias, osteomielitis, fracturas, etc.) siempre que exista como mínimo una alteración del aporte vascular regional y/o de la actividad metabólica ósea regional traducida en una neoformación ósea (Mattar y Siegel, 1979; Hughes, 1980; Devous y Twardock, 1984; Lewallen et al., 1984; Lamb y Koblik, 1988; Martin, 1992).

Según lo descrito anteriormente, podemos describir tres fases durante la exploración gammagráfica del esqueleto. La fase 1 de la gammagrafía ósea o fase vascular, tiene lugar durante los 30 segundos siguientes a la inoculación intravenosa del radiofármaco, y en ella se aprecia la distribución del radiofármaco por los principales vasos sanguíneos. Durante la fase 2 (fase de tejidos blandos), que se inicia al término de la fase 1 y se manifiesta claramente durante los 10 a 20 minutos siguientes, se produce la distribución del

radiofármaco por toda la red capilar tisular. A medida que el radiofármaco va desapareciendo de los distintos tejidos blandos para su excreción por vía renal, se va manifestando con mayor claridad el tejido óseo en el que se ha fijado el trazador. Cuando finalmente y al cabo de como mínimo dos horas, se ha eliminado la práctica totalidad del trazador de los tejidos blandos circundantes al hueso, tiene lugar la fase 3 (fase ósea) en la que se obtiene una imagen nítida del esqueleto (Mattar y Siegel, 1979; Lamb y Koblik, 1988).

Dada la brevedad de la fase 1, algunos autores (Martin, 1992) prefieren considerar únicamente dos fases, la fase 1 (vascular y tisular) y la fase 2 (ósea). Según el patrón gammagráfico que se presente en cada fase, es posible distinguir distintas patologías. Así, p. ej., la cicatrización de una fractura y la coexistencia o no de un proceso osteomielítico presenta en el primer caso un foco caliente en las tres fases (vascular, tisular y ósea) puesto que existe una reacción inflamatoria de los tejidos blandos debido a la infección, mientras que cuando no exista osteomielitis que complique la cicatrización de la fractura, el foco caliente únicamente aparecerá en la fase ósea (Lamb y Koblik, 1988).

Finalmente, la valoración de las imágenes gammagráficas óseas puede llevarse a cabo de tres formas distintas. La primera de ellas consiste en la simple valoración visual de la imagen gammagráfica, es decir, la visualización de un foco de hipercaptación (o hipocaptación) en un lugar determinado ya puede presentar de por sí suficiente entidad diagnóstica. Otra posibilidad se basa en la cuantificación de la captación gammagráfica de una determinada zona en comparación con la de una zona adyacente aparentemente sana o bien comparándola con patrones preestablecidos, obteniendo en ambos casos los denominados "índices de captación". El último sistema de valoración consiste en la elaboración de gráficas de captación lineal mediante un barrido de la zona explorada y la presentación de la curva de captación obtenida. Tanto la elaboración de las gráficas de captación lineal como la cuantificación de los índices de captación se lleva a cabo mediante el propio "software" de la gammacámara, el cual permite además la manipulación digital de la imagen adquirida así como su almacenamiento en soporte magnético para su evaluación posterior o para estudios seriados (Mattar y Siegel, 1979).

En traumatología y ortopedia humanas son muchas las aplicaciones de la gammagrafía, destacando la detección de **neoplasias óseas primarias** o **metastásicas** ya sea con los radiofármacos tradicionales (Galasko, 1975; Hughes, 1980) o utilizando el marcaje de anticuerpos monoclonales tumor-específicos (Pimm et al., 1991), permitiendo en ambos casos, no sólo el diagnóstico del proceso después de obtener imágenes radiológicas poco evidentes sino también determinar la extensión de la lesión de cara a una correcta pauta terapéutica; **procesos osteomielíticos**, bien sea utilizando como radiofármaco el ^{99m}Tc -MDP (Hughes, 1980) o el ^{111}In (Hoskinson et al., 1991), o bien logrando incrementar la especificidad de la técnica mediante el marcado de leucocitos con los anteriores radiofármacos

(Schelstraete et al., 1992), con el ^{99m}Tc -HMPAO (Moragas et al., 1991; Copping et al., 1992) o utilizando al Galio como trazador especialmente sensible en caso de osteomielitis fúngicas (Cohen et al., 1984); **artropatías degenerativas** (Silberstein, 1980; Madkour et al., 1988; Metz y Gilula, 1993); valoración de la **cicatrización de las fracturas** (Muheim, 1973; Johannsen, 1973; Gumerman et al., 1978; Oni et al., 1989; Aro et al., 1989; Wallace et al., 1992) y detección prematura de fenómenos de **no-uniión** (Silberstein, 1980; Gunalp et al., 1992) así como diagnóstico de **fracturas de estrés o fisuras** con imágenes radiológicas inconcluyentes (Silberstein, 1980); **viabilidad de injertos óseos** corticales masivos (Greenberg et al., 1989; Wilde et al., 1990); detección de **alteraciones musculoesqueléticas y ligamentosas** (Metz y Gilula, 1993); y diagnóstico de **procesos óseos avasculares** o isquémicos como, p. ej., Enfermedad de Perthes (Danigelis et al., 1975, en Hughes, 1980; Oshima et al., 1992); y secuestros óseos (Tawn y Watt, 1989; Wallace et al., 1992).

Tal y como sucede con muchas otras técnicas innovadoras de diagnóstico, la aplicación de la gammagrafía a la clínica veterinaria se ha producido con el lógico desfase respecto a la gammagrafía humana. Sin embargo, en la actualidad cada día es mayor el número de publicaciones de las distintas especialidades veterinarias que utilizan técnicas gammagráficas, convenientemente adaptadas de las utilizadas en medicina humana, para diagnosticar distintos procesos patológicos que afectan a los animales domésticos. Como era de esperar, y excepción hecha de algunos casos de aplicación a animales de abasto (Lofstedt et al., 1988; Papageorges et al., 1991)), los estudios gammagráficos se concentran principalmente en la clínica de pequeños animales y en la de équidos.

Al contrario de lo que sucede en la clínica de pequeños animales, gran parte de la bibliografía referida a la utilización de la gammagrafía en la clínica equina se centra hasta ahora exclusivamente en el diagnóstico de cojeras u otros problemas ortopédicos, siendo mucho menos frecuentes estudios gammagráficos en otras especialidades (Koblik y Hornof, 1987; Metcalf et al., 1989a). Entre las principales indicaciones de la gammagrafía equina cabría destacar: el diagnóstico de **fracturas por estrés** (Devous y Twardock, 1984; Pilsworth y Webbon, 1988; Martin, 1992), con **signos radiológicos no concluyentes** (Stover, et al., 1986; Mackey et al., 1987; Koblik et al., 1988; Wan et al., 1992) o de **localización anatómicamente complicada** (Martin, 1992) como p. ej.: fractura de la 3ª falange (Keegan et al., 1993), fractura del tercer trocánter (Lamb y Koblik, 1988) o fractura de un premolar con fractura incompleta del alveolo dentario maxilar (Metcalf et al., 1989a); **enfermedad navicular** (Lamb y Koblik, 1988; Trout et al., 1991; Martin, 1992); **cojeras de origen multifocal o inespecíficas** (Martin, 1992; Wan et al., 1992); distintas modalidades de **osteochondrosis** (Lamb y Koblik, 1988; Squire et al., 1992) o **alteraciones fisarias** (Metcalf et al., 1989b; Allhands et al., 1987); **secuestros óseos** (Lamb y Koblik, 1988); **artritis y osteomielitis** (utilizando ^{99m}Tc , ^{67}Ga , ^{111}In o leucocitos marcados con ^{111}In) (Lamb y Koblik, 1988). Finalmente, se puede utilizar la gammagrafía como técnica no-invasiva para evaluar

la evolución de los distintos procesos patológicos (Devous y Twardock, 1984; Lamb y Koblik, 1988; Martin, 1992). La validez de la gammagrafía ósea en caballos es tal que algunos autores no dudan en calificar que prácticamente todas las patologías responsables de cojeras en caballos (excepto algunos casos de quistes óseos) pueden ser perfecta y prematuramente detectadas mediante gammagrafía ósea (Steckel, 1991) siendo suficiente con un equipo básico de gammadiagnóstico humano convenientemente adaptado (Riddolls et al., 1991).

Por el contrario, la aplicación de la gammagrafía en pequeños animales se muestra actualmente mucho más multidisciplinaria, destacando en este sentido especialidades como la **neumología** para el diagnóstico de tromboembolismos pulmonares (Koblik et al., 1989b; Harnagel et al., 1989) utilizando simultáneamente ^{99m}Tc por vía aerógena y vascular así como metástasis pulmonares (Lamb y Koblik, 1988); la **endocrinología**, especialmente en el caso de patologías tiroideas (Rijnberk, 1981; Schaer, 1981); la **parasitología**, como método de diagnóstico de dirofilariosis canina mediante la utilización de anticuerpos monoclonales específicos marcados con ^{99m}Tc , permitiendo no sólo diagnosticar la infestación sino también determinar la localización y actividad de los parásitos (Daniel y Allhands, 1988 y 1989) y la **gastroenterología** con indicaciones tan dispares como el diagnóstico de tumores hepáticos (Wolff et al., 1980; 1988), de shunts porto-sistémicos utilizando como isótopo tanto el ^{123}I (Koblik et al., 1989a) como el ^{99m}Tc (Koblik et al., 1990) en ambos casos por vía transcolónica; la localización de hemorragias intestinales (Metcalf, 1987; Kleine y Lamb, 1989); la funcionalidad de las vías hepatobiliares (Boothe et al., 1992); y la evaluación de la motilidad esofágica (Kleine y Lamb, 1989) o gástrica (Hornof et al., 1989; Kleine y Lamb, 1989).

La gammagrafía ósea en pequeños animales tiene mucha menor difusión de la descrita anteriormente en clínica equina. Asimismo, y dejando aparte casos concretos como el diagnóstico de tumores óseos, la mayoría de autores enumeran una serie de indicaciones de la gammagrafía ósea en pequeños animales pero basándose más que en amplia casuística clínica, en la simple extrapolación directa de las indicaciones de medicina humana o en puntuales trabajos experimentales, no sucediendo como en el caso de la clínica equina, en la que la gammagrafía ósea es ya una técnica de exploración perfectamente instaurada. Sea como fuere, destacaremos a continuación, las principales indicaciones de la exploración gammagráfica en ortopedia y traumatología de pequeños animales: diagnóstico de **tumores óseos primarios** en las siguientes situaciones: en fases iniciales, cuando los signos radiológicos sean inexistentes o inconcluyentes, para evaluar la extensión de la zona afectada o el carácter multicéntrico del tumor o bien, la presencia de posibles metástasis de cara a perfilar el protocolo de tratamiento y emitir un posible pronóstico (Wolff et al., 1980; Lamb, 1987; Parchman et al., 1989; Lamb, 1989; et al., 1990; Hahn et al., 1990; Berg et al., 1990); detección prematura de **metástasis óseas** generalmente no asociadas con la

sintomatología clínica existente y sin manifestación radiológica (precedentes habitualmente de tumores primarios mamarios, tiroideos o prostáticos) (Lamb, 1987; Lee-Parritz y Lamb, 1988); diagnóstico precoz de **osteomielitis** que en algunos casos se ha estimado superior a los 10 días de anticipación con respecto al diagnóstico radiológico y de **secuestros óseos** indetectables radiológicamente (Selcer, 1983; Lamb, 1987); detección de **artropatías degenerativas** de diversa índole como displasia coxofemoral (Allhands et al., 1976; 1980; Thrall et al., 1977) y **artritis bacterianas o inmunomediadas** (Lamb, 1987); constatación de **alteraciones vasculares óseas** (principalmente secuestros óseos) y **viabilidad de injertos óseos** (Stoloff et al., 1979; Henry et al., 1985; Puech et al., 1990) en todos los casos de forma experimental; **viabilidad de los tejidos blandos** tras un traumatismo para evaluar la necesidad de amputación del miembro afectado (Harari et al., 1992) y **cicatrización de fracturas u osteotomías** (Lewallen et al., 1984; Henry et al., 1985; Aro et al., 1990). A pesar de que algunos autores (Lamb, 1987) sugieren la validez de la gammagrafía ósea para el diagnóstico de la enfermedad de Legg-Calvé-Perthés o de fracturas de estrés en perros, tal y como sucede en medicina humana (Danigelis et al., 1975, en Hughes, 1980; Silberstein, 1980; Oshima et al., 1992) no se han encontrado referencias específicas de su aplicación. Las manifestaciones óseas de procesos tales como hipervitaminosis A, lupus eritematoso sistémico e hiperparatiroidismo, diagnosticadas prematuramente en medicina humana mediante gammagrafía ósea (Silberstein, 1980) y presentes en medicina veterinaria, tampoco se han visto reflejadas en la bibliografía consultada.

**III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA,
HIPOTESIS DE TRABAJO Y
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

III.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 1979, Brand pretendió determinar mediante una fórmula matemática el tiempo de cicatrización de una determinada fractura (v. "Revisión bibliográfica" pág. 134). Después de multitud de observaciones y no sin cierto sentimiento de frustración, Brand concluyó que con los conocimientos científicos y los medios técnicos de que disponemos en la actualidad y seguramente en un futuro próximo, es totalmente imposible ajustar la gran cantidad de variables presentes a la rigurosidad de una fórmula matemática mínimamente precisa, resultando totalmente imposible de predecir con suficiente precisión y exactitud cuánto tiempo requerirá una determinada fractura para completar su proceso de cicatrización (Brand, 1979).

Sin embargo, en la práctica clínica habitual, la extensa lista de factores citados por Brand puede simplificarse enormemente. Los traumatólogos conocen perfectamente que en la correcta cicatrización de una fractura intervienen dos tipos de factores: aquéllos propios de cada caso en particular (tipo de fractura, edad del paciente, etc.) y aquéllos sobre los que se cimenta la cicatrización ósea, es decir, la correcta estabilidad de los fragmentos óseos fracturados y el óptimo aporte vascular a los mismos (Heppenstall, 1980, Mears, 1983b).

Por lo tanto, la elección de una técnica quirúrgica que proporcione un adecuado equilibrio entre la correcta estabilización de los fragmentos fracturados y el respeto máximo de las estructuras vasculares responsables del aporte sanguíneo tanto al hueso lesionado como a los tejidos que le rodean, determinará el éxito o fracaso de la consolidación fracturaria (Heppenstall, 1980; Rhinelander, 1982; Mears, 1983b; Cruess y Dumont, 1985; Arnoczky, 1985; Palmer et al., 1992).

Por otra parte, el hecho de existir dos formas de cicatrización ósea según el grado de rigidez aportado por la técnica empleada de reducción de la fractura, suscita la tradicional controversia entre los sistemas que proporcionan una reducción rígida y anatómica de la fractura que posibilite directamente la formación de tejido óseo (Perren et al., 1969, 1980; Rahn et al., 1972; Vidal, 1983a; Brinker et al., 1984) y los sistemas menos rígidos que, aunque requieran de la formación de fases intermedias de tejido fibroso y/o cartilaginoso antes de la formación del tejido óseo, a cambio generan un menor traumatismo yatrogénico vascular y tisular y permiten una más pronta recuperación funcional (Laros, 1974; Lewallen et al., 1982; Mears, 1983b; Aron y Toombs, 1984; Goodship y Kenwright, 1985; Egger, 1991a; Palmer et al., 1992).

La disyuntiva actual acerca del grado de rigidez del método de reducción de una fractura ya no se polariza únicamente entre el empleo de placas de osteosíntesis o de fijadores externos sino que dentro de las mismas técnicas de fijación externa, existen partidarios de la utilización de fijadores externos rígidos y partidarios de fijadores externos de carácter menos

rígido.

Los partidarios de la fijación externa rígida (Fischer, 1979; Panjabi et al., 1979; Lawyer y Lubbers, 1980; Briggs, 1982; Sisk, 1983; Vidal, 1983b; Weber y Magerl, 1985; Williams et al., 1987) argumentan que gracias a la compresión interfragmentaria que genera el fijador, es posible que se desencadenen los mecanismos de cicatrización ósea primaria, es decir, la reconstrucción osteonal directa entre las corticales óseas en contacto. Sin embargo, otros muchos autores (Mears, 1983b; Aron y Toombs, 1984; Weber, 1985; Hart et al., 1985; Palmer et al., 1992) no se muestran de acuerdo con ello puesto que, al no actuar directamente sobre los fragmentos fracturados en el mismo foco de fractura, argumentan que un fijador externo nunca puede reducir de forma anatómica los fragmentos fracturados y mantenerlos en compresión hasta que se complete la reconstrucción osteonal directa. Además, Green (1981) asegura que a pesar de ser enormemente difícil que un fijador externo ejerza una compresión interfragmentaria como para permitir la cicatrización primaria, ésta sigue además un proceso demasiado lento en comparación con el tiempo que puede permanecer implantado un fijador externo en un paciente antes de que aparezcan serios problemas. También Rhineland (1982) se muestra crítico con la reducción rígida de los fragmentos fracturados al afirmar que cuanto más rígida sea la reducción de una fractura, mayor será la posibilidad de que se produzca una formación primaria de hueso, sin embargo quizá no sea ese el fenómeno más importante para una recuperación funcional rápida del paciente, debido a la lentitud de la cicatrización ósea primaria. Finalmente, la opinión de la mayoría de los autores se refleja en las palabras enunciadas por Edwards (1982): "... los objetivos de la aplicación de fijadores externos van dirigidos a preservar al máximo el aporte vascular y a conseguir una fijación estable del hueso sin hacer el montaje más rígido de lo necesario, facilitando así la formación del callo externo."

Parece pues que la idea de la fijación externa estable no rígida es la que prevalece, especialmente cuando se comprueba el efecto estimulante que sobre la formación del callo de fractura presentan factores tales como la presencia de micromovimientos axiales a nivel del foco de fractura (White et al., 1977; Goodship et al., 1978; Burny, 1979; Zbikowski, 1979; en Green, 1981; Burny et al., 1982; Mooney y Claudi, 1982; Goodship y Kenwright, 1985; Egger, 1991b; Van Ee y Geasling, 1992; Egger et al., 1993b; Elkins y Morandi, 1993; Kershaw et al., 1993).

Por otra parte, y a pesar de la justificada popularidad de la que gozan los fijadores externos gracias al adecuado equilibrio entre la estabilidad fragmentaria y la mínima lesión vascular así como a la sencilla técnica de implantación y a una inversión económica muy reducida, tanto para el veterinario como para el propietario, los sistemas de fijación externa no están exentos ni de limitaciones ni de complicaciones (Green, 1981).

Sin lugar a dudas, el desprendimiento de las agujas antes de la consolidación de la fractura representa, junto con la instauración de la infección primaria del trayecto de las agujas, la complicación más seria y frecuente en el transcurso postoperatorio de los pacientes intervenidos con fijadores externos (Fischer, 1979; Green, 1981; Aron et al., 1986; Aron y Dewey, 1992). Las consecuencias de dicho desprendimiento en las fases iniciales de cicatrización ósea son trascendentales puesto que si se extiende a otras agujas, la desestabilización global del fijador interferirá gravemente en el proceso de consolidación fracturaria (Green, 1981; Harari, 1992).

Muchos han sido los trabajos presentados por distintos autores en los que se describen procedimientos para intentar eliminar o, al menos, retardar el desprendimiento prematuro de las agujas (v. "Revisión bibliográfica" págs. 24 y 75). La utilización de agujas con rosca aumenta considerablemente el poder de fijación en el hueso pero presentan una serie de inconvenientes tales como menor resistencia a la flexión (agujas de perfil de rosca negativo) o tamaños inadecuados para su utilización en traumatología veterinaria de pequeños animales (agujas de perfil de rosca positivo) (Mears, 1983a; Bennett et al., 1987; Egger, 1992; Van Ee y Geasling, 1992; Aron y Dewey, 1992; Palmet et al., 1992).

Por otro lado, aunque las agujas lisas son mucho más económicas y se implantan con mucha mayor facilidad que las de rosca, presentan una menor resistencia al desprendimiento (Fox, 1986; Bennett et al., 1987; Van Ee y Geasling, 1992).

Aunque las tendencias actuales en traumatología veterinaria van dirigidas hacia la utilización de agujas lisas con la aplicación simultánea de al menos una aguja roscada en el segmento óseo proximal y distal (Bennett et al., 1987; Egger, 1992), todavía se aplican de forma generalizada, fijadores externos constituídos enteramente por agujas lisas. Por ello, cuando se utilizan agujas lisas, existen distintas opciones para evitar el desprendimiento prematuro de las mismas y el consiguiente desplazamiento lateral del fijador. Una posibilidad consiste en el denominado "prestressing" o flexión manual de las agujas una vez implantadas por lo que el arco que forman extracorporalmente las agujas bloquea el citado desplazamiento. Además, cuando la flexión de las agujas se dirige hacia el foco de fractura, se generan fuerzas de compresión interfragmentaria que proporcionan una fijación externa de mayor rigidez, facilitando, según sus partidarios, una cicatrización ósea primaria (evidentemente, dicha compresión no puede ejercerse en fracturas conminutas ni oblicuas) (Weber, 1976; Chao et al., 1979; Fischer, 1979; Briggs y Chao, 1982; Vidal, 1983a,b; Mears, 1983b; Aron y Toombs, 1984; Egger y Greenwood, 1985a; Aron y Dewey, 1992).

Un procedimiento alternativo consiste en la implantación angulada de las agujas lo cual evita los movimientos de laterarización del fijador por el efecto de cuña derivado de la disposición de las agujas (Freeman, en Green, 1981; Egger, 1988b, 1990a,b, 1991a,b;

Harari, 1992; Aron y Dewey, 1992).

A la vista de la bibliografía revisada, el desplazamiento lateral del fijador externo por el desprendimiento prematuro de las agujas desempeña un papel clave en el fracaso de la cicatrización de la fractura, especialmente cuando se utilizan exclusivamente agujas lisas. Los métodos utilizados por los traumatólogos veterinarios para paliar la citada complicación se reducen a la implantación perpendicular de las agujas y su posterior incurvación (Renegar et al., 1982; Sinibaldi, 1983; Roe et al., 1985; Bouvy et al., 1993), por una parte y, por otra a la implantación angulada de las mismas (Leighton, 1982; Egger y Greenwood, 1985; VanEe y Geasling, 1992; Palmer et al., 1992). En este sentido, ni el análisis comparado de la efectividad clínica para reducir la desestabilización del fijador externo ni los efectos sobre los procesos de cicatrización ósea de los anteriores procedimientos (angulación versus flexión de las agujas) han sido suficientemente evaluados por métodos clínicos y laboratoriales.

III.2. HIPOTESIS DE TRABAJO

Las consideraciones que acabamos de realizar sobre el estado actual de los conocimientos acerca de los fijadores externos, sus variantes posibles y los efectos que determinan sobre el proceso de cicatrización de las fracturas revelan la existencia de opiniones contrapuestas entre determinados grupos de autores sobre qué tipo y forma de aplicación de un fijador consiguen los mejores resultados sobre la resolución de una fractura. En nuestra opinión, la cuestión permanece abierta y susceptible de ser analizada con unos criterios probablemente distintos de los utilizados por otros autores. Se trata, en definitiva, de intentar poner en relación los resultados clínicos de la aplicación de un fijador con los distintos fenómenos que se van produciendo en el foco de fractura para así poder fundamentar con mejores argumentos la elección de un determinado fijador y de un tipo de diseño concreto.

Por todo ello, nuestra hipótesis de partida puede formularse diciendo que las anteriormente citadas controversias y la carencia de estudios que analicen con precisión los efectos que sobre la cicatrización de las fracturas puede tener la aplicación de fijadores externos, nos impulsaron a desarrollar un trabajo dirigido a evaluar comparativamente la implantación angulada de las agujas respecto a la implantación transversal y posterior incurvación de las mismas utilizando el fijador externo de Meynard en osteotomías tibiales que permitiese responder a las cuestiones siguientes:

- 1.- ¿Existen diferencias entre la implantación angulada de las agujas con respecto a la incurvación de las mismas sobre el proceso de cicatrización de la fractura?.

- 2.- ¿Evita la angulación de las agujas el problema de su desprendimiento prematuro o al menos lo retrasa en comparación con el método de incurvación utilizado habitualmente?

III.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Para poder responder a las cuestiones formuladas en nuestra hipótesis de trabajo nos planteamos llevar a cabo un estudio comparativo entre dos diseños distintos del fijador externo de Meynard que cumpla las características siguientes:

- * realización de una osteotomía bilateral en la diafisis de la tibia
- * aplicación de ambos diseños en el mismo animal.
- * implantación angulada de las agujas en la tibia izquierda e implantación perpendicular y posterior incurvación de las mismas en la tibia derecha

Con la realización de este estudio pretendemos satisfacer los objetivos siguientes:

- 1) Evaluar las posibles diferencias existentes entre los dos tipos de implantación establecidos a partir del análisis de los aspectos clínicos siguientes:
 - a) evolución clínica de los animales intervenidos,
 - b) seguimiento radiológico de las tibias osteotomizadas
 - c) seguimiento gammagráfico de la zona región de la pierna

- 2) Realizar un estudio sobre el proceso de cicatrización ósea para detectar posibles diferencias entre las dos formas de aplicación del fijador mediante la utilización de las técnicas laboratoriales siguientes:
 - a) microangiografía
 - b) microrradiografía
 - c) microscopía electrónica de retrodispersión ("back scattering electron microscopy")
 - d) histología de tejido óseo sin decalcificar

IV. MATERIAL Y METODOS

IV.1. MATERIAL

1.1. FIJADORES EXTERNOS

El sistema de fijadores externos elegido para realizar el presente estudio experimental es el sistema francés denominado "Fixateur externe à coaptateurs à flasques" diseñado por el traumatólogo veterinario Jean-Alphonse Meynard. Por este motivo, en España se denomina popularmente fijador externo tipo Meynard.

Los componentes del fijador externo así como el material específico para su implantación utilizados para la realización del presente trabajo experimental se describen seguidamente.

Agujas de Kirschner. Agujas percutáneas fabricadas en acero inoxidable 316L (acero de tipo austenítico) de 3.0 mm de diámetro y 15 cm de longitud con una única punta de tipo trócar.

Rótulas o coaptadores. Fabricadas con la misma aleación de acero inoxidable que las agujas. Se utilizaron las rótulas de tamaño 3x4.

Barras conectoras. Se utilizaron barras conectoras de 4 mm de diámetro también fabricadas en acero inoxidable.

Otros: Taladro de bajas revoluciones (150 r.p.m.) marca SKIL mod. 2007H-10 mm. (Skil, Barcelona) provisto de acumuladores eléctricos.

Llave tubular de acero inoxidable para el ajuste de las rótulas del nº 7.

Cizalla articulada y de desmultiplicación con filo recto para el corte de las agujas percutáneas una vez implantadas.

Muela cilíndrica aplicada a un taladro convencional para el limado de asperezas cortantes en las agujas y barras conectoras seccionadas con la cizalla.

1.2. MATERIAL QUIRURGICO

El material quirúrgico utilizado para la realización del presente trabajo experimental es el propio de cualquier intervención traumatológica, acompañado del material esencial de cirugía general. Por ello, consideramos innecesario presentar una larga lista de material suficientemente conocido, aunque sí destacaremos algunos instrumentos que por su importancia global en la intervención, merecen mención aparte.

La osteotomía tibial se practicó con una sierra eléctrica marca "American

Orthopaedic" (U.S.A.) de tipo oscilante y de hojas recambiables, especialmente diseñada para este tipo de intervenciones.

Las hojas de la sierra de osteotomía eran de 2 cm de amplitud de corte comercializadas por la misma firma que la sierra oscilante (American Orthopaedic. U.S.A.). Como ya hemos descrito en el apartado titulado "Principios de Aplicación de los Fijadores Externos" las agujas percutáneas deben presentar un filo muy cortante para evitar osteonecrosis térmica, por lo que consideramos igualmente importante sustituir periódicamente las hojas de la sierra oscilante para que presentaran un filo adecuado y así lesionar lo mínimo posible la superficie ósea osteotomizada.

1.3. MATERIAL ANIMAL

El presente estudio experimental se realizó con 22 perros mestizos de unos quince kilogramos de peso y una edad comprendida entre uno y dos años procedentes de centros homologados para la cría de animales de experimentación. Los animales seleccionados presentaban un correcto estado general y nutricional y se encontraban exentos de signos aparentes de enfermedades infecto-contagiosas. Asimismo se valoró el buen carácter del animal para facilitar su manejo postoperatorio.

1.4. MATERIAL ANESTESICO

El material utilizado para la anestesia de los animales se refleja en el apartado dedicado al método operatorio (pág. 164) para evitar la reiteración terminológica de los componentes sobradamente conocidos.

1.5. MATERIAL RADIOLOGICO

El aparato de rayos X utilizado para realizar el estudio radiológico de los huesos intervenidos era un SIEMENS CRISA (Siemens A.G.. Alemania) (Kv: 20/40; Tubo Rx: 75/140; Funda: FR 140/75). La película radiográfica utilizada fué: Kodak T.Mat.G.FILM 5500 de 30x40 y Fuji HR-G 30x40.

Para el procesado de las películas radiográficas se utilizó una reveladora automática marca Fuji RG II utilizando como revelador el Anatomix (Fuji) y como fijador el XFix (Fuji). Sin embargo, en algunas ocasiones tuvo que recurrirse al sistema tradicional de revelado manual mediante la utilización de tres tanques correlativos (revelador: Agfa G150;

lavado: dilución de agua y ácido acético 1%; y fijador: Agfa G350), posterior lavado con agua corriente y finalmente, secado con un secador convencional de pared.

1.6. MATERIAL GAMMAGRAFICO

Seguidamente se describe el material específico para la realización del estudio gammagráfico, obviándose el material inespecífico (bránulas intravenosas, suero fisiológico, etc.) para no prolongar innecesariamente la relación de productos.

Radiofármaco constituido por:

- Radioisótopo: Tecnecio 99 metaestable (^{99m}Tc) obtenido a partir de un generador de molibdeno.
Trazador: Metilendifosfonato (MDP).

La denominación abreviada del radiofármaco utilizada en nuestro estudio y aprobada internacionalmente es de $^{99m}\text{Tc-MDP}$. El radiofármaco preparado para la administración intravenosa fué proporcionado por el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico de Barcelona.

Gammacámara digital: **Elscont SP4-HR.**(Elscont.Haifa. Israel)

Colimadores:

Colimador paralelo de baja energía y alta resolución para la obtención de imágenes de ambas extremidades simultáneamente.

Colimador de tipo "pin-hole" para centrar la imagen únicamente en el foco de fractura de una extremidad.

Videoimpresora: **Videoprinter Sony** (Sony. España) para impresión en papel de las imágenes gammagráficas obtenidas en la gammacámara.

1.7. MATERIAL MICROANGIOGRAFICO

Seguidamente se describe el material específico para la realización del estudio microangiográfico, obviándose el material inespecífico para no prolongar innecesariamente la relación de productos.

Productos químicos:

Heparina sódica (Prod. Roche, Barcelona).

Formol tamponado 10% (Sulab. Terrassa. Barcelona).

Etanol 90% (Sulab. Terrassa. Barcelona).

Acido nítrico 40% (Sulab. Terrassa. Barcelona)

Micropaque[°]. Sulfato de bario micronizado de 0,5 μ de diámetro de partícula.
Labotatorio Pan Química Farmaceutica (Madrid. España).

Microrradiografo:

Schlumberger (Schlumberger. Alemania). Características radiológicas: 50Kv; 20 mA y 30 minutos de tiempo máximo de exposición.

Placas microrradiográficas:

Kodak Spectroscopic glass plates type 649-0. Placas de cristal con emulsión de grano fino (Kodak. Barcelona. España).

Revelador: Kodak D-19 (Kodak. Barcelona. España).

Fijador: Kodak Polymax (Kodak. Barcelona. España).

1.8. MATERIAL PARA EL ESTUDIO MICRORRADIOGRAFICO Y PARA EL ESTUDIO HISTOLOGICO DE PIEZAS SIN DECALCIFICAR

Seguidamente se describe el material específico para la realización del estudio microrradiográfico e histológico de piezas no decalcificadas, obviándose el material inespecífico para no prolongar innecesariamente la relación de productos.

Exakt-cutting bandsaw¹. Sierra de banda de precisión con velocidad regulable y sistema de irrigación para refrigeración con el fin de evitar alteraciones térmicas en la pieza cortada. A su vez, un doble sistema de fijación (mordazas o vacío) permite inmovilizar fuertemente la pieza durante el proceso de corte.

Hojas de sierra de 0,2 mm/D64¹. Hojas de acero inoxidable de 0,2 mm de grosor con filo cortante impregnado con partículas de diamante. El tamaño de partícula (D64) permite que el material perdido durante el proceso de cortado no exceda de 0,250 mm.

Micropulidora¹. Dispone de una plato giratorio donde se acoplan las distintas hojas de papel de lija. La pieza a pulir se somete a movimientos rotación y movimientos de traslación (ambos de velocidad ajustable) para conseguir un pulido uniforme y de precisión. La presión de la pieza sobre el plato se ajusta mediante la colocación de distintos contrapesos. La superficie de pulido se encuentra constantemente irrigada para evitar la generación de

¹ EXAKT-KULIZER Apparatebau. Robert-Koch-Straße, 5. D-2000 Norderstedt. Germany.

alteraciones térmicas. Cuando el micrómetro marca el grosor seleccionado, la micropulidora se desconecta automáticamente.

Hojas pulidoras¹ de tamaños de partícula decrecientes.

Fotopolimerizador Histolux Kulizer¹. Sistema digitalizado y programable que permite ajustar tanto el tiempo de exposición como el tipo de luz (blanca o ultravioleta) deseada.

Bomba de vacío¹ para sostener la pieza durante la obtención de las láminas paralelas finas ya incluidas.

Prensa de precisión¹ para el montaje y adhesión de láminas de plexiglass.

Moldes plásticos de inclusión¹, láminas de plexiglass¹ y micrómetro digital de precisión¹ para control del pulido mediante pantalla digital.

Productos químicos: **Technovit 7.200 VLC¹**.

Technovit 4000¹.

Technovit adhesivo endurecedor a la luz¹.

Technovit 7.230 VLC¹.

2-Hidroxietilmetacrilato (Merck. Darmstad. Alemania).

Solución limpiadora de acetona.

1.9. MATERIAL PARA EL ESTUDIO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION

Seguidamente se relaciona el material utilizado para llevar a cabo el estudio de microscopía electrónica de retrodispersión ("backscattered scanning electron microscopy").

Recubridor de carbono. Edwards 12EG/1266. Edwards High Vacuum Ltd. Crawley. Sussex. Great Britain.

Microscopio electrónico de barrido. Stereoscan LC360. Leica/Cambridge Instruments. England.

Otros: Plata coloidal. Acherson Coloides. Barcelona.

IV.2. METODOS

2.1. PROTOCOLO GENERAL

El estudio que llevamos a cabo se fundamenta en la valoración comparativa del proceso de consolidación de una osteotomía tibial, utilizando como sistema de reducción un fijador externo tipo II. La osteotomía tibial se llevó a cabo de forma idéntica y bilateral en cada animal aunque en la extremidad derecha las agujas del fijador externo se implantaron perpendicularmente al eje óseo mayor para posteriormente proceder a su flexión hacia el foco de fractura, mientras que en la extremidad izquierda, las agujas centrales se implantaron de forma angulada con respecto al eje óseo mayor sin ejercer ningún tipo de presión sobre ellas. El grupo de extremidades derechas intervenidas de igual manera se denominó "grupo de flexión" y al de las extremidades izquierdas, "grupo de angulación".

Para ello, diseñamos el siguiente protocolo de trabajo:

- 1.- Los veintidós animales utilizados se agruparon según los diferentes periodos de supervivencia (p.s.), distribuyéndose de la siguiente manera:
 - p.s. 7 días ⇒ 3 animales.
 - p.s. 15 días ⇒ 3 animales.
 - p.s. 30 días ⇒ 2 animales.
 - p.s. 60 días ⇒ 4 animales.
 - p.s. 90 días ⇒ 5 animales.
 - p.s. 120 días ⇒ 5 animales.
- 2.- Comprobación del buen estado de salud de los animales mediante exploración clínica y laboratorial, para posteriormente, proceder a su desparasitación y vacunación.
- 3.- Intervención quirúrgica bilateral en todos los animales e implantación tras osteotomía tibial del fijador externo con implantación de agujas flexionadas (tibia derecha) y anguladas (tibia izquierda).
- 4.- Durante el periodo postoperatorio se llevaron a cabo quincenalmente, valoraciones radiológicas y clínicas en todos los animales a partir de la intervención y hasta la finalización de los distintos periodos de supervivencia.
- 5.- Adicionalmente, en ocho animales se practicaron valoraciones gammagráficas de las dos extremidades intervenidas a los 7, 15, 21, 30 y 60 días, según los correspondientes periodos de supervivencia. En aquellos controles gammagráficos

no coincidentes con controles radiográficos (7 y 21 días) se realizaron radiografías de los animales para disponer de un patrón radiológico de comparación con las imágenes gammagráficas aunque dichas radiografías no formaron parte del cómputo global para el estudio radiológico al realizarse únicamente sobre un grupo de animales.

- 6.- Las pruebas "post mortem" constaban de la realización de estudios de carácter microangiográfico, microrradiográfico, microscópico de retrodispersión e histológico y se practicaron en los animales de periodos de supervivencia inferiores a 90 días por carecer de interés la realización de dichas pruebas en controles postoperatorios tan prolongados al no esperarse la manifestación de diferencias significativas entre los grupos.
- 7.- Las conclusiones del trabajo se fundamentan en los resultados clínicos, radiológicos, gammagráficos, microangiográficos, microrradiográficos, microscópicos de retrodispersión e histológicos.

Las figuras IV.1 y IV.2 muestran de forma esquemática la estructuración de los estudios "in vivo" y "post-mortem" llevados a cabo en nuestro trabajo.

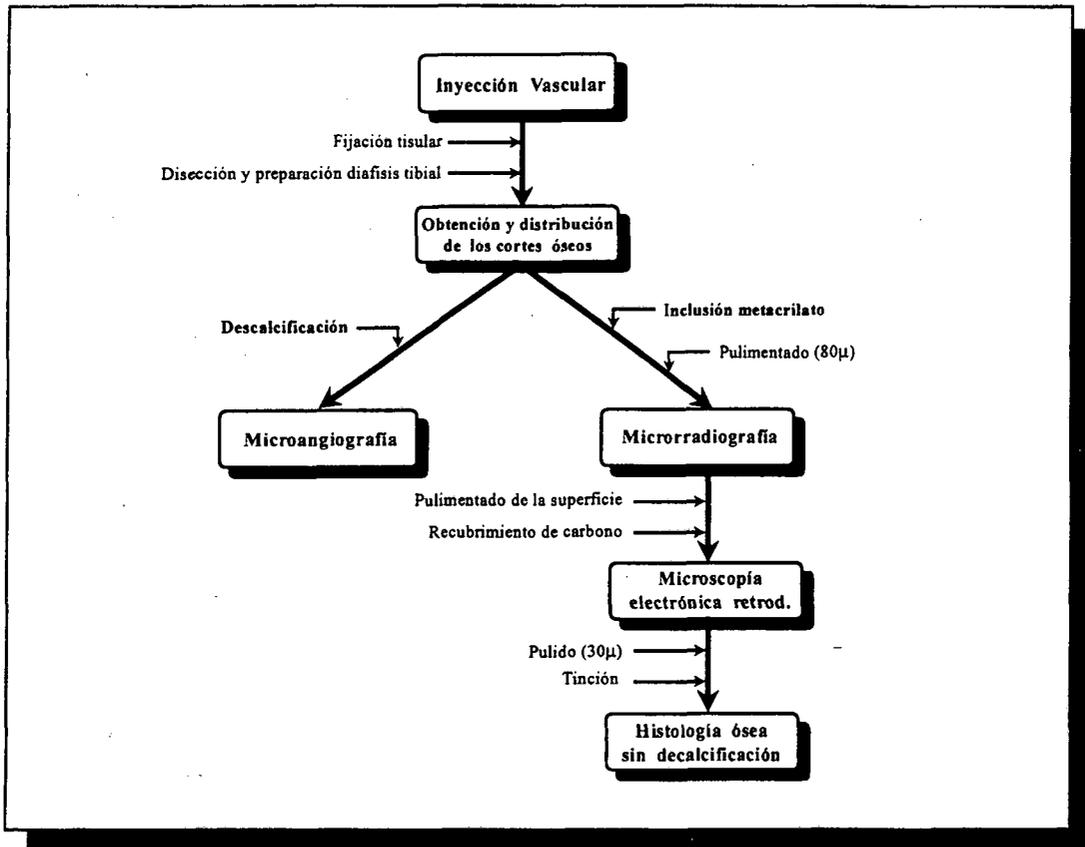
Fig. IV.1. Planificación de las pruebas "in vivo" realizadas por individuo y control postoperatorio.

	7d.	15d.	21d.	30d.	45d.	60d.	75d.	90d.	120d.
1	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R
2	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R
3	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R
4	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R
5	C/R γ	C/R γ	R γ	C/R γ	C/R	C/R γ			
6	C/R γ	C/R γ	R γ	C/R γ	C/R	C/R γ			
7	C/R γ								
8	C/R γ	C/R γ	R γ	C/R γ					
9	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R
10	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	
11	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	
12	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	
13	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	
14	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R	C/R	C/R	
15	C/R γ	C/R γ							
16	C/R γ	C/R γ							
17	C/R γ								
18	C/R γ	C/R γ	R γ	C/R γ					
19	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R			
20	C	C/R	-	C/R	C/R	C/R			
21	C/R								
22	C	C/R							

Pruebas realizadas: "C": control clínico; "R": control radiológico; "γ": control gammagráfico.

 Momento de la eutanasia

Fig. IV.2. Planificación de las pruebas "post-mortem".



2.2. ELECCION Y PREPARACION DEL PACIENTE

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, el animal elegido para desarrollar el estudio fué el perro adulto joven. Inicialmente se valoró el estado general y nutricional de los animales disponibles para seleccionar un conjunto homogéneo de pacientes con un peso de unos quince kilogramos. El período de preparación del paciente tenía una duración de unas tres semanas para facilitar la acomodación de los perros al nuevo hábitat y permitirnos realizar un programa completo de desparasitación externa mediante collares de amitraz (Preventic. Lab. Virbac S.A., Esplugues Llob., Barcelona) e intestinal mediante febantel (100mg/10kg pv) y praziquantel (50 mg/10Kg pv) siguiendo la pauta de administración recomendada por el fabricante. Todos los animales fueron vacunados frente a moquillo, hepatitis, leptospirosis y parvovirus mediante doble inoculación de vacuna tetravalente. Simultáneamente, se practicó una exploración básica de los animales complementada con un coprocultivo, hemograma y una serología básica (urea, creatinina, transaminasas y proteínas totales).

A lo largo del periodo de experimentación, los animales se alimentaron mediante piensos preparados comercialmente (Eukanuba Premium, The Iams Co., Lliçà de Vall, Barcelona) así como agua "ad libitum", disponiendo libremente de una amplia zona de paseo.

2.3. METODO OPERATORIO

En este apartado se describe la metodología utilizada previamente, durante y posteriormente a la intervención quirúrgica.

2.3.1. Método anestésico

El método preoperatorio se iniciaba con el registro exacto del peso del animal antes de la intervención y se procedía a su premedicación mediante maleato de acepromazina intramuscular a dosis de 0,2 mg/kg (dosis máxima por animal: 3 mg) y sulfato de atropina subcutáneo a dosis de 0,04 mg/kg. Al cabo de, aproximadamente, unos quince minutos, se aplicaba un sistema de venoclisis al animal a través del cual se administraba tiopental sódico a dosis de 8 mg/kg para la inducción anestésica del animal. A continuación, el sistema de venoclisis se conectaba a un sistema de infusión para administrar la correspondiente fluidoterapia (lactato de Ringer) de mantenimiento quirúrgico que se prolongaría, según necesidades, hasta el período postoperatorio inmediato.

Aprovechando la inducción anestésica del animal, y después del rasurado de ambas extremidades posteriores desde la región femoral proximal hasta la región metatarsiana distal, se realizaba una radiografía preoperatoria de control de las dos extremidades para utilizarla de patrón en el estudio radiológico y que servía a la vez, para descartar posibles patologías óseas que interfiriesen con el estudio.

Gracias a la eliminación del reflejo laríngeo por acción de la inducción anestésica, se procedía a la intubación del paciente y posterior conexión de la sonda endotraqueal a un sistema anestésico volátil semicerrado con los siguientes flujos de gases: oxígeno, 25 ml/kg/min; protóxido, 50 ml/kg/min.; halotano, 3% hasta conseguir una anestesia profunda y 1-1,5% como dosis de mantenimiento.

2.3.2. Método quirúrgico

La preparación quirúrgica de la zona de intervención se llevó a cabo siguiendo el protocolo habitual para practicar una cirugía rigurosamente aséptica consistente básicamente en sucesivos lavados con solución jabonosa de povidona iodada y finalmente solución alcohólica.

Una vez en el quirófano y después de preparar convenientemente el campo operatorio mediante paños quirúrgicos en la porción proximal de la extremidad y mediante una media textil estéril en la distal para permitir libertad de movimientos de la extremidad a intervenir, se practicó un abordaje limitado de la región tibial medial a nivel mediodiafisario. Para ello, el animal se situó en decúbito lateral sobre el mismo costado de intervención, lo que permite un abordaje más cómodo de la región medial de la pierna. La visualización de la tibia en su cara interna es relativamente sencilla dado el escaso recubrimiento muscular de la cara medial, aunque debe prestarse especial atención al trayecto de la rama craneal de la vena safena medial que discurre oblicuamente en la mitad diafisaria distal.

Una vez aislada una porción de la diáfisis tibial de unos tres centímetros (situada distalmente al orificio nutricio) y habiendo protegido convenientemente los tejidos blandos que la rodean mediante unos separadores de tipo Hoffmann u otros instrumentos apropiados, se procede a practicar la osteotomía en un plano transversal mediante la sierra de osteotomía y gracias a la ayuda de la guía. La osteotomía se practica simultaneando fases de sección con fases de descanso (de 30 a 60 segundos) y se irriga de forma ininterrumpida con una solución de suero fisiológico muy frío con la intención de dismuir en lo posible las lesiones óseas por exceso de temperatura (osteonecrosis térmica). Una vez seccionada la tibia, se practica la reducción de la osteotomía como si se tratase de una fractura convencional.

Seguidamente, se procede a la colocación del fijador externo siguiendo los conceptos básicos ya descritos en el apartado correspondiente de la revisión bibliográfica. El primer paso consiste en la implantación de las agujas proximal (nº 1) y distal (nº 4) en el mismo plano, realizando las pertinentes incisiones cutáneas de relajación de entrada y salida para evitar el replegamiento de la piel e irrigando constantemente la interfase aguja-piel-hueso con suero fisiológico muy frío. Durante la implantación de la aguja nº 1, es importante recordar la morfología triangular de la epífisis tibial proximal, por lo que será necesario desplazar caudalmente el trayecto de implantación de la aguja para conseguir una mayor separación intercortical.

Asimismo, y al igual que durante la sección ósea, será necesario simultanear periodos de perforación con periodos de descanso siempre bajo constante irrigación, para no sobrecalentar excesivamente la periferia ósea de la aguja evitando el aflojamiento prematuro de la aguja por lisis térmica del hueso. A continuación, se fijan ambas barras conectoras mediante la colocación de las rótulas, facilitando la implantación de las siguientes agujas en el plano adecuado. Siguiendo el mismo protocolo, se pueden implantar las agujas nº 2 y nº 3. En la extremidad donde se aplique el modelo de flexión (extremidad derecha), las cuatro agujas se implantan transversalmente al eje óseo mayor para proceder posteriormente a su incurvación manual, dirigiendo la flexión hacia el foco de fractura para generar, en la medida de lo posible, una cierta compresión interfragmentaria y evitar igualmente, los posibles

desplazamientos laterales del fijador (Fig. IV.3B). En la otra extremidad, las agujas se implantan manteniendo una evidente angulación entre ellas así como con el eje óseo mayor (Fig. IV.3A). De esta forma, el fijador presenta un efecto cuña que impide su deslizamiento lateral sin necesidad de aumentar la presión sobre la interfase aguja-hueso como sucede en el caso de la incurvación de las agujas.

Una vez colocado definitivamente el fijador externo, y antes de proceder a suturar los planos de abordaje, se comprueba la correcta movilidad de las articulaciones proximal y distal, se verifica la suficiente separación entre la barra conectora y la piel para evitar que ésta se incruste en aquélla durante la inflamación postoperatoria (especialmente en la porción proximal de la tibia debido a su mayor componente muscular) y se irriga con suero fisiológico. Finalmente, los planos subcutáneos se cierran con sutura reabsorbible (catgut crómico) de 2/0 y la piel con sutura no reabsorbible (Supramid o seda) de 2/0. Inmediatamente finalizada la intervención en una extremidad, se procedía de igual forma en la otra extremidad aunque aplicando el diseño alternativo de fijador.

Durante toda la intervención se mantiene monitorizado al paciente mediante un registro electrocardiográfico (monitor), controlando adicionalmente frecuencias cardíaca y respiratoria así como temperatura corporal. Unos diez minutos antes de finalizar la intervención, se suprime el flujo de protóxido doblando simultáneamente el de oxígeno. Al iniciar la sutura cutánea de la segunda extremidad intervenida, se retiraba el flujo de halotano manteniendo el oxígeno hasta la reaparición del reflejo laríngeo momento en el que se retiraba la sonda endotraqueal.

Una vez concluida la intervención y aprovechando el estado todavía semiinconsciente del animal, se realizaba una radiografía de cada extremidad que se utilizaría como control postoperatorio y que permitía a la vez, constatar la reducción deseada de la osteotomía antes de proceder al corte de los extremos sobrantes de las agujas mediante la cizalla. En algunos casos procedíamos a la protección de los extremos cortantes de las agujas mediante algodón y venda adhesiva, pero este sistema acumulaba mucha suciedad ya que los animales, una vez recuperados, se dejaban en libertad en recintos exteriores. Por ello, simplemente pulíamos mediante una muela circular los extremos cortantes (Fig. IV.3C), impidiendo de esta forma, que se autolesionaran o que lesionasen a otros animales, resultando un método más higiénico, práctico y económico que el anterior.

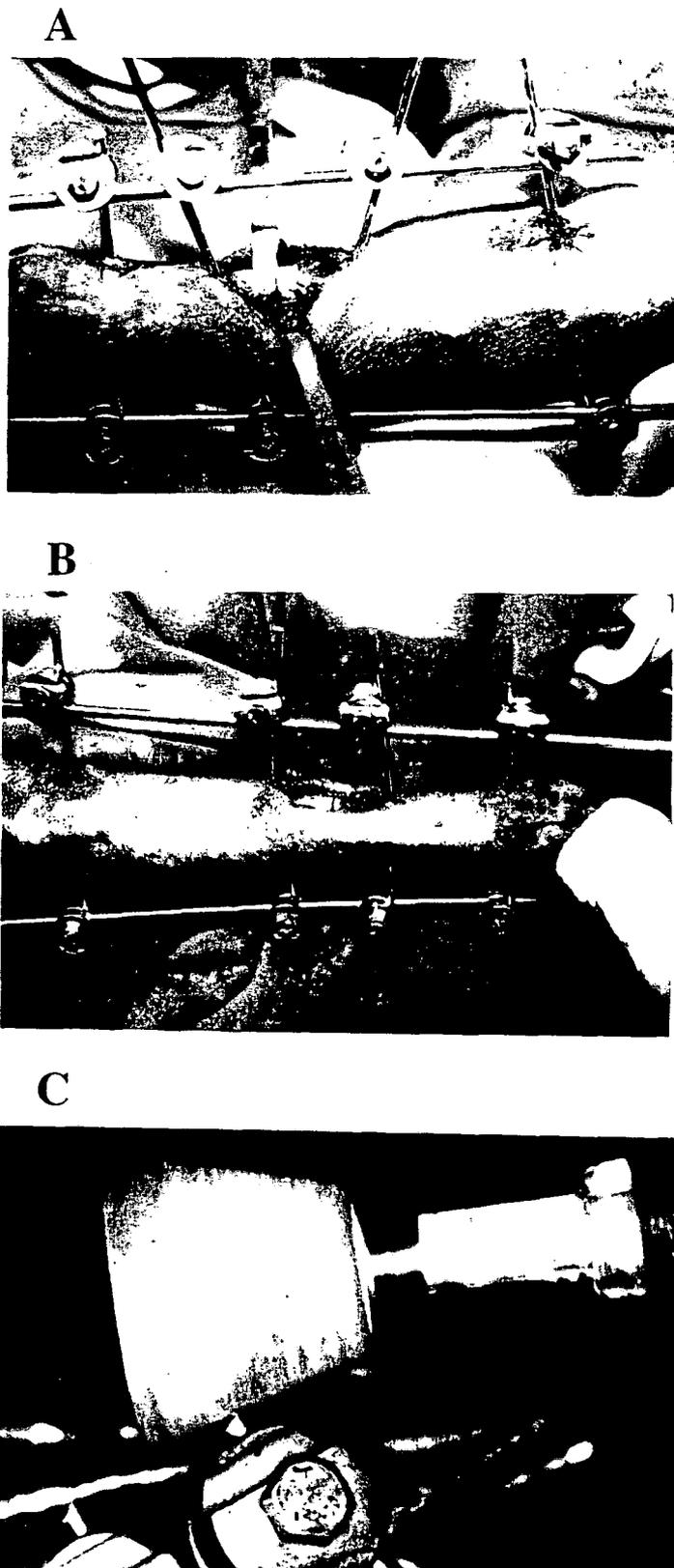


Fig. IV.3.

A. Fijador externo con las agujas implantadas de forma angulada (grupo angulación). **B.** Fijador externo con las agujas implantadas de forma transversal y posteriormente flexionadas manualmente hacia el foco de osteotomía (grupo flexión). **C.** Detalle del pulido de los extremos cortantes de las agujas.

2.3.3. Método postoperatorio inmediato

Inmediatamente después de la intervención quirúrgica, los animales se acomodaron en la sala de control postoperatorio donde se velaba por su correcta recuperación. En el periodo postoperatorio inmediato se realizó una antibioterapia preventiva a base de cefalexina a dosis de 22 mg/kg/8hs/4d y, según las necesidades del paciente, se mantenía la fluidoterapia adecuada.

Durante los días siguientes a la intervención, se mantiene al paciente hospitalizado para que minimice los movimientos de las extremidades y para poder evaluar correctamente su estado general y local. Las heridas eran limpiadas diariamente mediante solución iodada jabonosa para realizar finalmente una aplicación tópica de solución iodada antiséptica, aprovechando el momento de la cura para registrar la valoración clínica. Una vez transcurridos los siete días destinados al período de observación y curas, y constatando la buena evolución del paciente, los animales se trasladaron a habitáculos exteriores donde disponían de una amplia zona de paseo.

2.4. METODO DE VALORACION CLINICA

La valoración clínica de los animales se llevó a cabo diariamente durante la primera semana de postoperatorio, en la que el animal permanecía hospitalizado. A partir de ese momento, el examen clínico se realizó quincenalmente para poder disponer de una valoración simultánea de los registros obtenidos en la exploración clínica con los de la exploración radiológica. Este protocolo permitía tener reflejado en el mismo momento el estado de una interfase aguja-piel (control clínico) y aguja-hueso (control radiológico).

El control clínico postoperatorio de los animales durante la primera semana contemplaba, además de una recuperación general del paciente, la correcta recuperación funcional de los miembros intervenidos (valorando el tiempo y la calidad de apoyo de la extremidad) registrando la correcta cicatrización de la herida quirúrgica así como la posible presencia de reacción inflamatoria en la región intervenida o edematización de la extremidad. A partir del primer control clínico, la valoración clínica registraba la funcionalidad de la extremidad y el estado de la interfase aguja-piel así como las complicaciones más habituales que se presentan en las extremidades intervenidas con fijadores externos, es decir, el aflojamiento prematuro de las agujas y la instauración de una infección mayor (o primaria) del trayecto de la aguja. Sin embargo, tanto el aflojamiento de las agujas como la infección del trayecto no deben de considerarse dos fenómenos totalmente aislados sino que generalmente van interrelacionados, de modo que cuanto mayor sea el movimiento de las agujas más probable será la instauración del proceso infeccioso, y a su vez, el desarrollo de

una multiplicación bacteriana activa en el trayecto de la aguja facilitará la necrosis del hueso que rodea a la aguja, provocando su desprendimiento prematuro.

Por otra parte, es importante diferenciar el citado proceso infeccioso (infección primaria del trayecto de la aguja) que puede evolucionar incluso hacia una osteomielitis focal y formación de secuestros óseos anulares, de un fenómeno habitual en la implantación de fijadores externos consistente en la exudación, a través de los trayectos de las agujas, de un líquido serohemorrágico, no exento de cierta carga bacteriana contaminante aunque no infectante, que se conoce con el nombre de infección menor o secundaria del trayecto de la agujas (Green, 1981).

Debido a lo descrito anteriormente, no consideramos del todo preciso el protocolo de evaluación clínica de un paciente intervenido con fijadores externos propuesto por algunos autores (Font, 1990) en el que se consideraba sistemáticamente la presencia de "inflamación, supuración y necrosis" como parámetros de control postoperatorio. Consideramos inicialmente que el proceso inflamatorio puede llevar implícitos fenómenos supurativos y necróticos. Por otra parte, y según el citado planteamiento, no se distinguirían dentro del apartado de "supuración", los fenómenos normales de exudación propios de la infección menor del trayecto, de la instauración de una infección primaria, con lo que se suman conceptos de muy distinto pronóstico, evolución, tratamiento y repercusión clínica.

Por todo ello, diseñamos nuestro propio protocolo de exploración clínica, reflejado en la que denominamos "hoja de valoración clínica" (fig. IV.4., pág. 172), que contemplaba las anteriores consideraciones y que presentaba los siguientes parámetros de evaluación:

2.4.1. Reacción inflamatoria periaguja

Este parámetro englobaba una serie de fenómenos íntimamente relacionados entre sí y característicos de los tejidos que envuelven las agujas percutáneas de los fijadores externos. Dichos fenómenos son: el grado de exudación (infección menor del trayecto), el de tumefacción e inflamación de los tejidos blandos subcutáneos y el de alteración cutánea (ulceración, necrosis, etc).

La cuantificación de la reacción inflamatoria periaguja ("R" en la hoja de valoración clínica, fig. IV.4.) se estableció en grados crecientes desde grado 0 (ausencia total de respuesta inflamatoria) hasta grado 2 (reacción inflamatoria masiva con necrosis cutánea extensa, tumefacción importante de tejidos blandos y considerable exudación sin presencia de infección primaria del trayecto de la aguja). Los valores intermedios considerados fueron 0,5, 1, y 1,5.

Resulta de especial importancia diferenciar una tumefacción de una interfase aguja-piel debida a un proceso inflamatorio de los tejidos blandos, de la falsa apariencia inflamada y engrosada que presenta la piel y los tejidos subcutáneos en la misma interfase pero debida a la reacción perióstica existente en la interfase aguja hueso. Dicho fenómeno se hace especialmente evidente en las zonas de escasa cobertura muscular como sucede en las interfases 3 y 4 situadas en la mitad distal de la tibia.

2.4.2. Infección primaria del trayecto de la aguja

A pesar de que la infección del trayecto de la aguja es también un fenómeno interrelacionado con la reacción inflamatoria de los tejidos circundantes, la importancia de la instauración de este proceso así como sus consecuencias sobre la evolución del paciente en la fase postoperatoria tienen la suficiente entidad como para considerar de forma individualizada la valoración de este parámetro. Como ya se describió en el apartado correspondiente de la revisión bibliográfica dedicado a las complicaciones de los fijadores externos (pág. 70), los síntomas más frecuentes de la instauración de una infección primaria del trayecto de la agujas son un aumento en la cantidad de líquido exudado así como un cambio en sus características (mayor viscosidad, posible presencia de pus, olor fétido, etc.), dolor, eritema e induración de los tejidos blandos de la zona intervenida, pudiendo observarse un aflojamiento o desprendimiento de la aguja, así como una cojera y posible malestar general del paciente (Green, 1981; Egger, 1991a y b; VanEe y Geasling, 1992).

La infección primaria del trayecto ("I" en la hoja de valoración clínica, fig. IV.4) se cuantificó en grados crecientes de 0 (ausencia de infección) hasta 2 (infección totalmente instaurada) a partir de los síntomas descritos anteriormente y considerando los valores intermedios de 0,5, 1 y 1,5.

Los registros efectuados tanto para la reacción inflamatoria como para la valoración de la infección primaria del trayecto de la aguja se efectuaron por duplicado y con distinto orden para obtener una valoración global de mayor precisión .

2.4.3. Desprendimiento prematuro de las agujas

El desprendimiento prematuro de las agujas es de vital importancia especialmente en las fases iniciales del periodo postoperatorio puesto que compromete la estabilidad del montaje y por lo tanto, altera las condiciones microambientales del foco de fractura en su proceso de cicatrización.

El desprendimiento de las agujas ("D" en la hoja de valoración clínica, fig. IV.4) se valoró como presencia o no del citado fenómeno. El aflojamiento prematuro de las agujas resulta difícil de detectar especialmente cuando el movimiento es escaso y únicamente afecta a una aguja. Para llevar a cabo un registro con la máxima precisión, sería necesario liberar sistemáticamente cada aguja de las rótulas que la fijan pero dicha práctica no se lleva a cabo habitualmente al poder comprometer la estabilidad del foco de fractura, requerir una sedación del animal y prolongar la evaluación postoperatoria. Por este motivo y a pesar de registrar el grado de inserción individual de cada aguja en el momento de retirar el fijador externo, durante el periodo postoperatorio únicamente se registraron aquellos casos de movimiento evidente del fijador externo en bloque.

2.4.4. Recuperación funcional

La recuperación funcional de la extremidad intervenida es igualmente un importante factor a tener en cuenta en la evaluación clínica del paciente. En este apartado se registró: el tiempo transcurrido hasta el apoyo de la extremidad después de la intervención quirúrgica, la evolución funcional durante el periodo postoperatorio previa retirada del fijador, y por último, el resultado final de la recuperación funcional de la extremidad. Para la cuantificación de la recuperación funcional se aprovechó la clasificación descrita a tal efecto por Toombs et al. (1986) y que se presenta seguidamente:

- Grado V:** Recuperación funcional perfecta, cojera absolutamente imperceptible.
- Grado IV:** Apoyo constante pero con percepción de cierta cojera esporádica.
- Grado III:** Fases de apoyo más frecuentes que fases de no apoyo.
- Grado II:** Fases de apoyo menos frecuentes que fases de no apoyo.
- Grado I:** Falta total de apoyo en la extremidad intervenida.

2.4.5. Otros parámetros registrados en cada control postoperatorio

Seguidamente se reflejan otros parámetros de carácter secundario evaluados también en cada uno de los controles postoperatorios:

- Peso del animal
- Temperatura corporal
- Exploración muscular, articular, etc. de la extremidad intervenida
- Hemograma (en todos los animales a los 15 y 30 días de postoperatorio, a partir del primer mes, sólo en los casos justificados)
- Registro del apoyo de la extremidad después de la intervención quirúrgica.

Fig. IV.4. Reproducción de la hoja de valoración clínica.

HOJA DE VALORACION CLINICA

Perro n°:

ANGULACION

Valoración de la interfase aguja-piel

	C.P.O. 7d.			C.P.O. 15d.			C.P.O. 30d.			C.P.O. 45d.			C.P.O. 60d.			C.P.O. 75d.			C.P.O. 90d.					
	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D			
Interfase 1	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 2	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 3	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 4	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	

Apoyo postquirúrgico:

Exploración de la extremidad:

Recuperación funcional final (V-I):

Otros:

FLEXION

Valoración de la interfase aguja-piel

	C.P.O. 7d.			C.P.O. 15d.			C.P.O. 30d.			C.P.O. 45d.			C.P.O. 60d.			C.P.O. 75d.			C.P.O. 90d.					
	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D	R	I	D			
Interfase 1	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 2	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 3	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	
Interfase 4	/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/		/	/	

Apoyo postquirúrgico:

Exploración de la extremidad:

Recuperación funcional final (V-I):

Otros:

2.5. METODO DE VALORACION RADIOLOGICA

Tal y como ya se ha apuntado en el protocolo general del presente estudio, la exploración radiológica del paciente se inició con la realización de una radiografía preoperatoria que permitía descartar alguna patología ósea del paciente a la vez que servía como patrón para posteriores valoraciones así como de una radiografía inmediatamente postoperatoria para constatar la correcta implantación del fijador y la adecuada reducción de la osteotomía. La valoración radiológica en profundidad se iniciaba en el control postoperatorio del décimoquinto día, para prolongarse hasta el final del periodo de supervivencia en sucesivos controles de 15 días. En cada control se llevaban a cabo dos proyecciones radiográficas, mediolateral y anteroposterior. Sin embargo, se intentaba realizar la proyección mediolateral de forma ligeramente oblicua para evitar la sobreposición del fijador externo sobre el propio hueso fracturado lo que impediría su correcta visualización y valoración.

Puesto que la exploración radiológica es el único medio que dispone el clínico para evaluar directamente la evolución exacta del proceso de consolidación de la fractura², consideramos de gran interés la realización de un protocolo de estudio radiológico suficientemente riguroso y fácilmente objetivable para llevar a cabo una valoración homogénea de todas las radiografías observadas. Para ello, elaboramos una hoja patrón de valoración radiológica que reproducimos en la fig.IV.8 (pág. 179) y que razonaremos a continuación.

Inicialmente dividimos la evaluación radiológica en dos puntos: la valoración de la interfase aguja-hueso y la valoración del foco de fractura.

2.5.1. Valoración de la interfase aguja-hueso

En el apartado dedicado a la valoración radiológica de la interfase aguja-hueso se consideraron dos parámetros por interfase y a lo largo de todo el periodo postoperatorio hasta la retirada del fijador externo. Los parámetros que consideramos de interés fueron la osteolisis y la reacción perióstica que se producía alrededor de la aguja.

A. Osteolisis peri-aguja

Biery (1985) define el término de osteolisis como la disminución de la radiodensidad

²

Debe tenerse en cuenta que aunque en el presente capítulo se utiliza habitualmente el término de fractura, en lo referente al estudio experimental se trata concretamente de una osteotomía tibial más que propiamente de una fractura.

ósea en una área determinada, distinguiéndolo del de osteopenia, en la que la disminución de la radiodensidad ósea es mucho más generalizada. El término radiológico de osteolisis corresponde histológicamente a un incremento de la actividad osteoclástica que conduce a un aumento de la reabsorción ósea (Biery, 1985). Dicha reabsorción ósea localizada en el hueso que rodea la aguja y detectable radiológicamente puede alertarnos de un presente o futuro desprendimiento prematuro de la aguja (de repercusión trascendental en la estabilidad del fijador) difícilmente detectable mediante exploración clínica (si se desestima para la exploración, la acción de aflojar las rótulas que la fijan y así no desestabilizar el foco de fractura). Todo ello nos conduce a considerar la osteolisis peri-aguja como uno de los factores más importantes sobre los que debe centrarse nuestra atención.

El grado de osteolisis ("Ost" se cuantificó de la siguiente manera (fig.IV.5., pág. 178):

- Grado 0:** **NULA:** Inexistencia de signos radiológicos de osteolisis.
- Grado 1:** **EVIDENTE:** Signos radiológicos claros de osteolisis peri-aguja manifestados por bandas de radiotransparencia ósea inmediatamente proximales y distales a la posición de la aguja.
- Grado 2:** **MASIVA:** Presencia de bandas de radiotransparencia ósea de amplitud igual o superior a la mitad del diámetro de la aguja con presencia de destrucción ósea cónica en las porciones externas de ambas interfases aguja-hueso.

Asimismo y con la intención de precisar al máximo la valoración, se consideran los grados intermedios entre 0 y 1 y entre 1 y 2. Así por ejemplo, un grado de 0,5 correspondería a la presencia radiológica de osteolisis peri-aguja incipiente manifestada por zonas localizadas de radiotransparencia en el tejido óseo que rodea a la aguja

B. Reacción perióstica

El grado de reacción perióstica que se desarrollaba alrededor de la aguja se cuantificó comparativamente con el espesor de la sustancia compacta en las inmediaciones de la zona considerada. La elección como patrón del espesor de la cortical (sustancia compacta), también utilizado para la valoración del tamaño del callo perióstico, nos permitió homogeneizar con mayor precisión las valoraciones de distintos animales puesto que de esta manera no se tiene en cuenta el tamaño absoluto de la reacción perióstica (que podría variar según el tamaño del animal y las dimensiones concretas del hueso) sino que de la valoración relativa del tamaño de la reacción perióstica respecto a la amplitud cortical se obtiene un valor comparable con el de otros animales de distinto tamaño. Así pues, se valoró la cuantificación de la reacción perióstica peri-aguja (R.p.) con los siguientes grados (la fig.IV.6., pág. 178, refleja el

mismo criterio aunque aplicado al tamaño del callo perióstico):

Grado 0: Ausencia.

Grado 1: Reacción perióstica de espesor igual a la de la cortical ósea.

Grado 2: Reacción perióstica de espesor doble a la de la cortical ósea.

También en este caso consideramos los valores intermedios (0,5; 1,5) para conseguir una mayor precisión en el método de cuantificación.

2.5.2. Valoración del foco de fractura

Para la valoración radiológica del foco de fractura se consideraron los siguientes parámetros:

A. Tiempo de consolidación de la osteotomía

Evidentemente, el registro del tiempo de consolidación de las distintas osteotomías es uno de los parámetros más importantes en la valoración de nuestro estudio experimental, ya que la curación de un hueso fracturado resulta ser el objetivo final de la implantación de cualquier método de reducción de fracturas. El registro del tiempo de consolidación viene en función del control postoperatorio en el que la valoración de los parámetros radiológicos registrados indica una estabilidad y consolidación suficiente para permitir la recuperación funcional total del paciente y por lo tanto la posibilidad de retirada del fijador externo. Los signos radiológicos que hemos utilizado para precisar la correcta consolidación de la osteotomía son los descritos por Egger (1991a) y se fundamentan en la desaparición total de la radiotransparencia de la línea de fractura y la continuidad en la consolidación de al menos tres de las cuatro corticales óseas (proyecciones medio-lateral y antero-posterior). Tal y como sucede en la clínica habitual, la retirada de los fijadores externos en nuestro estudio coincide con la constatación de la consolidación completa de la osteotomía.

B. Espesor del callo perióstico de fractura

Puesto que los fijadores externos, y especialmente los diseños utilizados en este estudio, difícilmente aportan las condiciones microambientales necesarias para que se instaure una cicatrización ósea por primera intención, la valoración del callo perióstico formado durante la cicatrización ósea secundaria es un parámetro a considerar de cara a la evolución de la fractura u osteotomía puesto que nos aporta información acerca de la estabilidad interfragmentaria existente.

La cuantificación del tamaño del callo perióstico se realizó de forma paralela a la de la reacción perióstica descrita anteriormente, es decir, tomando como referencia al espesor del hueso cortical (fig.IV.6., pág. 178). En este apartado, se consideró únicamente el espesor máximo del callo perióstico a nivel del foco de fractura sin tener en cuenta otras características morfométricas como por ejemplo, la extensión próximo-distal del callo perióstico. El sistema de cuantificación tomando como referencia el grosor del hueso cortical nos parece de mayor significación que otros sistemas como el descrito por Koskinen (1963), en el que simplemente se registra la amplitud del callo en milímetros sin tener en consideración diferencias individuales.

Así pues, la amplitud del callo perióstico se cuantificó de la siguiente forma:

- Grado 0:** Ausencia de callo perióstico.
- Grado 1:** Callo perióstico de espesor igual a la de la cortical ósea.
- Grado 2:** Callo perióstico de espesor doble a la de la cortical ósea.

Tal y como se ha descrito en anteriores apartados, se consideran igualmente los valores intermedios (0,5; 1,5) para obtener unos registros del tamaño del callo perióstico más precisos.

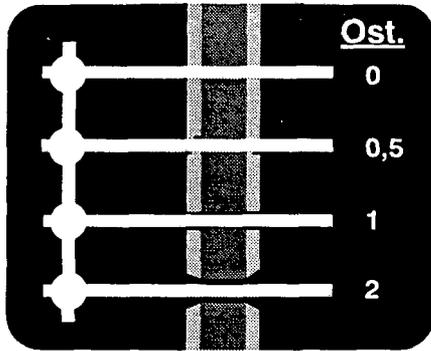
C. Grado de desplazamiento

La inclusión de este apartado en la hoja de valoración radiológica se llevó a cabo para constatar la correcta alineación interfragmentaria así como para poder registrar puntualmente, el sistema de fijador externo y el periodo en el que se había presentado el posible desplazamiento interfragmentario. El desplazamiento interfragmentario se cuantificó a partir de la imagen radiográfica postoperatoria y tomando como referencia la posición de una de las corticales de un fragmento con la zona de contacto del otro fragmento. Los distintos grados de cuantificación son (Fig.IV.7., pág. 178):

- Grado 0:** Contacto córtico-cortical completo.
- Grado 1:** Contacto córtico-cortical medio.
- Grado 2:** Contacto córtico-cortical mínimo.
- Grado 3:** Contacto córtico-medular I.
- Grado 4:** Contacto córtico-medular II.
- Grado 5:** Contacto transcortical.

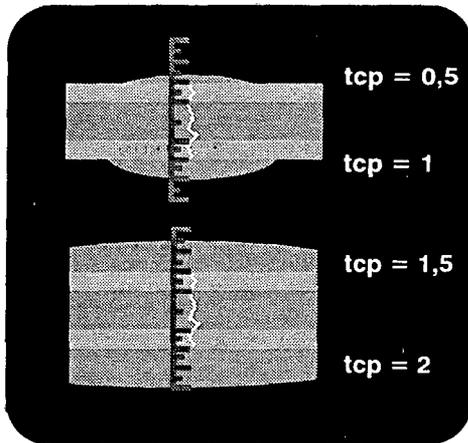
Un desplazamiento de grado 0 indica una alineación total entre los fragmentos fracturados y por tanto, una reducción anatómica de la osteotomía (contacto córtico-cortical completo). Cuando la alineación no es perfecta pero existe una amplia zona de contacto interfragmentario (intercortical) definimos un desplazamiento de grado 1 (contacto córtico-cortical medio), mientras que cuando la superficie perióstica del fragmento de referencia contacta prácticamente con la superficie endóstica del otro fragmento (contacto córtico-cortical mínimo), asignamos un desplazamiento de grado 2. El grado 3 (contacto córtico-medular I) indica que la cortical de referencia contacta con la mitad ipsilateral de la cavidad medular mientras que el grado 4 (contacto córtico-medular II) lo hace con la mitad contralateral. Finalmente, cuando la cortical de referencia contacta con la cortical contralateral del otro fragmento (contacto transcortical) el desplazamiento es de grado V.

Fig. IV.5. Representación gráfica de la cuantificación del grado de osteolisis (Ost.).



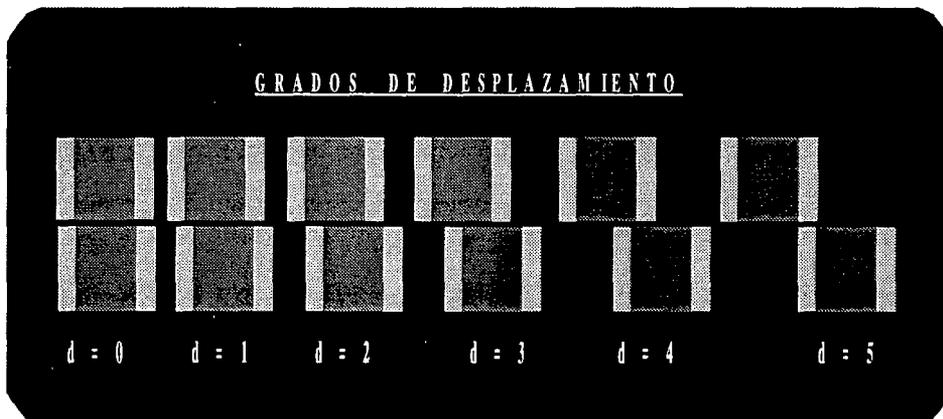
Ost. = 0; No presencia de osteolisis.
Ost. = 0,5; Presencia de indicios de osteolisis.
Ost. = 1; Presencia clara de osteolisis.
Ost. = 2; Presencia masiva de osteolisis.

Fig. IV.6. Representación gráfica de la cuantificación del tamaño del callo perióstico (t.c.p.).



t.c.p. = 0,5; Callo de espesor la mitad del de la cortical.
t.c.p. = 1; Callo de espesor igual al de la cortical.
t.c.p. = 1,5; Callo de espesor 1,5 mayor al de la cortical.
t.c.p. = 2; Callo de espesor doble al de la cortical.

Fig. IV.7. Representación gráfica de la cuantificación del grado de desplazamiento (d.).



d. = 0; Contacto córtico-cortical completo.
d. = 1; Contacto córtico-cortical medio.
d. = 2; Contacto córtico-cortical mínimo.
d. = 3; Contacto córtico-medular I.
d. = 4; Contacto córtico-medular II.
d. = 5; Contacto transcortical.

Fig. IV.8. Reproducción de la hoja de valoración radiológica.

HOJA DE VALORACION RADIOLOGICA

Perro n°:

ANGULACION

Valoración de la interfase aguja-hueso

	C.P.O. 15d.		C.P.O. 30d.		C.P.O. 45d.		C.P.O. 60d.		C.P.O. 75d.		C.P.O. 90d.		C.P.O. 120d.	
	Ost.	R.p.	Ost.	R.p.										
Interfase 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Valoración del foco de fractura

	C.P.O. 15d.		C.P.O. 30d.		C.P.O. 45d.		C.P.O. 60d.		C.P.O. 75d.		C.P.O. 90d.		C.P.O. 120d.	
	L/L	A/P	L/L	A/P										
Tam. Callo														
t de consol.														
* desplaz.														

Otros:

FLEXION

Valoración de la interfase aguja-hueso

	C.P.O. 15d.		C.P.O. 30d.		C.P.O. 45d.		C.P.O. 60d.		C.P.O. 75d.		C.P.O. 90d.		C.P.O. 120d.	
	Ost.	R.p.	Ost.	R.p.										
Interfase 1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Interfase 4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Valoración del foco de fractura

	C.P.O. 15d.		C.P.O. 30d.		C.P.O. 45d.		C.P.O. 60d.		C.P.O. 75d.		C.P.O. 90d.		C.P.O. 120d.	
	L/L	A/P	L/L	A/P										
Tam. Callo														
t de consol.														
* desplaz.														

Otros:

2.6. METODO GAMMAGRAFICO

El protocolo de realización de las gammagrafías óseas se inicia con la administración del radiofármaco por vía endovenosa. El radiofármaco elegido para nuestro estudio consta de tecnecio 99 metaestable (^{99m}Tc) como radioisótopo combinado con el metilendifosfonato (MDP) como trazador de afinidad ósea. La dosis de ^{99m}Tc -MDP empleada era de aproximadamente 1 milicurio/kg de peso vivo diluido convenientemente en aproximadamente 1 ml de solución fisiológica. Inmediatamente después de la inyección del radiofármaco y una vez administrados unos centímetros cúbicos de suero fisiológico para evitar la retención del producto en el sistema de venoclisis, se procedía a la primera captación gammagráfica, denominada genéricamente fase I o vascular (Fig. IV.10B), que refleja la distribución del radiofármaco por la red vascular y por los tejidos blandos.

Al cabo de aproximadamente 120 minutos después de la administración del radiofármaco (tiempo suficiente para asegurar una incorporación ósea completa del radiofármaco y una total eliminación del radiofármaco de los tejidos blandos), se procedía a la captación gammagráfica ósea (fase II) (Figs. IV.10A y C). Para evitar movimientos durante la fase de adquisición gammagráfica que podrían interferir en la calidad de la imagen resultante, los animales eran previamente premedicados (acepromazina y atropina) y anestesiados mediante la utilización de tiopental sódico según las dosis habituales.

La fase ósea de la gammagrafía constaba de un doble estudio. Por una parte, se utilizó un colimador paralelo de baja energía y alta resolución (Fig. IV.9A) (el mismo utilizado para la fase vascular) que permitía abarcar una amplia zona de exploración y, por otra parte, se ampliaba el estudio con la utilización de un colimador tipo "pin-hole" (Fig. IV.9B) de mayor resolución que el colimador paralelo aunque de campo exploratorio mucho más reducido. Para concretar la terminología, hemos denominado imagen ósea-general a la obtenida con el colimador paralelo, en la que se explora por completo y simultáneamente ambas extremidades e imagen ósea-fractura la obtenida con el colimador tipo "pin-hole" que refleja únicamente la porción diafisaria fracturada de una sola extremidad.

Dado el reducido campo de exploración del colimador tipo "pin-hole", a menudo resultaba difícil localizar con precisión a qué estructuras correspondían las zonas de hipercaptación (focos calientes) o de hipocaptación (focos fríos) al no disponer de referencias en tan reducido espacio. Para resolver el anterior problema y una vez almacenada la imagen con el preestablecido número de cuentas, se mantenía la captación gammagráfica pero se señalaba externamente y mediante la utilización de un marcador radioactivo, la localización de las agujas proximal y distal al foco de fractura así como del propio foco (Fig. IV.10D). El anterior procedimiento permitía identificar con exactitud las zonas de hipocaptación de los trayectos de las agujas (por el efecto de frenación de las mismas) y la zona de hipercaptación

(teóricamente, el foco de fractura) evitando de esta manera posibles errores de interpretación. Debido también a la limitada superficie de exploración del colimador tipo "pin-hole" por tratarse de un colimador convergente con un único orificio, es imprescindible una colocación estándar de la zona de interés en todas las exploraciones para una correcta interpretación y comparación seriada de los resultados obtenidos.

Cuando se utilizaba el colimador paralelo durante el estudio de la fase ósea, se mantenía la captación gammagráfica hasta una adquisición total de 1.000.000 de cuentas³, mientras que cuando se utilizaba el colimador tipo "pin hole", la adquisición se fijaba en 250.000 cuentas. La elección de un número fijo de cuentas permite estandarizar las distintas captaciones gammagráficas en los distintos periodos y en distintos animales posibilitando el estudio comparativo de las diferentes imágenes.

Las imágenes gammagráficas pueden valorarse de tres formas distintas. La primera de ellas es la simple **valoración visual**, es decir, la visualización de un foco de hipercaptación en un lugar determinado ya puede presentar de por sí suficiente entidad diagnóstica. Otra posibilidad se basa en la obtención de los denominados **índices de captación gammagráfica**. Dichos índices se obtienen relacionando la cuantificación de la captación gammagráfica de una determinada zona en comparación con la de una zona adyacente sana o bien con patrones preestablecidos. El último sistema de valoración consiste en la elaboración de **gráficas de captación lineal** mediante un barrido de la zona explorada y la presentación de la curva de captación obtenida (Fig. IV.10D). Este último método de valoración ha sido el empleado para valorar las imágenes obtenidas en nuestro estudio mediante el colimador de tipo "pin hole", mientras que para la valoración de las imágenes obtenidas con el colimador paralelo (fase I y fase II ósea- general) se han empleado los primeros dos métodos de valoración. Tanto la elaboración de las gráficas de captación lineal como la cuantificación de los índices de captación se lleva a cabo mediante el propio "software" de la gammacámara. El proceso matemático seguido para la obtención de los índices de captación no se describe en este apartado (a pesar de ser su adecuada ubicación) sino que se presenta conjuntamente con los resultados, por facilitar, de esta manera, la interpretación de los mismos.

³

Una "cuenta" se define como un impulso fotoeléctrico localizado en un pixel de la pantalla gammagráfica que se produce cuando un fotón γ incide en el cristal de la gammacámara.

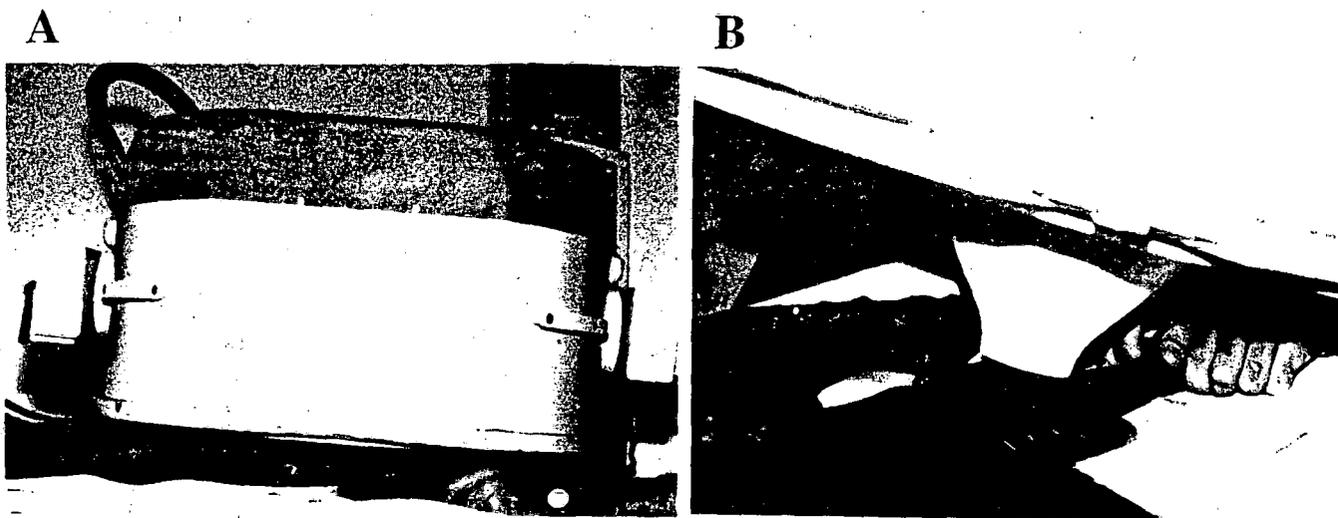


Fig. IV.9. A. Colimador paralelo. B. Colimador tipo "pin-hole".

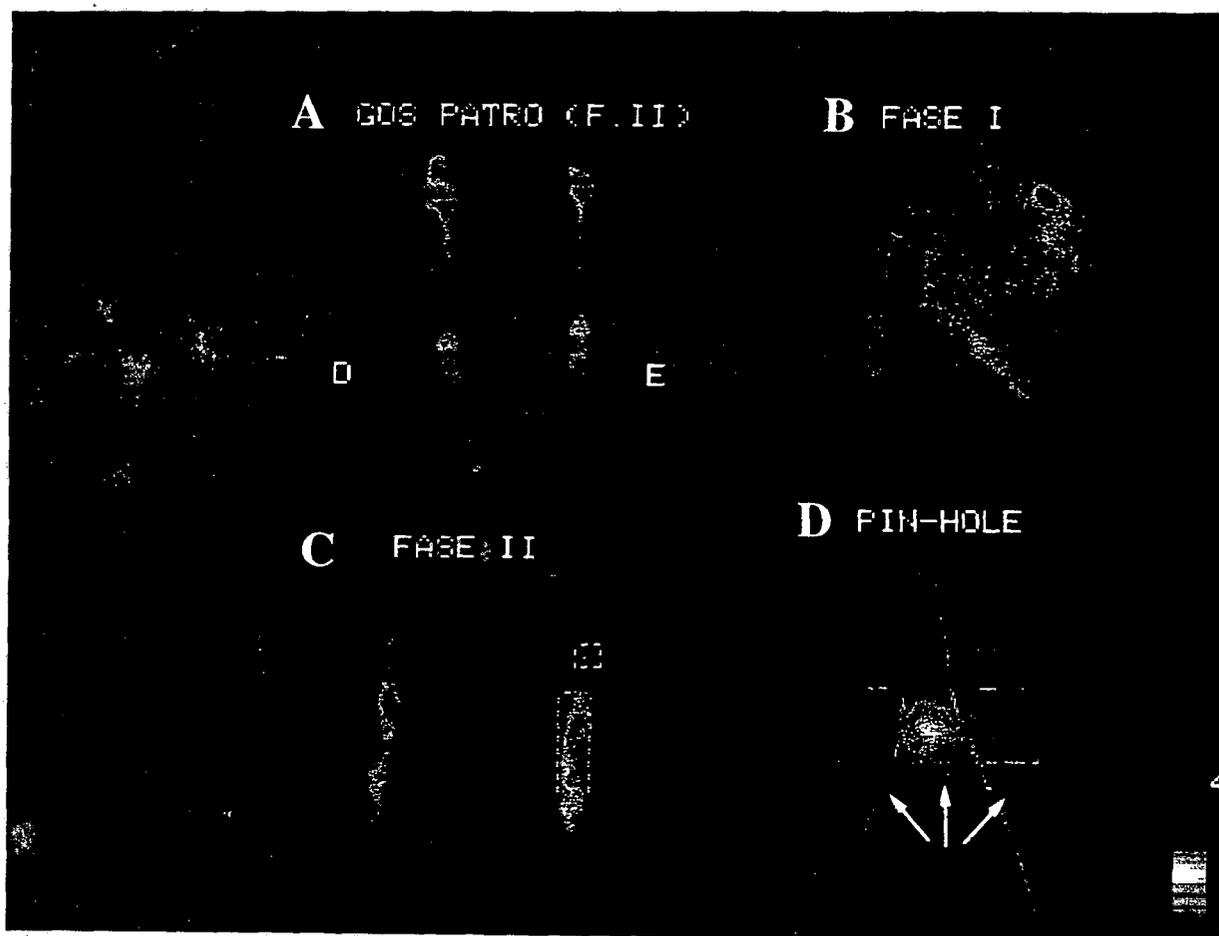


Fig. IV.10 A. Gammagrafía ósea (fase II) de un animal no intervenido. B. Gammagrafía ósea (fase I o vascular) del animal nº 18 (control gammagráfico de 14 días). C. Gammagrafía ósea (fase II) del animal nº 18 (control gammagráfico de 14 días). Valoración visual (izda.) y valoración cuantitativa (delimitación de las áreas de interés mediante rectángulos) (dcha.). D. Gammagrafía ósea (fase II) obtenida con el colimador tipo "pin-hole" de la zona osteotomizada (animal nº 6, ext. derecha, 21 días). Detalle de la gráfica de captación lineal y de las marcas de identificación (aguja nº 2, foco de osteotomía, aguja nº 3) (flechas).

2.7. METODO MICROANGIOGRAFICO

2.7.1. Método de inyección vascular

Para realizar el estudio de la microvascularización del callo de fractura, hemos seguido la técnica descrita por Rhinelanders (1972; 1974b; et al., 1979) aunque con la introducción de algunas modificaciones que proporcionaban, según nuestras observaciones, unos mejores resultados.

El método de inyección vascular se inicia con el rasurado de la región femoral medial del paciente convenientemente anestesiado con tiopental sódico y premedicado intravenosamente con heparina (5.000 U.I. por animal) para evitar la formación de coágulos intravasculares que interfiriesen el proceso de repleción vascular. Una vez individualizadas la arteria y vena femorales a lo largo de un trayecto suficientemente largo (unos 5 - 6 cm.), se procedía a la colocación, sin ajustar, de tres ligaduras de seda trenzada (calibre 1) alrededor de ambos vasos. El mismo procedimiento se repite en la otra extremidad.

Una vez preparadas ambas arterias y venas femorales, se practica una incisión incompleta y oblicua en ambos vasos entre la ligadura intermedia y proximal después de haber ajustado previamente esta última ligadura para evitar la hemorragia proximal. A través de la citada incisión, se introduce el catéter intravenoso fijado mediante la ligadura intermedia adecuadamente ajustada. Una vez canulados los cuatro vasos, se procede a la eutanasia del animal mediante sobredosis de barbitúrico. A continuación, y para evitar el reflujo proximal de sangre a través de vías arteriales y venosas secundarias y periféricas, se coloca en la zona más proximal de la extremidad, un fuerte torniquete de alambre. Así pues, la ligadura proximal evita la extravasación de sangre en la zona de intervención, la ligadura intermedia permitirá la fijación del catéter intravenoso que será utilizado como vía de inyección o drenaje y la ligadura distal servirá, una vez ajustada, para evitar el reflujo del líquido de contraste. Seguidamente, a través de la cánula arterial y por medio de una jeringa bajo presión manual, se introduce una suspensión de Micropaque al 30% en suero fisiológico hasta que éste fluya por el catéter venoso, momento en el cual la anterior suspensión se sustituye por una de Micropaque al 30% en formaldehído tamponado al 10%, hasta que ésta suspensión drene por el catéter venoso, hecho que se constata por el característico olor de formaldehído que presenta el líquido drenado por la cánula venosa. Al tratarse de un sistema abierto, en ningún caso es preciso ejercer una excesiva presión de inyección puesto que el líquido inyectado fluye libremente por el espacio vascular.

Seguidamente y simultáneamente a la retirada de las cánulas vasculares mediante incisión de la ligadura que las fijaba, se procede al cierre de las ligaduras distales arteriales y venosas para evitar la pérdida del líquido inyectado.

Finalmente, se procede a la amputación de la extremidad mediante desarticulación coxofemoral, incidiendo la masa muscular lo suficientemente proximal al torniquete para evitar su desprendimiento.

Como estudio adicional, y para constatar la correcta realización de la técnica, se realizaban varias radiografías convencionales de la extremidad con distintos parámetros radiológicos y distintas proyecciones para evidenciar la trama vascular de la región femoral distal y tibial. Antes de llevar a cabo dichas radiografías convencionales resultaba de especial importancia un minucioso lavado de la extremidad para eliminar cualquier resto superficial de micropaque que podría enmascarar la imagen radiológica.

La utilización de esta técnica de inyección permite el llenado del sistema aferente incluyendo los capilares óseos, aunque sólo los que en el momento de la inyección se encontraban funcionalmente activos, puesto que no se ha forzado el rellenado de los inactivos por una inyección a excesiva presión (tal y como sucede cuando se utilizan productos plásticos) lo que generaría resultados inexactos que no se adaptarían a la situación real. El vaciado venoso es tan rápido que únicamente trazos de venas parcialmente rellenas pueden evidenciarse en las microangiografías (Rhineland, 1972; 1974b; et al. 1979).

2.7.2. Método laboratorial

Una vez realizadas las radiografías, la extremidad individualizada se sumerge durante veinticuatro horas en un tanque que contiene alcohol 95° y formalina tamponada al 10 % en una proporción 2:1 respectivamente, lo que permitirá la estabilización y coagulación del micropaque.

En nuestro caso, consideramos innecesario la utilización de un reservorio de micropaque conectado a la cánula arterial durante la fase de inmersión, tal y como describe Rhineland (1979), por suponer que se ha producido una suficiente replección vascular.

Transcurridas las 24 horas, se elimina la piel de las extremidades para facilitar una adecuada fijación de los tejidos más profundos. La eliminación de la piel no puede efectuarse con anterioridad puesto que el micropaque, todavía no coagulado por acción del alcohol, podría verterse por los pequeños vasos dañados durante el proceso.

Después de eliminar la piel y sumergir de nuevo la extremidad en el tanque de alcohol y formaldehído durante un periodo de 24 a 48 horas, se traspasa la pieza anatómica a otro tanque que contiene exclusivamente formaldehído tamponado el 10% para conseguir una fijación tisular de mejor calidad.

Transcurridos 5 o 6 días, se aísla la región de la pierna incidiendo a través de las articulaciones proximal y distal de la tibia y se vuelve a sumergir en el mismo tanque durante otros 2 o 3 días. En ese momento y sin desplazar las barras conectoras originales del fijador externo, se coloca bilateralmente otra barra conectora entre las agujas proximal y distal del foco de fractura situándola en contacto con los tejidos blandos que recubren la zona fracturada (Fig. IV.11A, pág. 189). Dicho procedimiento proporciona un sólido sistema de consolidación muy cercano al hueso, necesario para la obtención posterior de láminas óseas, puesto que así disminuye el brazo de palanca con respecto a las barras conectoras originales cuando se fija la pieza para obtener cortes longitudinales sin que se produzca ni la más mínima modificación a nivel del foco de fractura. Posteriormente y una vez retiradas las barras conectoras originales, se incide con una sierra eléctrica convencional entre la primera y segunda agujas y entre la tercera y cuarta agujas, obteniendo únicamente la porción ósea diafisaria fracturada con su correspondiente recubrimiento muscular. Los fragmentos óseos proximal y distal se reservan para el estudio de las interfases aguja-hueso primera y cuarta.

Aproximadamente 24 horas antes de proceder a la obtención de cortes longitudinales del fragmento diafisario, éste se coloca en un congelador a -80° C. La congelación de la pieza facilita el corte de los tejidos blandos, actuando éstos últimos como sistema de sustentación de los fragmentos fracturados una vez realizado el corte especialmente en las primeras fases en las que todavía no exista un callo suficientemente resistente (Fig. IV.11B).

El corte longitudinal del fragmento óseo para la obtención de las láminas se realiza mediante una sierra de banda con filo de diamante especialmente diseñada para cortar materiales duros como el hueso o las piezas dentarias. La obtención de las láminas óseas sin necesidad de decalcificar previamente el hueso es una de las diferencias más importantes entre la técnica utilizada y la descrita por Rhinelander. Los cortes se realizan en el plano antero-posterior puesto que la mordaza de la sierra se fija sobre las rótulas de la barra conectora que se encuentra localizada en el plano látero-lateral (la sierra es capaz de cortar no solo el tejido óseo, sino también las agujas de acero inoxidable incluidas en él) (Figs. IV.11C-D). El desplazamiento de la pieza se realiza mediante un sistema de avance por tornillo de precisión, lo que permite la obtención seriada de láminas óseas de unos 2 milímetros de grosor. Según el diámetro diafisario de cada hueso, se obtienen un total de 4 a 8 láminas por pieza que son inmediatamente etiquetadas y fotografiadas para una evaluación seriada macroscópica del callo de fractura (Fig. IV.11E). Las distintas láminas se destinan alternativamente para llevar a cabo el estudio microangiográfico en una mitad y el microrradiográfico en la otra mitad. La utilización de este tipo de sierra mecánica permite procesar muestras óseas sin necesidad de decalcificarlas, lo que se traduce en una disminución considerable del tiempo de procesado así como de una valoración histológica más real al estudiar el tejido óseo tal y como se encuentra en el organismo.

Después de etiquetar y separar convenientemente según animal y extremidad, las láminas óseas destinadas al estudio microangiográfico se sumergen en una disolución de 5 ml de ácido nítrico al 40% y 95 ml de agua destilada para conseguir la decalcificación de la pieza. La anterior disolución se reemplazaba cada 24 horas durante los dos a cuatro días que se requieren para completar la decalcificación.

Una vez decalcificadas, se llevaban a cabo las microangiografías de las láminas óseas mediante el microrradiógrafo. Las muestras se depositaban en cubetas plásticas (que no generan interferencias en la imagen radiográfica) y éstas sobre las placas microrradiográficas de cristal. Los parámetros radiológicos utilizados eran: distancia focal 25,4 cm, kilovoltaje de 20-25 kV, un amperaje de 7-10 mA y un tiempo de exposición de 6 minutos.

Después del revelado de las placas microrradiográficas mediante los líquidos apropiados suministrados por la misma firma que suministra las placas (Kodak, Barcelona), se obtienen finalmente las imágenes microangiográficas a partir de las cuales se realizará el estudio. El tiempo de revelado es de aproximadamente 10 minutos y el de fijado de 20 minutos. A continuación es imprescindible sumergir las placas microrradiográficas en agua corriente durante al menos otros 20 minutos. Asimismo, y dada la fragilidad de las placas microrradiográficas de cristal, se realizan copias a diapositiva y papel tras visualización mediante lupa (para imágenes detallistas) o mediante sistemas macrofotográficos convencionales (para imágenes panorámicas).

2.8. METODO MICRORRADIOGRAFICO

La segunda mitad de láminas óseas obtenidas de cada hueso a partir del procedimiento descrito anteriormente, se destina al estudio microrradiográfico siguiendo, para su procesamiento, el protocolo descrito por Donath (1985 y 1988) y Hanh et al. (1987) y detallado a continuación.

- 1.- Baño 50% de GMA (2-hidroxi-etilmetacrilato) en agua destilada durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 2.- Baño 70% de GMA en agua destilada durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 3.- Baño 90% de GMA en agua destilada durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 4.- Baño 100% de GMA durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 5.- Baño 100% de GMA durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 6.- Baño 50% de GMA con Technovit 7200 durante 24 hs y en cubeta opaca.

- 7.- Baño 100% de Technovit 7200 durante 24 hs y en cubeta opaca.
- 8.- Baño 100% de Technovit 7200 durante 14 días y en cubeta opaca.
- 9.- Depositar la pieza en el molde plástico de inclusión pegándola al suelo del molde mediante Technovit 7230 VLS, evitando la presencia de burbujas en la superficie de contacto. Rellenar el molde con Technovit 7200.
- 10.- Polimerizar el plástico introduciendo el molde con la pieza en el fotopolimerizador y exponiéndola a luz blanca durante dos horas y a luz ultravioleta durante seis horas. Transcurrido dicho tiempo, se separa la pieza del molde plástico y se obtiene la lámina ósea ya incluida en metacrilato (Fig. IV.11F).
- 11.- Pegar la cara menos importante del molde al porta plástico o plexiglass (porta denominado "no definitivo") mediante el pegamento obtenido de mezclar los componentes del Technovit 4000 hasta conseguir una pasta de color blanco.
- 12.- Para una correcta adhesión, es necesario que se mantenga el bloque de inclusión con el porta durante al menos diez minutos en el sistema de bomba y prensa de vacío.
- 13.- Colocar el bloque en la micropulidora (sostenido por el porta plástico mediante vacío) e ir puliendo con papel de lija de grano cada vez más fino, hasta que se elimine el plástico de inclusión y aflore directamente la superficie de la pieza de mayor interés.
- 14.- Cubrir esta cara del bloque con otro porta plástico (llamado porta definitivo) pegándolo con el Technovit 7210 y fijándolo en la bomba-prensa de vacío, bajo luz ultravioleta y durante como mínimo 15 minutos.
- 15.- Sujetar el porta definitivo a la sierra diamantada mediante vacío. Cortar todo el bloque en láminas finas (el mecanismo permite ajustar hasta 0,02 mm de desplazamiento por corte).
- 16.- Situar la lámina recientemente obtenida en la micropulidora sosteniéndola por el porta mediante vacío y colocar el papel de lija de grano más fino. Ajustar el micrómetro digital a unas 80 μ habiendo tenido en cuenta el grosor del porta plástico y del pegamento. Al conectar la micropulidora, se generan movimientos de rotación y traslación de la lámina sobre el papel de lija que proporcionan un pulido uniforme y de gran precisión.
- 17.- La lámina obtenida ya montada en el porta puede ser microrradiografiada.
- 18.- A la porción restante de bloque incluido se le pega de nuevo un porta (denominado no definitivo) tal y como se ha descrito en el punto 14, y se repiten los pasos 15, 16 y 17. El proceso debe realizarse tantas veces como cortes queramos obtener para el estudio microrradiográfico, de microscopía de retrodispersión e histológico sin decalcificación.

Las preparaciones obtenidas se colocaban en el interior del microrradiógrafo y se procedía de la misma forma descrita anteriormente para la obtención de las microangiografías. Los parámetros radiológicos utilizados en este caso eran: distancia focal 63 cm., kilovoltaje de 13 kV, un amperaje de 18 mA y un tiempo de exposición de 45 minutos. Las placas microrradiográficas y el proceso de revelado es idéntico al descrito para el estudio microangiográfico. El estudio microrradiográfico completaba al de microscopía electrónica al aportar una visión panorámica de las láminas óseas.

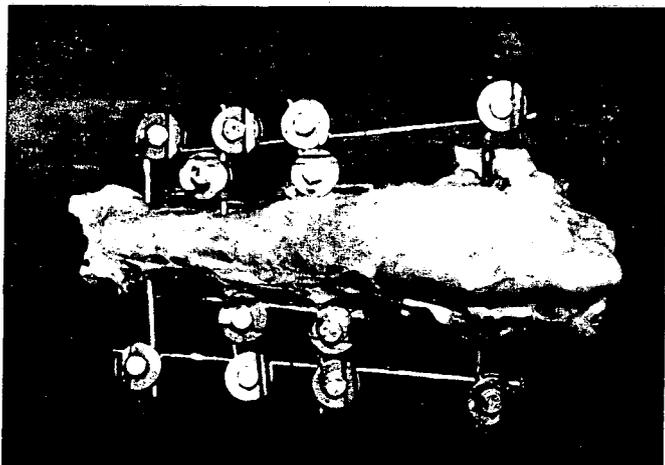
2.9. METODO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION

La ventaja del método de preparación de las piezas microrradiográficas descrito anteriormente permite, tras una simple preparación, llevar a cabo el estudio de las mismas láminas óseas mediante microscopía electrónica de retrodispersión ("backscattered scanning electron microscopy"). La microscopía de retrodispersión se basa en el registro de los electrones primarios que, después de incidir sobre la preparación atravesando la capa conductora de carbono, se reflejan en los elementos pesados de la muestra (en nuestro caso: bario, cristales cálcicos y acero inoxidable). Por ello, la imagen obtenida guarda cierta similitud a la de una microrradiografía aunque sus posibilidades son mucho mayores no sólo en cuanto al incremento posible de aumentos ópticos sino también a la posibilidad de realizar directamente estudios de histomorfometría y microanálisis tisulares. A diferencia de la microscopía de retrodispersión, en la electrónica de barrido los electrones registrados (electrones secundarios) son los emitidos por la película de oro que recubre la muestra. La microscopía electrónica de retrodispersión se lleva a cabo en un microscopio de barrido convencional aunque convenientemente dotado de un lector de electrones retrodispersados. Asimismo, debido a que las muestras estudiadas estaban completamente pulidas, se perdía la característica tridimensionalidad de las imágenes obtenidas en el microscopio de barrido.

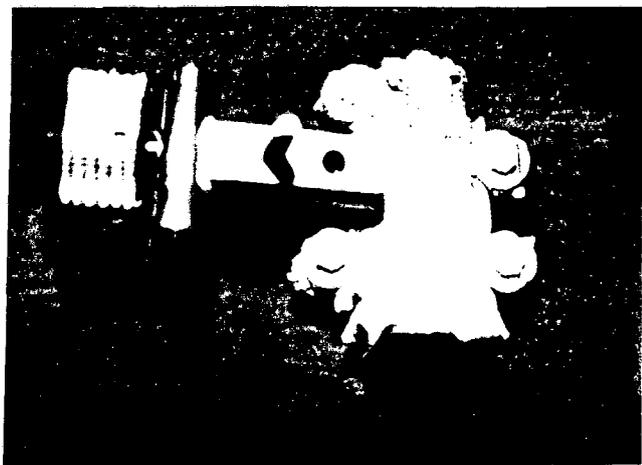
El procesado específico para el estudio microscópico incluía simplemente el recubrimiento de la pieza con carbono y la fijación de la misma al portamuestras mediante plata coloidal. Asimismo, se prestaba especial atención en comprobar que la plata coloidal contactase con la zona de muestra correspondiente a la lámina ósea (y no simplemente al plástico que la incluía periféricamente) para conductivizarla correctamente y así obtener unas imágenes de mayor calidad (Fig. IV.11G). Tras las dos horas requeridas para el proceso de recubrimiento y fijado, la muestra podía ya situarse en la cámara del microscopio electrónico y tras efectuar el correspondiente vacío, iniciar la valoración.

Fig. IV.11. A. Individualización de la región tibial y colocación bilateral de una doble barra adicional próxima a la pieza. B. Fijación de la pieza congelada mediante la mordaza de la sierra. C-D. Detalle de la obtención de una lámina ósea. E. Serie completa de láminas de una misma pieza. F. Inclusión de una lámina ósea en metilmetacrilato. G. Recubrimiento de la preparación con carbono para el estudio de microscopía electrónica de retrodispersión.

A



B



C



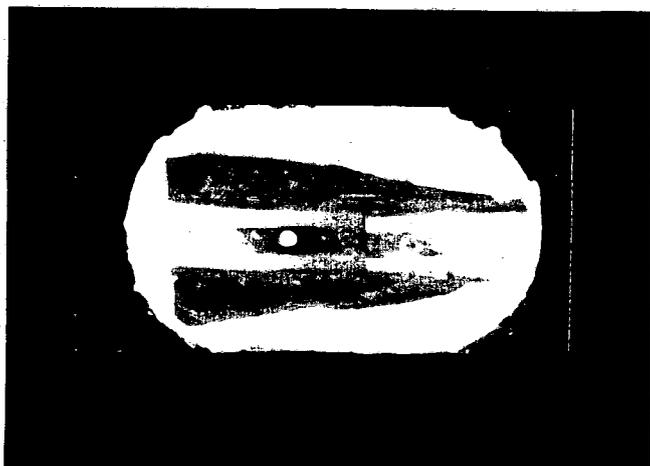
D



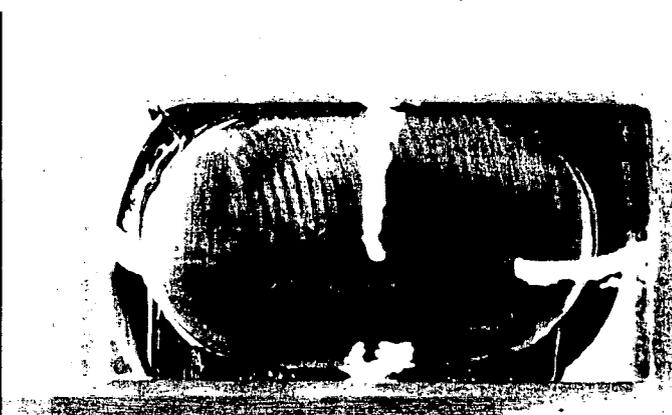
E



F



G



2.10. METODO HISTOLOGICO CON PIEZAS SIN DECALFICAR

El método histológico de las piezas sin decalcificación se basa en la utilización de las preparaciones de microscopía electrónica convenientemente erosionadas hasta un espesor de 30 μ . Durante las fases iniciales de la citada erosión, se eliminaba directamente la película de carbono presente en la superficie de las preparaciones. Una vez el micrómetro electrónico mostrase el espesor deseado de las preparaciones, se procedía a su tinción mediante la coloración de azul de toluidina. Consideramos innecesaria la descripción detallada de la citada tinción al tratarse de métodos estándar empleados en cualquier laboratorio histológico y ser de conocimiento generalizado. En la exposición de los resultados correspondientes a este capítulo haremos referencia únicamente a aquellos aspectos que, a nuestro juicio, ofrecían interés, especialmente a la identificación de tejidos no calcificados (entre otros, cartílago) y que, por tanto, no eran visibles en las imágenes de microscopía electrónica de retrodispersión debido a su carácter electrolúcido.

2.11. METODO ESTADISTICO

La realización del estudio estadístico ha requerido la utilización de diferentes pruebas estadísticas que se adaptarán a las características propias de cada valoración. En lo referente a la valoración clínica de los pacientes y con la intención de obtener unos resultados lo más ajustados posible al patrón de valoración establecido, se consideró adecuado llevar a cabo la repetición seriada de la valoración. Así pues, la valoración final de la reacción inflamatoria para una determinada interfase, control postoperatorio e individuo, resultaba de promediar los valores de las dos series de valoración presentando cada serie un valor para la cara medial y otro para la cara lateral de la extremidad (interfase piel-aguja medial y lateral). El valor final de la reacción inflamatoria de la citada interfase, obtenido por tanto de promediar los cuatro valores anteriores (dos para la interfase medial y dos más para la lateral), es el único que se consideraba para efectuar el estudio estadístico. De la misma manera se ha procedió para la valoración de la infección mayor del trayecto de la aguja. La valoración del desprendimiento prematuro de las agujas y de la recuperación funcional de la extremidad intervenida se llevó a cabo a partir de una única valoración. Por lo tanto, el tamaño de la muestra (n) de las distintas pruebas estaba constituido por el conjunto de valores finales.

La valoración radiológica de las extremidades intervenidas ha seguido un proceso similar al descrito para la valoración clínica. Puesto que también para llevar a cabo la valoración radiológica se ha partido de un modelo de valoración establecido, la repetición de las valoraciones nos pareció la mejor manera de disminuir el error de apreciación e incrementar la fidelidad de la cuantificación. Así pues, la valoración de la osteolisis de una determinada interfase aguja-hueso se ha realizado en tres ocasiones, valorando la totalidad de las imágenes de forma ininterrumpida y siguiendo distintos órdenes para conseguir unas

anotaciones más precisas. Aunque para la cuantificación del grado de osteolisis se recurrió especialmente a la imagen obtenida con la proyección anteroposterior por ofrecer una mayor facilidad de valoración, se consideró también la imagen obtenida en la proyección mediolateral cuando presentaba signos relevantes valorables por la no interposición de componentes del fijador externo. Por lo tanto, el valor final de osteolisis de esa determinada interfase (procedente de promediar las anteriores anotaciones) es el que se consideraba para llevar a cabo el estudio estadístico. La reacción perióstica de la interfase aguja-hueso y el tamaño del callo de fractura se cuantificaron de la misma manera descrita para la valoración de la osteolisis. Asimismo, se procedió a la anotación del grado de desplazamiento interfragmentario y del momento de retirada del fijador externo y, por tanto, de la consolidación clínica de la fractura.

Los datos se han expresado como media \pm desviación estándar (d.e.) Las diferencias en los valores de reacción inflamatoria, osteolisis e índices de captación gammagráficos entre los dos sistemas de tratamiento, angulación y flexión, se han estudiado utilizando la prueba de la "t" de Student para grupos apareados, o la prueba de la "t" de Student para grupos independientes, en función de las características de las muestras.

El diseño con grupos apareados se utilizó cuando en una misma muestra existía correspondencia directa, para un mismo individuo, entre los valores obtenidos para la extremidad derecha (grupo de flexión) y para la izquierda (grupo de angulación). Sin embargo, cuando ya no existía la citada correspondencia, puesto que en una de las dos extremidades se había retirado el fijador por mostrarse consolidada la osteotomía, se utilizó el diseño con grupos independientes. Se han elegido las citadas pruebas ya que se trataba de estudiar las relaciones entre una variable cualitativa con dos categorías (los dos sistemas de tratamiento) y una variable cuantitativa (grado de osteolisis, etc.). Se consideró que un valor de $p < 0,05$ indicaba diferencias significativas, y se aceptó el supuesto de normalidad en el caso de muestras pequeñas ($n < 30$).

Por otra parte, en el caso de obtener diferencias significativas, se calculó el intervalo de confianza del 95% de la diferencia entre las medias de los dos grupos, angulación y flexión. Este intervalo estima la magnitud de la diferencia entre las medias, lo que puede ser más importante en la práctica que saber simplemente si un tratamiento es mejor que el otro. El intervalo de confianza que tiene una probabilidad del 95% (I.C.(95%)) de contener la magnitud de la diferencia entre las medias se ha calculado a partir de las siguientes fórmulas estadísticas⁴ (Doménech, 1992a):

⁴ A pesar de tratarse de fórmulas estadísticas habituales, a continuación reflejamos la correspondencia de cada una de las variables presentes en las ecuaciones: n_1, n_2 : tamaño de muestra del grupo 1 y 2; \bar{y}_1, \bar{y}_2 : medias de los grupos 1 y 2; z : valor de z que se obtiene en la tabla correspondiente para $\alpha/2$ ($0,05/2 = 0,025$); S_1^2, S_2^2 : varianzas de las muestras 1 y 2; S_{12}^2 : varianzas conjuntas de las muestras 1 y 2 para el caso de muestras pequeñas; t : valor de tabla según los grados de libertad ("gl"); S_d^2 : varianza de la variable diferencia (nueva variable calculada restando las medias del grupo 1 de las del grupo 2).

En el caso de grupos independientes:

$$(n_1 \text{ y } n_2 \geq 30): |\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$
$$(n_1 \text{ ó } n_2 < 30): |\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \pm t_{gt; \alpha/2} \sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}$$

En el caso de grupos apareados:

$$(n \geq 30): |\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{S_d^2}{n}}$$
$$(n < 30): |\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \pm t_{n-1; \alpha/2} \sqrt{\frac{S_d^2}{n}}$$

En el caso de estudiar relaciones entre dos variables cualitativas, como fué el caso de la valoración del tiempo de consolidación de la osteotomía, se realizó una comparación de proporciones utilizando un diseño de grupos apareados, ya que los dos grupos que se comparaban estaban formados por los mismos sujetos que recibían ambos tipos de tratamiento (angulación y flexión). Se definieron las variables "respuesta al tratamiento de angulación" ("+" ó "-") y "respuesta al tratamiento de flexión" ("+" ó "-"), y se situaban los datos en una tabla de 2x2 cuyas columnas representaban los resultados del tratamiento flexión y cuyas filas representaban los resultados del tratamiento angulación, tal y como muestra la siguiente imagen:

	Flex. -	Flex. +
Ang. +	a	b
Ang. -	c	d

La categoría "+" en un tratamiento indicaba que el tiempo de consolidación era inferior al del otro tratamiento, mientras que la categoría "-" indicaba que el tiempo de consolidación era superior; la presencia de individuos con un valor "+" para ambas variables suponía que la consolidación era simultánea con ambos tratamientos y la presencia de animales con un valor "-" para ambas variables indicaría que no se habría alcanzado la consolidación con ninguno de los dos tratamientos al finalizar el estudio experimental. Al disponer en nuestro caso de una muestra de pequeño tamaño ($a + d < 10$), el valor de p se halló consultando en la tabla correspondiente el grado de significación asociado a una tabla 2x2 para datos apareados (Doménech, 1988).

De igual forma que para el caso de la comparación de medias, se consideró de interés hallar el intervalo de confianza del 95% que estima la magnitud de la diferencia entre las dos proporciones, ya que podía dar una información más valiosa que la prueba de significación realizada. Al tratarse de una muestra de pequeño tamaño se calcularon los límites exactos de dicho intervalo aplicando las siguientes fórmulas⁵ (Doménech, 1992b):

$$\pi_i = \frac{a}{a + (d+1) \times F_{2(d+1); 2a; \alpha/2}}$$

$$\pi_s = \frac{a + 1}{(a + 1) + \frac{d}{F_{2(a+1); 2d; \alpha/2}}}$$

5

A pesar de tratarse de fórmulas estadísticas habituales, se presenta la correspondencia de las distintas variables. Así pues, π : valor necesario para el cálculo del límite superior e inferior; F: valor obtenido en la tabla F de Snedecor (según las características de d, a, $\alpha/2$); δ_i y δ_s : límites exactos inferior y superior.

$$\delta_i = (2\pi_i - 1) \frac{a + d}{n}$$

$$\delta_s = (2\pi_s - 1) \frac{a + d}{n}$$

Asimismo y para facilitar la interpretación de algunos resultados obtenidos se consideró interesante expresarlos de forma porcentual según el valor máximo establecido para ese determinado parámetro en el patrón de valoración. Este procedimiento permitía además, la presentación de todos los resultados sobre un total de 100 aunque sus valores máximos en el patrón diseñado no coincidiesen. La realización de dicha transformación se llevó a cabo por simple proporcionalidad.

V.- RESULTADOS

V. RESULTADOS

V.1. RESULTADOS CLINICOS

Los resultados clínicos se valoraron a partir de las anotaciones registradas en la "hoja de valoración clínica" (v. apartado "Material y métodos", pág. 172). La reacción inflamatoria, la infección primaria del trayecto de la aguja y el desprendimiento prematuro de las agujas fueron los parámetros estudiados en cada interfase aguja-piel. Asimismo, se valoraron otros parámetros como la precocidad y calidad de recuperación funcional del animal al final del periodo postoperatorio (exceptuando los grupos de 7 y 15 días de supervivencia) así como la recuperación del apoyo una vez intervenida la extremidad.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las anteriores valoraciones.

1.1. VALORACION DE LA REACCION INFLAMATORIA

Seguidamente se presentan los resultados correspondientes a la valoración de la reacción inflamatoria por control postoperatorio y posteriormente por interfase aguja-piel. Finalmente, se lleva a cabo el estudio estadístico de los datos obtenidos en la valoración de la reacción inflamatoria a lo largo de todo el periodo postoperatorio.

1.1.1. Valoración de la reacción inflamatoria por control postoperatorio

En este apartado se reflejan los valores medios y la desviación estándar (d.e.) correspondientes a la reacción inflamatoria registrada en cada una de las interfases aguja-piel y en cada control postoperatorio (c.p.o.). Los citados resultados se presentan en las tablas V.1A y V.1B para los grupos de angulación y flexión respectivamente.

Puesto que la reacción inflamatoria disminuye rápidamente en todas las interfases una vez se ha procedido a la retirada de las agujas, únicamente se reflejan los registros correspondientes a las interfases que mantienen implantada la aguja. Por otra parte, el tamaño de muestra indica el número de valoraciones para cada c.p.o. Asimismo, y dado que cada fijador externo está constituido por cuatro agujas, el tamaño de muestra por interfase es la cuarta parte del tamaño de muestra total por c.p.o.

Por otra parte, no se presentan datos referentes a la reacción inflamatoria del grupo de angulación en el c.p.o. de 90 días puesto que en el citado c.p.o. se habían retirado ya todos los fijadores externos en las extremidades intervenidas con el fijador de tipo angulación.

Tabla V.1A. Reacción inflamatoria por c.p.o. Grupo angulación.

	Reacción inflamatoria media \pm d.e.				Tamaño muestra (n)
	interfase n° 1	interfase n° 2	interfase n° 3	interfase n° 4	
C.P.O. 7d	1,39 \pm 0,48	0,40 \pm 0,20	0,16 \pm 0,23	0,14 \pm 0,22	n= 88
C.P.O. 15d	1,50 \pm 0,64	0,58 \pm 0,37	0,19 \pm 0,30	0,18 \pm 0,29	n= 76
C.P.O. 30d	1,42 \pm 0,62	0,54 \pm 0,27	0,11 \pm 0,22	0,16 \pm 0,23	n= 64
C.P.O. 45d	1,40 \pm 0,46	0,53 \pm 0,31	0,10 \pm 0,21	0,17 \pm 0,20	n= 52
C.P.O. 60d	1,38 \pm 0,52	0,55 \pm 0,30	0,11 \pm 0,24	0,16 \pm 0,22	n= 36
C.P.O. 75d	1,50 \pm 0,40	0,50 \pm 0,40	0,17 \pm 0,24	0,17 \pm 0,24	n= 12
C.P.O. 90d	-	-	-	-	-

Tabla V.1B. Reacción inflamatoria por c.p.o. Grupo flexión.

	Reacción inflamatoria media \pm d.e.				Tamaño muestra (n)
	interfase n° 1	interfase n° 2	interfase n° 3	interfase n° 4	
C.P.O. 7d	1,57 \pm 0,43	0,68 \pm 0,31	0,20 \pm 0,25	0,10 \pm 0,21	n= 88
C.P.O. 15d	1,68 \pm 0,49	0,71 \pm 0,31	0,21 \pm 0,28	0,11 \pm 0,27	n= 76
C.P.O. 30d	1,60 \pm 0,38	0,69 \pm 0,30	0,17 \pm 0,23	0,11 \pm 0,20	n= 64
C.P.O. 45d	1,59 \pm 0,47	0,66 \pm 0,28	0,18 \pm 0,24	0,12 \pm 0,21	n= 56
C.P.O. 60d	1,60 \pm 0,39	0,67 \pm 0,29	0,19 \pm 0,24	0,10 \pm 0,20	n= 52
C.P.O. 75d	1,67 \pm 0,23	0,67 \pm 0,23	0,17 \pm 0,23	0,17 \pm 0,23	n= 24
C.P.O. 90d	2,00 \pm 0,00	1,00 \pm 0,00	0,50 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	n= 4

En la tabla V.2 se reflejan los valores globales de reacción inflamatoria por c.p.o. para cada uno de los dos grupos obtenidos a partir de las anteriores medias (tablas V.1A y V.1B). Finalmente se presenta el valor medio total (V.M.T.) de reacción inflamatoria calculado también a partir de los anteriores medias y no a partir de las medias globales reflejadas en la propia tabla. Así pues, el tamaño de muestra por c.p.o. es de $n_{cpo} = 4$ (4 interfases) en ambos grupos y el tamaño de muestra para el V.M.T. es de $n_T = 24$ y de $n_T = 28$ para los grupos de angulación y flexión respectivamente. Los elevados valores de las

desviaciones estándar, casi tan altos como las propias medias, se deben a la disparidad de valores existentes entre las distintas interfases. Las casillas sombreadas corresponden al porcentaje de la reacción inflamatoria en cada control con respecto al máximo posible registrado en la valoración clínica (es decir, en valor de 2) tal y como se ha descrito en los apartados de "Método de valoración clínica" (pág. 168) y "Método estadístico" (pág. 190) del capítulo de "Material y métodos". La última columna muestra el porcentaje diferencial de reacción inflamatoria del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Tabla V.2. Reacción inflamatoria global por c.p.o.

	ANGULACION		FLEXION		Porcentaje Diferencial Fle. > Ang.
	Media ± d.e. (n _{cpo} = 4)		Media ± d.e. (n _{cpo} = 4)		
	Valor Abs.	%	Valor Abs.	%	
C.P.O. 7d	0,52 ± 0,59	26,0 ± 29,5	0,64 ± 0,67	32,0 ± 33,5	+ 6,0 %
C.P.O. 15d	0,61 ± 0,62	30,5 ± 31,0	0,68 ± 0,72	34,0 ± 36,0	+ 3,5 %
C.P.O. 30d	0,56 ± 0,60	28,0 ± 30,0	0,64 ± 0,69	32,0 ± 34,5	+ 4,0 %
C.P.O. 45d	0,55 ± 0,60	27,5 ± 30,0	0,64 ± 0,68	32,0 ± 34,0	+ 4,5 %
C.P.O. 60d	0,55 ± 0,59	27,5 ± 29,5	0,64 ± 0,69	32,0 ± 34,5	+ 4,5 %
C.P.O. 75d	0,59 ± 0,63	29,5 ± 31,5	0,67 ± 0,71	33,5 ± 35,5	+ 4,0 %
C.P.O. 90d	-	-	0,86 ± 0,85 ¹	43,0 ± 42,5	-
V.M.T.	0,56 ± 0,54	28,0 ± 27,0	0,68 ± 0,64	34,0 ± 32,0	+ 6,0 %

¹ Datos pertenecientes al único animal en el que permanecían implantados los fijadores externos en el c.p.o. de 90 días.

Debido a que el valor de reacción inflamatoria del grupo de flexión en el c.p.o. de 90 días no resulta del valor medio de varios individuos sino que se obtiene de las cuatro interfases de un sólo individuo y dada además la repercusión sobre el resultado final que representa la inclusión de ese valor, hemos considerado necesario recalcular el valor medio total sin considerar dicho dato. A continuación se muestra el valor medio total modificado (V.M.T'), su correspondencia porcentual y el porcentaje diferencial de reacción inflamatoria

$$\begin{aligned}
 \text{V.M.T.}' &= 0,65 \pm 0,61 \\
 \text{V.M.T.}' (\%) &= 32,5 \pm 30,5 \\
 \% \text{ dif. F} > \text{A} &= + 4,5 \%
 \end{aligned}$$

1.1.2. Valoración de la reacción inflamatoria por interfase aguja-piel

Seguidamente se presentan los resultados correspondientes a la media de la reacción inflamatoria global para cada interfase aguja-piel a lo largo de todo el periodo postoperatorio en el que el fijador externo ha permanecido implantado en el paciente (tabla V.3). Se presenta el valor medio y la correspondiente desviación estándar (d.e.) calculados a partir de las medias individuales por interfase y c.p.o reflejadas en las tablas V.1A y V.1B. Así pues, el tamaño de muestra por interfase es de $n_i=6$ y $n_i=7$ y el tamaño de muestra para el V.M.T. es de $n_T=24$ y $n_T=28$ para los grupos de angulación y flexión respectivamente. Las casillas sombreadas reflejan el porcentaje de reacción inflamatoria (\pm d.e.) con respecto al máximo posible establecido en el patrón de valoración clínica y la última columna muestra el porcentaje diferencial de reacción inflamatoria por interfase del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Tabla V.3. Reacción Inflamatoria por interfase aguja-piel

	ANGULACION Media \pm d.e. ($n_i = 6$)		FLEXION Media \pm d.e. ($n_i = 7$)		Porcentaje Diferencial Fle > Ang
	Valor Abs.	%	Valor Abs.	%	
interfase n° 1	1,43 \pm 0,05	71,5 \pm 2,5	1,67 \pm 0,15	83,5 \pm 7,5	+ 12,0 %
interfase n° 2	0,52 \pm 0,06	26,0 \pm 3,0	0,73 \pm 0,12	36,5 \pm 6,0	+ 10,5 %
interfase n° 3	0,14 \pm 0,04	7,0 \pm 2,0	0,23 \pm 0,12	11,5 \pm 6,0	+ 4,5 %
interfase n° 4	0,16 \pm 0,01	8,0 \pm 0,5	0,10 \pm 0,05	5,0 \pm 2,5	- 3,0 %
V.M.T.	0,56 \pm 0,54	28,0 \pm 27,0	0,68 \pm 0,64	34,0 \pm 32,0	+ 6,0 %

A continuación se presenta el valor medio por interfase y el valor medio total modificado (V.M.T.´), es decir, sin la inclusión de los datos pertenecientes al único animal (grupo flexión) del c.p.o. de 90 días. La segunda columna refleja los mismos datos representados de forma porcentual mientras que la última columna muestra el tanto por ciento de reacción inflamatoria en el grupo de flexión con respecto al de angulación. En esta ocasión, el tamaño de muestra por interfase es de $n_i = 6$ y el tamaño de muestra total de $n_T = 24$.

Interfase 1	= 1,62 \pm 0,05	% = 81,0 \pm 2,5	% F > A = + 9,5 %
Interfase 2	= 0,68 \pm 0,02	% = 34,0 \pm 1,0	% F > A = + 8,0 %
Interfase 3	= 0,19 \pm 0,02	% = 9,5 \pm 1,0	% F > A = + 2,5 %
Interfase 4	= 0,12 \pm 0,03	% = 6,0 \pm 1,5	% F > A = - 2,0 %
V.M.T.´	= 0,65 \pm 0,61	% = 32,5 \pm 30,5	% F > A = + 4,5 %

Por otra parte, la tabla V.4 muestra, en forma de porcentaje, la distribución de la reacción inflamatoria en cada interfase con respecto a la reacción total en su mismo grupo.

Tabla V.4. Distribución de la reacción inflamatoria total de cada grupo entre las cuatro interfaces del mismo grupo

	Angulación	Flexión
interfase n° 1	62,9 %	61,2 %
interfase n° 2	24,0 %	26,7 %
interfase n° 3	5,7 %	8,4 %
interfase n° 4	7,4 %	3,7 %

1.1.3. Estudio estadístico de la reacción inflamatoria a lo largo de todo el periodo postoperatorio

A partir de los datos obtenidos en la valoración de la reacción inflamatoria a lo largo de todo el periodo postoperatorio (tabla V.2.), se llevó a cabo el correspondiente estudio estadístico para la extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población, utilizando para ello la comparación de las medias mediante la prueba "t" de Student para datos apareados. Para conseguir un conjunto con parejas de datos comparables, tuvo que obviarse la valoración de la reacción inflamatoria en el c.p.o. de 90 días (grupo de flexión) puesto que no existen los datos correspondientes en el grupo de angulación al no permanecer implantado ya ningún fijador externo de este grupo en ese momento.

Los resultados obtenidos en la valoración estadística de la reacción inflamatoria se presentan a continuación:

Reacción inflamatoria media:	grupo de angulación	= 0,56 ± 0,54 (n=24)
	grupo de flexión	= 0,65 ± 0,61 (n=24)
	valor de t	= - 4,25
	p	< 0,001

De ello se deduce que la reacción inflamatoria en el grupo de flexión es significativamente mayor que en el grupo de angulación ($p < 0,001$).

Para la extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población se procedió al cálculo del correspondiente intervalo de confianza (I.C.) a partir de los anteriores datos (v. "Método estadístico", pág. 190) y expresado sobre el porcentaje total de reacción inflamatoria máxima.

$$\text{I.C. (95\%)} = \llbracket 2,5\% \text{ a } 6,5\% \rrbracket$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades la reacción inflamatoria es entre un 2,5% y un 6,5% mayor en el grupo de flexión que en el de angulación.

1.2. VALORACION DE LA INFECCION PRIMARIA DEL TRAYECTO DE LA AGUJA

Tal y como ya se ha descrito en el apartado de material y métodos dedicado al método de valoración clínica (pág. 168), para la valoración de la presencia de una infección mayor o primaria del trayecto de la aguja se tomaron como referencia las características enunciadas por Green (1981). Dichas características, que permiten diferenciar la infección mayor de la menor, incluyen cambios locales en la interfase aguja-piel como la exudación purulenta y cuantiosa, dolor en la manipulación de la aguja y en la exploración de la interfase afectada, cambios en el estado general del paciente (apatía, anorexia, incluso en casos extremos presencia de fiebre y leucocitosis) y retirada del apoyo de la extremidad.

En nuestras series, únicamente se registró la presencia de infección mayor del trayecto de la aguja en dos extremidades intervenidas, las dos del animal nº 4 (fijador tipo angulación: interfases 1, y 4; fijador tipo flexión: interfases 1, 2 y 4). En ambos casos, el problema se resolvió con aplicaciones tópicas diarias de solución yodada y administración parenteral de cefalexina (20mg/Kg/8hs, 7d).

1.3. VALORACION DEL DESPRENDIMIENTO PREMATURO DE LAS AGUJAS Y DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL FIJADOR EXTERNO

La detección de pequeños desplazamientos de las agujas es muy difícil, a no ser que se desplace la totalidad del fijador por verse afectadas las cuatro agujas, puesto que requiere el aflojamiento de la rótula para liberar a la aguja y así poder determinar la presencia de movimiento. Sin embargo, la anterior práctica no se lleva a cabo habitualmente en la clínica diaria puesto que el aflojamiento de las rótulas puede acarrear graves consecuencias relacionadas con la desestabilización de los fragmentos reducidos, a la vez que requiere, para una mayor seguridad en la manipulación, la sedación del paciente.

En nuestra valoración clínica únicamente hemos registrado, por una parte, el aflojamiento individual de las agujas en el momento de retirar el fijador externo y, por otra, el desplazamiento lateral de la totalidad del fijador externo, en los distintos periodos postoperatorios (c.p.o.). Puesto que este último hecho lleva implícito el aflojamiento de todas las agujas, cuando se describa el movimiento lateral del fijador se omitirá por defecto el de sus agujas.

Una vez ya consolidada la osteotomía y, por tanto, en disposición de retirar los fijadores externos, éstos presentaban movimiento en los siguientes casos:

- * Grupo Angulación. Animal nº 11 (c.p.o. 75d).
- * Grupo Flexión. Animales nº 4, 5, 9, 10, 11, 13, 19 y 20 (c.p.o. 75, 60, 90, 75, 75, 75, 60 y 60 días respectivamente).

Por otra parte, se detectó movimiento lateral de los fijadores externos antes de poder proceder a su retirada en los siguientes casos (entre paréntesis se presenta el c.p.o. en el que se detectó el movimiento):

- * Grupo Angulación. Animal nº 11 (c.p.o. 60d).
- * Grupo Flexión. Animales nº 10, 11 y 13 (c.p.o. 60d en todos los casos).

Aprovechando el momento de retirar el fijador externo, se registraron los siguientes casos de desprendimiento de agujas que formaban parte de un fijador sin movimiento lateral (entre paréntesis se cita el nº de animal así como el c.p.o. en el que se retiró el fijador externo):

Grupo Angulación:	Aguja nº 1	(Animal nº 6, c.p.o. 60d);
	Agujas nº 1 y 4	(Animal nº 9, c.p.o. 75d);
	Aguja nº 1	(Animal nº 12, c.p.o. 60d);
	Agujas nº 1 y 4	(Animal nº 13, c.p.o. 75d);
	Aguja nº 1	(Animal nº 19, c.p.o. 60d).
Grupo Flexión:	Aguja nº 1	(Animal nº 3, c.p.o. 45d);
	Agujas nº 1 y 4	(Animal nº 12, c.p.o. 60d);

1.4. OTRAS VALORACIONES

Una vez intervenidos y convenientemente recuperados de la anestesia, los animales empezaron a apoyar a las 24 horas de la intervención, aunque evidentemente de forma insegura. Sin embargo, se prefirió registrar el tiempo que transcurría hasta un apoyo casi normal que permitiese una buena deambulaci3n de los pacientes. En este sentido, el periodo medio de apoyo se centr3 entre los 2 y 5 d3as, sin registrarse diferencias significativas de apoyo inmediato entre los dos grupos puesto que en las fases m3s precoces los animales alternaban el apoyo de ambas extremidades. As3 pues, la recuperaci3n funcional de la extremidad se produjo en la totalidad de los pacientes durante la primera semana despu3 de la intervenci3n quir3rgica.

A lo largo del periodo postoperatorio 3nicamente se registraron aquellos casos que evidenciaban una falta clara y prolongada de apoyo, ya que espor3dicamente algunos animales manifestaban un d3ficit de apoyo que desaparec3a espont3neamente en 24 - 48 horas y que se atribuy3 a la acci3n de peque1os traumatismos sobre el fijador externo que repercut3an en la extremidad intervenida m3s que al propio dise1o del fijador. Los animales que mostraron d3ficits de apoyo se reflejan a continuaci3n:

Grupo Angulaci3n:	animal n3 18	(falta de apoyo durante unos 7 d3as entre el c.p.o. de 15d. y 30d.).
	animal n3 2	(falta de apoyo durante unos 6 d3as entre el c.p.o. de 30d. y 45d.).
Grupo Flexi3n:	animal n3 9	(falta de apoyo durante unos 15 d3as entre el c.p.o. de 60d. y 75d.).
	animal n3 13	(falta de apoyo desde aproximadamente el d3a 70 hasta el 80, retir3ndole los fijadores externos en el c.p.o. 75d.).
	animal n3 19	(falta de apoyo detectada en el c.p.o. 60d., coincidiendo con la retirada del fijador externo y la finalizaci3n de su periodo de supervivencia).

En todos los casos en los que se detect3 un d3ficit de apoyo (ya fuera moment3neo o prolongado), se explor3 la extremidad afectada tanto cl3nicamente, comprob3ndose que no exist3a imposibilidad funcional de apoyo, como radiol3gicamente para descartar posibles modificaciones del fijador externo o del propio foco de fractura.

El tiempo de recuperaci3n funcional completa del paciente, es decir, sin la ayuda del fijador externo, coincid3a pr3cticamente con el tiempo de consolidaci3n radiol3gica de la osteotom3a, por lo que consideramos m3s adecuado presentar dichos resultados en el correspondiente apartado de "Resultados radiol3gicos". Sin embargo, el animal n3 13

(extremidad derecha, grupo flexión), a pesar de retirarle los fijadores externos con la osteotomía consolidada, necesitó 5 días para recuperar por completo el apoyo de la extremidad.

En lo concerniente a la valoración de la calidad final de recuperación funcional, y teniendo en cuenta que de dicha valoración se excluyeron los animales con periodos de supervivencia de 7, 15 y 30 días (en total 8 animales) por presentar un periodo demasiado corto para llevar a cabo una precisa valoración de la recuperación funcional, los resultados fueron los siguientes (se utiliza la clasificación de recuperación funcional descrita por Toombs et al., 1986, tal y como se reflejó en el correspondiente apartado de "Material y métodos", pág. 171):

	ANGULACION	FLEXION
GRADO V	12 animales	12 animales
GRADO IV	2 animales	1 animal
GRADO III	-	1 animal (*)
GRADO II	-	-
GRADO I	-	-

(*) Este animal (nº 19 de la serie) presentaba un déficit de apoyo en la extremidad derecha (fijador tipo flexión) en el último control postoperatorio, coincidiendo con la retirada del fijador y la finalización del periodo de supervivencia, por lo que es posible que su recuperación funcional hubiese mejorado al transcurrir algún tiempo.

En lo referente a otras anotaciones puntuales de carácter clínico cabe destacar que las extremidades derechas de los animales nº 4, 10 y 19 y las izquierdas de los animales nº 2 y 22 presentaron un edema subcutáneo postquirúrgico localizado distalmente a la zona intervenida que se resolvió favorablemente y sin tratamiento en un breve periodo de tiempo (entre 2 y 4 días). En ninguno de esos casos el edema subcutáneo interfirió en el apoyo normal de la extremidad.

V.2. RESULTADOS RADIOLOGICOS

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos en la valoración radiológica del grado de osteolisis y de la reacción perióstica en la interfase aguja-hueso, del tiempo de consolidación "clínica" de las osteotomías y del tamaño del callo formado. Dado que nuestro estudio experimental se basa en la valoración comparativa de la implantación angulada o transversal con flexión de las agujas transfijantes, consideramos especialmente importante el efecto del tipo de implantación sobre el tejido óseo en el que se inserta la aguja. Por ello, creemos necesario tratar detalladamente el apartado correspondiente a la osteolisis periaguja, sin que ello signifique que factores como el tiempo y la calidad de consolidación carezcan de importancia.

2.1. VALORACION DE LA OSTEOLISIS PERIAGUJA

Como ya vimos en el apartado de "Método de valoración radiológica" (pág. 173), la osteolisis periaguja es un factor muy importante a la hora de valorar la viabilidad de la interfase aguja-hueso, mostrándose como un sistema de detección precoz de complicaciones tan importantes como el desprendimiento prematuro de las agujas. Resulta pues imprescindible una correcta cuantificación de los fenómenos osteolíticos que tienen lugar en el tejido óseo donde se asientan las agujas, puesto que cuando el citado desprendimiento prematuro afecta a varias interfaces de un mismo fijador la estabilidad del mismo se ve afectada negativamente, interfiriendo gravemente en la correcta evolución de la consolidación de la fractura u osteotomía.

A continuación se presentan los resultados correspondientes al grado de osteolisis registrado en cada interfase aguja-hueso y según el diseño de fijador externo. Los resultados se presentan inicialmente para cada control postoperatorio (c.p.o.) y finalmente se reflejan de forma global.

2.1.1. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 15d

En el presente apartado se muestran los valores medios de osteolisis y la correspondiente desviación estándar (d.e.) en el c.p.o. de 15d. Dichos valores se presentan de dos formas: individualmente para cada una de las cuatro interfaces y globalmente considerando conjuntamente todas las interfaces del fijador externo. Recordamos que la cuantificación máxima del grado de osteolisis es representada por un valor de 2, tal y como se describe en los apartados "Método de valoración radiológica" (pág.173) y "Método estadístico" (pág. 190).

Resultados por interfase

La tabla V.5 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 15d. El tamaño de muestra por interfase es de $n_i = 19$ en ambos grupos.

Tabla V.5. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (15d).

	Angulación ($n_i = 19$)	Flexión ($n_i = 19$)
interfase n° 1	0,19 \pm 0,25	0,35 \pm 0,43
interfase n° 2	0,11 \pm 0,19	0,22 \pm 0,34
interfase n° 3	0,02 \pm 0,06	0,13 \pm 0,20
interfase n° 4	0,04 \pm 0,09	0,14 \pm 0,20

Resultados globales

Asimismo, se procedió al cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 15 d. procesando la totalidad de los datos de las cuatro interfases de cada uno de los dos grupos. Por lo tanto, en este caso el valor global medio no se obtuvo a partir de los cuatro valores promedio de cada interfase (presentados en la anterior tabla) sino que fue resultado de considerar la totalidad de los valores de las cuatro interfases como un único conjunto. Para comparar si el grado de osteolisis variaba en función del diseño del fijador externo se utilizó la prueba "t" de Student para grupos apareados, puesto que existía una correspondencia directa entre los datos de la extremidad derecha (grupo de flexión) y los de la izquierda (grupo de angulación) del mismo animal. A partir del periodo postoperatorio de 45 días, tuvimos que recurrir a la prueba "t" de Student para grupos independientes puesto que en algunos casos sólo existían datos en una extremidad al haberse retirado ya los fijadores en la contralateral por presentar esta última la ostetomía totalmente consolidada. Seguidamente se presenta el valor medio de osteolisis en el c.p.o. de 15 días.

Valor medio de A15d (angulación 15 días) = 0,09 \pm 0,17 (n=76)

Valor medio de F15d (flexión 15 días) = 0,21 \pm 0,30 (n=76)

valor de t = 4,175

p < 0,001

De ello se deduce que, en el control postoperatorio de 15 días, el grado de osteolisis en el grupo de flexión es significativamente mayor que el del grupo de angulación ($p < 0,001$).

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos las anteriores medias en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, se presenta el porcentaje diferencial acerca del grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Valor medio de A15d (%)	=	4,50 %
Valor medio de F15d (%)	=	10,30 %
Porcentaje diferencial	=	6,00 %

Seguidamente, consideramos de interés el cálculo del correspondiente intervalo de confianza (expresado sobre el porcentaje total de osteolisis) que posibilita la extrapolación de nuestros resultados a la población total. El procedimiento seguido para el cálculo del intervalo de confianza se describe convenientemente en el apartado de "Material y métodos. Método estadístico" (pág. 190). El intervalo de confianza (I.C.) con un 95% de significación para el grado de osteolisis en el c.p.o. de 15d. resultó ser de:

$$\text{I.C. (95\%)} = [3,0\% \text{ a } 9,0\%]$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades, el grado de osteolisis en el control postoperatorio de 15 días será siempre entre un 3 y un 9 por ciento mayor en el grupo de flexión que en el de angulación.

2.1.2. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 30d.

En el presente apartado se muestran los valores medios de osteolisis y su desviación estándar (d.e.) en el c.p.o. de 30d. por interfase y globalmente.

Resultados por interfase

La tabla V.6 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 30d. El tamaño de muestra por interfase es de $n_i = 16$ en ambos grupos.

Tabla V.6. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (30d).

	Angulación (n _i = 16)	Flexión (n _i = 16)
interfase n° 1	0,68 \pm 0,56	0,86 \pm 0,51
interfase n° 2	0,44 \pm 0,48	0,71 \pm 0,60
interfase n° 3	0,24 \pm 0,39	0,30 \pm 0,28
interfase n° 4	0,36 \pm 0,34	0,58 \pm 0,47

Resultados globales

Asimismo, se procedió al cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 30 d. procesando la totalidad de los datos de las interfases de un mismo grupo y considerándolos como un único conjunto. El estudio estadístico de los anteriores valores y su correspondiente extrapolación a la totalidad de la población se llevó a cabo a través de la comparación de medias mediante la prueba "t" de Student para grupos apareados.

Valor medio de A30d (angulación 30 días)	=	0,43 \pm 0,45 (n=64)
Valor medio de F30d (flexión 30 días)	=	0,61 \pm 0,49 (n=64)
valor de t	=	3,204
p	=	0,002

De ello se deduce que, en el control postoperatorio de 30 días, el grado de osteolisis en el grupo de flexión es significativamente mayor que el del grupo de angulación (p=0,002).

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos las anteriores medias en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, se presenta el porcentaje diferencial acerca del grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Valor medio de A30d (%)	=	21,50 %
Valor medio de F30d (%)	=	30,50 %
Porcentaje diferencial 30d	=	9,00 %

A continuación se presenta el intervalo de confianza para el grado de osteolisis en el control postoperatorio de 30 días calculado a partir de los anteriores datos y expresado sobre el porcentaje total de osteolisis máxima.

$$\text{I.C. (95\%)} = [3,0\% \text{ a } 15,0\%]$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades, el grado de osteolisis en el control postoperatorio de 30 días es entre un 3 y un 15 por ciento mayor en el grupo de flexión que en el de angulación.

2.1.3. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 45d.

En el presente apartado se muestran los valores medios de osteolisis y su desviación estándar (d.e.) en el c.p.o. de 45d. por interfase y globalmente.

Resultados por interfase

La tabla V.7 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 45d. El tamaño de la muestra por interfase es de $n_i = 13$ en el grupo de angulación y de $n_i = 14$ en el grupo de flexión, dado que en un animal ($n^\circ 3$ de la serie) se pudo extraer ya el fijador externo en la extremidad izquierda al presentar consolidada la osteotomía.

Tabla V.7. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (45d).

	Angulación ($n_i = 13$)	Flexión ($n_i = 14$)
interfase $n^\circ 1$	0,93 \pm 0,69	1,17 \pm 0,63
interfase $n^\circ 2$	0,55 \pm 0,58	0,98 \pm 0,71
interfase $n^\circ 3$	0,38 \pm 0,46	0,65 \pm 0,62
interfase $n^\circ 4$	0,89 \pm 0,52	1,04 \pm 0,57

Resultados globales

Asimismo, se procedió al cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 45 d. procesando la totalidad de los datos de las interfases de un mismo grupo y considerándolos como un único conjunto. El estudio estadístico de los anteriores valores y su correspondiente extrapolación a la totalidad de la población se llevó a cabo a través de la comparación de medias mediante la prueba "t" de Student para grupos independientes.

Valor medio de A45d (angulación 45 días) = 0,68 ± 0,56 (n= 52)
Valor medio de F45d (flexión 45 días) = 0,96 ± 0,61 (n= 56)

valor de t = 2,244
p = 0,012

De ello se deduce que, en el control postoperatorio de 45 días, el grado de osteolisis en el grupo de flexión es significativamente mayor que el del grupo de angulación (p=0,012).

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos las anteriores medias en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, se presenta el porcentaje diferencial acerca del grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Valor medio de A45d (%) = 34,00 %
Valor medio de F45d (%) = 48,00 %
Porcentaje diferencial 45d = 14,00 %

A continuación se presenta el intervalo de confianza para el control postoperatorio de 30 días, calculado a partir de los anteriores datos y expresado sobre el porcentaje total de osteolisis máxima.

I.C. (95%) = [2,5% a 24,5%]

En conclusión, con un 95% de probabilidades, el grado de osteolisis en el control postoperatorio de 45 días es entre un 2,5 y un 24,5 por ciento mayor en el grupo de flexión que en el de angulación.

2.1.4. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 60d.

En el presente apartado se muestran los valores medios de osteolisis y su desviación estándar (d.e.) en el c.p.o. de 60d. por interfase y globalmente.

Resultados por interfase

La tabla V.8 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 60d. El tamaño de la muestra por interfases es de $n_i = 9$ en el grupo de angulación y de $n_i = 13$ en el grupo de flexión.

Tabla V.8. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (60d).

	Angulación ($n_i = 9$)	Flexión ($n_i = 13$)
interfase nº 1	1,34 \pm 0,64	1,35 \pm 0,66
interfase nº 2	0,89 \pm 0,77	0,99 \pm 0,65
interfase nº 3	0,88 \pm 0,68	0,76 \pm 0,51
interfase nº 4	1,16 \pm 0,66	1,10 \pm 0,64

Resultados globales

Asimismo, se procedió al cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 60 d. procesando la totalidad de los datos de las interfases de un mismo grupo y considerándolos como un único conjunto. El estudio estadístico de los anteriores valores y su correspondiente extrapolación a la totalidad de la población se llevó a cabo a través de la comparación de medias mediante la prueba "t" de Student para grupos independientes.

Valor medio de A60d (angulación 60 días)	=	1,07 \pm 0,69 (n= 36)
Valor medio de F60d (flexión 60 días)	=	1,05 \pm 0,64 (n= 52)
valor de t	=	0,119
p	>	0,05

De ello se deduce que no existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al grado de osteolisis entre el grupo de flexión y el de angulación en el control postoperatorio de 60 días ($p > 0,05$).

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos las anteriores medias en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, se presenta el porcentaje diferencial acerca del grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Valor medio de A60d (%)	=	53,50 %
Valor medio de F60d (%)	=	52,50 %
Porcentaje diferencial 60d	=	-1,00 %

A partir del presente c.p.o., se desestimó el cálculo del intervalo de confianza, dada la no significación de los resultados estadísticos.

2.1.5. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 75d.

En el presente apartado se muestran los valores medios de osteolisis y su desviación estándar (d.e.) en el c.p.o. de 75d. por interfase y globalmente.

Resultados por interfase

La tabla V.9 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 75d. El tamaño de la muestra por interfase es de $n_1 = 3$ para el grupo de angulación y de $n_2 = 6$ en el de flexión.

Tabla V.9. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (75d).

	Angulación ($n_1 = 3$)	Flexión ($n_2 = 6$)
interfase n° 1	1,82 \pm 0,26	1,85 \pm 0,44
interfase n° 2	1,57 \pm 0,26	1,50 \pm 0,43
interfase n° 3	1,44 \pm 0,44	1,63 \pm 0,13
interfase n° 4	1,82 \pm 0,26	1,67 \pm 0,38

Resultados globales

Asimismo, se procedió al cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 75d. procesando la totalidad de los datos de las interfases de un mismo grupo y considerándolos como un único conjunto.

El estudio estadístico de los anteriores valores y su correspondiente extrapolación a la totalidad de la población se llevó a cabo a través de la comparación de medias mediante la prueba "t" de Student para grupos independientes.

Valor medio de A75d (angulación 75 días)	=	1,66 ± 0,30 (n= 12)
Valor medio de F75d (flexión 75 días)	=	1,66 ± 0,34 (n= 24)
valor de t	=	0,014
p	>	0,05

De ello se deduce que no existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al grado de osteolisis entre el grupo de flexión y el de angulación en el control postoperatorio de 75 días ($p > 0,05$).

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos las anteriores medias en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, se presenta el porcentaje diferencial acerca del grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación.

Valor medio de A75d (%)	=	83,00 %
Valor medio de F75d (%)	=	83,00 %
Porcentaje diferencial 75d	=	0,00 %

2.1.6. Valoración del grado de osteolisis en el c.p.o. de 90d.

Evidentemente, a los tres meses de intervención la totalidad de las osteotomías de ambos grupos se mostraban consolidadas a excepción de una extremidad del grupo de flexión (animal nº 9). Por lo tanto, la presentación de los datos del presente c.p.o. tiene el único

interés de completar la serie de anotaciones sin pretender realizar ninguna valoración estadística dado el ínfimo tamaño de la muestra ($n_i = 1$).

Resultados por interfase

La tabla V.10 muestra el valor medio de osteolisis y la correspondiente desviación estándar por interfase y para cada uno de los dos grupos en el c.p.o. de 90d.

Tabla V.10. Grado medio de osteolisis \pm d.e. por interfase (90d).

	Angulación ($n_i = 0$)	Flexión ($n_i = 1$)
interfase n° 1	-	1,75
interfase n° 2	-	1,50
interfase n° 3	-	1,50
interfase n° 4	-	1,50

Resultados globales

El cálculo del valor global medio de osteolisis para el c.p.o. de 90d. procesando los cuatro registros de las interfases del grupo de flexión resultó ser de:

Valor medio de A90d (angulación 90 días) = - ($n = 0$)
 Valor medio de F90d (flexión 90 días) = 1,56 \pm 0,11 ($n = 4$)

Para una mayor facilidad de comprensión, presentamos la anterior media en forma porcentual, considerando como 100 el máximo valor establecido en el patrón de valoración radiológica (es decir, un valor de 2).

Valor medio de F90d (%) = 78,00 %

2.1.7. Recopilación de los valores medios de osteolisis por interfase en cada c.p.o.

Las tablas V.11A y V.11B reflejan los resultados correspondientes al grado de osteolisis medio \pm d.e. para cada una de las cuatro interfases, en cada control postoperatorio y para cada tipo de fijador, recopilando los datos presentados en los anteriores apartados facilitando así su interpretación secuencial. La última columna refleja el tamaño de muestra por control postoperatorio (n_{cpo}).

Tabla V.11A. Grado de osteolisis por c.p.o. Grupo angulación.

	Grado de osteolisis media \pm d.e.				Tamaño muestra (n_{cpo})
	interfase n° 1	interfase n° 2	interfase n° 3	interfase n° 4	
C.P.O. 15d	0,19 \pm 0,25	0,11 \pm 0,19	0,02 \pm 0,06	0,04 \pm 0,09	n= 76
C.P.O. 30d	0,68 \pm 0,56	0,44 \pm 0,48	0,24 \pm 0,39	0,36 \pm 0,34	n= 64
C.P.O. 45d	0,93 \pm 0,69	0,55 \pm 0,58	0,38 \pm 0,46	0,89 \pm 0,52	n= 52
C.P.O. 60d	1,34 \pm 0,64	0,89 \pm 0,77	0,88 \pm 0,68	1,16 \pm 0,66	n= 36
C.P.O. 75d	1,82 \pm 0,26	1,57 \pm 0,26	1,44 \pm 0,44	1,82 \pm 0,26	n= 12
C.P.O. 90d	-	-	-	-	n= 0

Tabla V.11B. Grado de osteolisis por c.p.o. Grupo flexión.

	Grado de osteolisis media \pm d.e.				Tamaño muestra (n_{cpo})
	interfase n° 1	interfase n° 2	interfase n° 3	interfase n° 4	
C.P.O. 15d	0,35 \pm 0,43	0,22 \pm 0,34	0,13 \pm 0,20	0,14 \pm 0,20	n= 76
C.P.O. 30d	0,86 \pm 0,51	0,71 \pm 0,60	0,30 \pm 0,28	0,58 \pm 0,47	n= 64
C.P.O. 45d	1,17 \pm 0,63	0,98 \pm 0,71	0,65 \pm 0,62	1,04 \pm 0,57	n= 56
C.P.O. 60d	1,35 \pm 0,66	0,99 \pm 0,65	0,76 \pm 0,51	1,10 \pm 0,64	n= 52
C.P.O. 75d	1,85 \pm 0,44	1,50 \pm 0,43	1,63 \pm 0,13	1,67 \pm 0,38	n= 24
C.P.O. 90d	1,75 \pm 0,00 ¹	1,50 \pm 0,00	1,50 \pm 0,00	1,50 \pm 0,00	n= 4

2.1.8. Recopilación de los valores medios de osteolisis por c.p.o. a lo largo de todo el periodo postoperatorio

La tabla V.12 presenta los valores medios de osteolisis por c.p.o. calculados a partir de las medias reflejadas en las tablas V.11A y V.11B (y no a partir del conjunto de valores por interfase y c.p.o. cuyo resultado ya se ha reflejado en los apartados 2.1.1. al 2.1.6.). Por lo tanto, el tamaño de muestra por c.p.o. es de $n_{cpo}=4$ para ambos grupos y el del valor medio total (V.M.T.) es de $n_T=20$ (grupo angulación) y $n_T=24$ (grupo flexión). Por otra parte, en las casillas sombreadas se representan los valores porcentuales de cada interfase considerando 100% el grado máximo de osteolisis reflejado en el patrón de valoración radiológica (es decir, 2).

Tabla V.12. Grado de osteolisis medio de las cuatro interfaces en los distintos c.p.o.

	ANGULACION		FLEXION	
	Media \pm d.e.	(%)	Media \pm d.e.	(%)
C.P.O. 15d	0,09 \pm 0,08	4,5 \pm 3,5	0,21 \pm 0,10	10,5 \pm 5,0
C.P.O. 30d	0,43 \pm 0,19	21,5 \pm 9,5	0,61 \pm 0,24	30,5 \pm 12,0
C.P.O. 45d	0,69 \pm 0,27	34,0 \pm 13,5	0,96 \pm 0,22	48,0 \pm 11,0
C.P.O. 60d	1,07 \pm 0,22	53,5 \pm 11,0	1,05 \pm 0,25	52,5 \pm 12,5
C.P.O. 75d	1,66 \pm 0,19	83,0 \pm 9,5	1,66 \pm 0,14	83,0 \pm 7,0
C.P.O. 90d	-	-	1,56 \pm 0,13	78,0 \pm 6,5*
V. M. T.	0,79 \pm 0,58	39,50 \pm 29,00	1,01 \pm 0,54	50,50 \pm 27,00

* Valor correspondiente al único animal en el que permanecían implantados los fijadores externos a los 90 días.

Dado que el valor reflejado en el c.p.o. de 90 días (grupo flexión) no corresponde a un valor medio entre distintos animales sino que corresponde a un único animal y que la eliminación de dicho valor modifica sensiblemente el resultado final, hemos considerado interesante recalcular el V.M.T. obviando la citada anotación. Así pues, el valor medio total modificado (V.M.T. ') de osteolisis en el grupo de flexión sin considerar el c.p.o. de 90 días es de:

$$\begin{aligned}
 \text{V.M.T.}' &= 0,90 \pm 0,53 \\
 \text{V.M.T.}'(\%) &= 45,00 \pm 26,50 \\
 \% \text{ diferencial } F > A &= + 5,5 \%
 \end{aligned}$$

En la tabla V.13 se presentan secuencialmente las diferencias porcentuales de osteolisis del grupo de flexión respecto al de angulación (% F > A) obtenidas en nuestra prueba así como el intervalo de confianza para la población total (expresado en % sobre el valor máximo del patrón y con una probabilidad del 95%) obtenido estadísticamente para cada control postoperatorio (v. apartados del 2.1.1. al 2.1.6.).

Tabla V.13. Porcentajes diferenciales de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación. Intervalos de confianza (95%).

	% ost. Grupo F. resp. A.	Intervalo de confianza (95%)
C.P.O. 15d	+ 6,00 %	3,0% a 9,0%
C.P.O. 30d	+ 9,00 %	3,0% a 15,0%
C.P.O. 45d	+ 14,00 %	2,5% a 24,5%
C.P.O. 60d	- 1,00 %	n.s.*
C.P.O. 75d	+ 0,00 %	n.s.

* No significativo

2.1.9. Recopilación de los valores medios de osteolisis por diseño de fijador y por interfase aguja-hueso

A continuación se presentan los resultados correspondientes al grado de osteolisis acumulado en cada interfase aguja-hueso a lo largo de todo el periodo postoperatorio (tabla V.14). Dichos resultados se han calculado a partir de los valores medios por interfase de cada control postoperatorio (tablas V.11A y V.11B) y no considerando la totalidad de las anotaciones por interfase de cada individuo y a lo largo de todo el estudio. Ello es debido a la gran dispersión de valores que resultaría en la muestra final y al distinto significado clínico que representa un determinado grado de osteolisis a los 15 días de postoperatorio o en el momento de retirar los fijadores externos por estar consolidada la osteotomía. Por este motivo, el tamaño de muestra para cada interfase es de $n_i=5$ para el grupo de angulación y $n_i=6$ para el de flexión (correspondiendo a los valores medios por interfase registrados en los c.p.o. de 15, 30, 45, 60, 75 y 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días respectivamente). El valor medio total (V.M.T.) también se ha calculado a partir de los valores medios por interfase y c.p.o. reflejados en las tablas V.11A y V.11B (y no a partir de las medias totales reflejadas en la propia tabla V.14) lo que representa un tamaño de muestra total de $n_T=20$ para el grupo de angulación y de $n_T=24$ para el de flexión. Las columnas sombreadas reflejan los mismos valores aunque expresándolos en forma de porcentaje sobre el grado máximo de osteolisis

establecido en la valoración radiológica (es decir, un valor de 2). Finalmente, la última columna muestra el porcentaje diferencial entre el grado de osteolisis del grupo de flexión con respecto al de angulación (% F > A).

Tabla V.14. Grado de osteolisis global por interfase.

	ANGULACION Media ± d.e. (n _i = 5)		FLEXION Media ± d.e. (n _i = 6)		Porcentaje Diferencial % F > A
	Valor Abs.	%	Valor Abs.	%	
Interfase n° 1	0,99 ± 0,62	49,5 ± 31,0	1,22 ± 0,56	61,0 ± 28,0	+ 11,5 %
Interfase n° 2	0,71 ± 0,56	34,5 ± 28,0	0,98 ± 0,49	49,0 ± 24,5	+ 14,5 %
Interfase n° 3	0,59 ± 0,57	29,5 ± 28,5	0,83 ± 0,62	41,5 ± 31,0	+ 12,0 %
Interfase n° 4	0,85 ± 0,70	42,5 ± 35,0	1,01 ± 0,57	50,5 ± 28,5	+ 8,0 %
V. M. T.	0,79 ± 0,58	39,5 ± 29,0	1,01 ± 0,54	50,5 ± 27,0	+ 11,0 %

Sin embargo, y debido al hecho que los valores del único animal en el que permanecían implantados los fijadores externos a los 90 días (grupo flexión) incrementan de forma considerable las diferencias existentes entre los dos grupos, hemos considerado adecuado reflejar los anteriores datos obviando los valores pertenecientes al citado animal en ese periodo postoperatorio. Los resultados obtenidos considerando dicha modificación se presentan en la tabla V.14bis, siendo el tamaño de muestra por interfase de n_i=5 en ambos grupos y el tamaño de muestra del valor medio total (V.M.T.) de n_T=20.

Tabla V.14bis. Grado de osteolisis global por interfase.

	ANGULACION Media ± d.e. (n _i = 5)		FLEXION Media ± d.e. (n _i = 5)		Porcentaje Diferencial % F > A
	Valor Abs.	%	Valor Abs.	%	
Interfase n° 1	0,99 ± 0,62	49,5 ± 31,0	1,12 ± 0,56	56,0 ± 28,0	+ 6,5 %
Interfase n° 2	0,71 ± 0,56	34,5 ± 28,0	0,88 ± 0,47	43,5 ± 23,5	+ 9,0 %
Interfase n° 3	0,59 ± 0,57	29,5 ± 28,5	0,69 ± 0,58	34,5 ± 29,0	+ 5,0 %
Interfase n° 4	0,85 ± 0,70	42,5 ± 35,0	0,91 ± 0,58	45,5 ± 29,0	+ 3,0 %
V.M.T.	0,79 ± 0,58	39,5 ± 29,0	0,90 ± 0,53	45,0 ± 26,5	+ 5,5 %

A continuación (tabla V.15) se muestran los resultados correspondientes a la distribución porcentual de la osteolisis total de un grupo entre las cuatro interfases del mismo grupo. Los resultados reflejados entre paréntesis en el grupo de flexión han sido calculados a partir de los datos de la tabla V.14bis, mientras que los restantes lo han sido a partir de los valores de la tabla V.14.

Tabla V.15. Distribución de la osteolisis total de cada grupo entre las cuatro interfases del propio grupo.

	ANGULACION	FLEXION
Interfase nº 1	31,73 %	31,20 (30,20) %
Interfase nº 2	22,12 %	24,23 (24,26) %
Interfase nº 3	18,91 %	19,22 (20,54) %
Interfase nº 4	27,24 %	25,35 (25,00) %

2.1.10. Estudio estadístico global de la osteolisis periaguja a lo largo de todo el periodo postoperatorio

A partir de los datos obtenidos en la valoración de la osteolisis a lo largo de todo el periodo postoperatorio (Tablas V.11A y V.11B), se llevó a cabo el correspondiente estudio estadístico para la extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población, utilizando para ello la comparación de las medias mediante la prueba "t" de Student para datos apareados. Para conseguir un conjunto con parejas de datos comparables, tuvo que obviarse la valoración de la osteolisis en el c.p.o. de 90 días (grupo de flexión) puesto que no existen datos correspondientes en el grupo de angulación al no permanecer implantado ya ningún fijador externo de este grupo en ese momento.

Los resultados obtenidos en la valoración estadística de la osteolisis periaguja se presentan a continuación:

Valor medio de osteolisis:

grupo de angulación	= 0,79 ± 0,58 (n=20)
grupo de flexión	= 0,90 ± 0,53 (n=20)
valor de t	= - 3,44
p	= 0,003

De ello se deduce que la osteolisis periaguja en el grupo de flexión es significativamente mayor que la del grupo de angulación (p=0,003).

Seguidamente se presenta el intervalo de confianza (I.C.) calculado a partir de los anteriores datos y expresado sobre el porcentaje total de osteolisis máxima.

$$\text{I.C. (95\%)} = [2,0\% \text{ a } 9,0\%]$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades la osteolisis periaguja es entre un 2 y un 9 por ciento mayor en el grupo de flexión que en el de angulación.

2.2. VALORACION DE LA CONSOLIDACION DE LA OSTEOTOMIA

2.2.1. Valoración de los tiempos de consolidación entre las osteotomías de los dos grupos

La tabla V.16 muestra los resultados correspondientes a los tiempos de consolidación de las osteotomías registrados en la hoja de valoración radiológica. La tabla refleja para cada animal de nuestra serie el tiempo transcurrido hasta la consolidación de las correspondientes osteotomías tanto en el grupo de angulación (extremidad izquierda) como en el de flexión (extremidad derecha). Las casillas sombreadas corresponden al grupo de animales con periodos de supervivencia más cortos (7, 15 y 30 días), motivo por el cual no se incluyen en la valoración del grado de consolidación de la fractura.

Tabla V.16. Tiempos de consolidación de las osteotomías por animal y tipo de fijador externo.

	Nº de Animal										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Angulación	45	45	30	60	45	60	-	-	75	60	75
Flexión	60	60	45	75	60	60	-	-	90	75	75

	Nº de Animal											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Angulación	60	75	45	-	-	-	-	60	60	-	-	
Flexión	75	75	60	-	-	-	-	60	60	-	-	

2.2.2. Valoración comparativa entre los tiempos de consolidación de las osteotomías en el mismo paciente

La tabla V.17 muestra el n° de individuos en los que el tiempo invertido para la consolidación de la osteotomía de la extremidad izquierda (angulación) con respecto a la de la extremidad derecha (flexión) resultó ser el mismo ($t A = F$) o bien consolidó en un menor espacio de tiempo¹ ($t A < F$). Asimismo, ningún animal de nuestra serie presentó consolidada la osteotomía de la extremidad izquierda más tardíamente que la de la extremidad derecha.

Tabla V.17. Comparación entre los tiempos de consolidación de las osteotomías en el mismo individuo.

t. de consolidación	n° de animales
$t A < F$	9 animales
$t A = F$	5 animales
$t A > F$	0 animales

2.2.3. Valoración de los tiempos de consolidación según los distintos periodos postoperatorios

La tabla V.18 (pág. siguiente) refleja los resultados registrados en nuestro estudio referentes a los tiempos de consolidación de las distintas osteotomías.

La primera columna muestra el número de animales y el c.p.o. en el que se registró la consolidación de la osteotomía. La primera columna de casillas sombreadas refleja el porcentaje de animales que en ese c.p.o. se ha registrado la consolidación de la osteotomía con respecto al número total de animales. Por último, en la segunda columna de casillas sombreadas se presenta el porcentaje acumulado (% Ac.) de consolidación en ese determinado c.p.o., es decir, el porcentaje de animales en los que se ha registrado la consolidación de la osteotomía en ese c.p.o. más el porcentaje de animales con osteotomías ya consolidadas en anteriores c.p.o.

1

La consideración de un tiempo igual o menor se refiere respectivamente, al registro de la consolidación de la osteotomía en el mismo c.p.o. o en un c.p.o. previo.

Tabla V.18. Número de animales en los que se ha registrado la consolidación de la osteotomía en los distintos c.p.o. Porcentaje por c.p.o. (%) y porcentaje acumulado (% Ac.)

	Angulación			Flexión		
	nº anim.	%	% Ac.	nº anim.	%	% Ac.
C.P.O. 30 d.	1	7,14 %	7,14 %	-	0 %	0 %
C.P.O. 45 d.	4	28,57 %	35,71 %	1	7,14 %	7,14 %
C.P.O. 60 d.	6	42,86 %	78,57 %	7	50,00 %	57,14 %
C.P.O. 75 d.	3	21,43 %	100,00 %	5	35,72 %	92,86 %
C.P.O. 90 d.	-	0 %	100,00 %	1	7,14 %	100,00 %

Asimismo, los tiempos medios de consolidación en cada grupo, deducidos a partir de los mismos resultados anteriores son:

ANGULACION: 56,79 ± 12,90 días

FLEXION: 66,43 ± 10,93 días

Diferencial: 9,64 días

Los anteriores resultados han sido contrastados estadísticamente mediante una prueba de comparación de proporciones para grupos apareados (v. Método estadístico, pág. 190) obteniéndose como resultado que el tiempo necesario para que se produzca la consolidación de la osteotomía en el grupo de flexión es significativamente mayor que el del grupo de angulación ($p=0,003$).

Para la extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población se procedió al cálculo del correspondiente intervalo de confianza (I.C.).

$$\text{I.C. (95\%)} = [0,21 \text{ a } 0,64].$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades, entre un 21 y un 64 por ciento más de las osteotomías se consolidarán antes con el sistema de angulación que con el de flexión.

2.3. OTRAS VALORACIONES

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos en las restantes valoraciones de la exploración radiográfica aunque resulten de menor trascendencia en la evaluación global del estudio en comparación con las valoraciones ya revisadas.

2.3.1. Valoración del tamaño del callo de fractura

A continuación se muestran los resultados referentes a la valoración radiológica del tamaño del callo de fractura según el patrón descrito en el "Método de valoración radiológica" correspondiente al apartado de "Material y Métodos" (pág.173). Debido al hecho que el tamaño del callo de fractura va decreciendo una vez consolidada la fractura mediante un proceso de remodelación ósea, en la tabla V.19 únicamente se registran los valores del callo hasta la consolidación de la osteotomía ya que la inclusión de todos los valores interferiría en la interpretación de los resultados (p.ej. al incluir en el mismo conjunto de datos un callo de pequeño tamaño por encontrarse en avanzado estado de remodelación con un callo de igual tamaño pero con la osteotomía aún no consolidada). En esta ocasión no podemos reflejar el valor porcentual puesto que la valoración del tamaño del callo de fractura no se lleva a cabo a partir de una escala de valores preestablecida (con un valor máximo y mínimo) sino que se evalúa de forma comparativa con una referencia objetiva como es el grosor de la sustancia compacta (cortical) en la zona diafisaria osteotomizada. Finalmente se presenta el valor medio total (V.M.T.) del tamaño del callo para cada uno de los dos grupos obtenido a partir de las medias por c.p.o.

Tabla V.19. Tamaño del callo de fractura por c.p.o.

	ANGULACION		FLEXION	
	Media ± d.e.	(n)	Media ± d.e.	(n)
C.P.O. 15d.	0,17 ± 0,24	n= 19	0,08 ± 0,19	n= 19
C.P.O. 30d.	0,71 ± 0,32	n= 16	0,38 ± 0,36	n= 16
C.P.O. 45d.	1,21 ± 0,43	n= 13	0,84 ± 0,37	n= 14
C.P.O. 60d.	1,45 ± 0,37	n= 9	1,54 ± 0,38	n= 13
C.P.O. 75d.	1,34 ± 0,24	n= 3	1,50 ± 0,29	n= 6
C.P.O. 90d.	-	-	1,50 ± 0,00 ¹	n= 1
V.M.T.	0,98 ± 0,48	n= 60	0,97 ± 0,58	n= 69

¹ Datos pertenecientes al único animal en el que se registró la consolidación de la osteotomía en el c.p.o. de 90 días.

El estudio estadístico del tamaño del callo de fractura no se ha llevado a cabo debido a la evidente similitud entre los valores medios totales de ambos grupos.

2.3.2. Valoración de la reacción perióstica en las interfases aguja-hueso

A continuación (tabla V.20) se muestran los resultados referentes a la valoración radiológica de la reacción perióstica en la interfase aguja-hueso, según el patrón descrito en el "Método de valoración radiológica" correspondiente al apartado de "Material y Métodos" (pág. 173).

A pesar de poder realizar el estudio de la reacción perióstica en la interfase aguja-hueso tan detallado como el efectuado anteriormente para la osteolisis en la misma interfase, consideramos innecesario llevarlo a cabo debido a que, según nuestra opinión, se trata de un parámetro de menor trascendencia en la valoración final de los resultados en comparación con la influencia que puede representar la osteolisis periaguja. Por este motivo, únicamente presentaremos los valores medios finales obtenidos tanto para cada interfase como para cada control postoperatorio. Finalmente, se muestra el valor medio total (V.M.T.) de reacción perióstica para cada uno de los dos grupos. En esta ocasión tampoco reflejamos el valor porcentual puesto que la valoración de la reacción perióstica no se lleva a cabo a partir de una escala de valores preestablecida (con un valor máximo y mínimo) sino que se evalúa de forma comparativa con una referencia objetiva como es el grosor de la sustancia compacta (cortical) de la misma zona. Por lo tanto, una reacción perióstica de valor uno significaría la presencia en una interfase aguja-hueso, de una reacción perióstica de grosor igual al de la cortical ósea en esa misma interfase.

El cálculo de los siguientes resultados se ha llevado a cabo de forma paralela a la descrita en el apartado 2.1.8. del presente capítulo, es decir, a partir de las medias individuales de cada interfase y para cada c.p.o. en el que permanecía implantado el fijador externo.

Por lo tanto, el tamaño de muestra por interfase es de $n_i=5$ y $n_i=6$ para los grupos de angulación y flexión respectivamente, el tamaño de muestra por c.p.o. es de $n_{c.p.o.}=4$ para ambos grupos y el tamaño de muestra del valor medio total es de $n_T=20$ y de $n_T=24$ para los grupos de angulación y flexión respectivamente.

Asimismo, y dada la influencia que ejerce sobre el resultado final la inclusión del valor registrado en el c.p.o. de 90 días (valor obtenido a partir de los datos de un único animal y no procedente como en los restantes casos de promediar valores de varios animales) la última columna de la tabla V.20 refleja las medias obtenidas obviando ese dato.

En este caso, el tamaño de muestra por interfase en el grupo de angulación es de $n_i=5$ y el del nuevo valor medio total (V.M.T.) de $n_T=20$.

Tabla V.20. Valoración de la reacción perióstica por interfase

	ANGULACION	FLEXION	
	Media \pm d.e.	Media \pm d.e.	
	(n _i =5)	(n _i =6)	(n _i =5)
Interfase n° 1	0,78 \pm 0,33	0,86 \pm 0,44	0,71 \pm 0,33
Interfase n° 2	0,94 \pm 0,37	1,03 \pm 0,33	0,97 \pm 0,36
Interfase n° 3	0,84 \pm 0,32	1,04 \pm 0,34	1,02 \pm 0,41
Interfase n° 4	0,94 \pm 0,57	0,89 \pm 0,43	0,74 \pm 0,34
V.M.T. (V.M.T.')	0,87 \pm 0,38	0,96 \pm 0,40	0,86 \pm 0,36

Por otra parte, la tabla V.21 muestra la valoración de la reacción perióstica en ambos grupos y en cada control postoperatorio.

Tabla V.21. Valoración de la reacción perióstica por c.p.o.

	ANGULACION	FLEXION
	Media \pm d.e. (n _{cpo} =4)	Media \pm d.e. (n _{cpo} =4)
C.P.O. 15d.	0,27 \pm 0,11	0,31 \pm 0,10
C.P.O. 30d.	0,76 \pm 0,12	0,72 \pm 0,17
C.P.O. 45d.	0,97 \pm 0,10	1,00 \pm 0,21
C.P.O. 60d.	1,14 \pm 0,19	1,07 \pm 0,16
C.P.O. 75d.	1,22 \pm 0,26	1,20 \pm 0,20
C.P.O. 90d.	-	(1,44 \pm 0,24) ¹
V. M. T.	0,87 \pm 0,37	0,86 \pm 0,35

¹ Datos pertenecientes al único animal que presentaba fijadores externos en el c.p.o. de 90 días y obviados para el cálculo del V.T.M.

2.3.3. Valoración del grado de desplazamiento interfragmentario.

La cuantificación del desplazamiento interfragmentario se ha llevado a cabo siguiendo el patrón descrito en el "Método de valoración radiológica" (pág. 173 y 178) correspondiente al apartado de "Material y Métodos". Los datos reflejados en cada casilla se obtienen de la

media entre la imagen radiográfica látero-lateral y la antero-posterior. Teniendo en cuenta que la reducción postoperatoria no siempre es perfecta y que nos interesa evaluar si el diseño del fijador externo influye sobre el posible desplazamiento de los fragmentos fracturados, la valoración del citado desplazamiento se ha realizado sobre la imagen radiográfica del último c.p.o. tomando como referencia la radiografía postoperatoria inmediata.

Tabla V.21. Valoración del grado de desplazamiento interfragmentario.

	N° de Animal																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ang.	0	0,5	0	0	0,5	1	0	0,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0	1	0	0,5	0
Flex.	0	0,5	0	0	0	1	0	0,5	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	1	0	0,5	0

El análisis estadístico de los anteriores datos se ha llevado a cabo mediante la prueba "t" de Student para datos apareados. A continuación se presentan los valores medios de desplazamiento interfragmentario para cada grupo:

$$\text{ANGULACION} = 0,25 \pm 0,37 \quad (n = 22)$$

$$\text{FLEXION} = 0,20 \pm 0,33 \quad (n = 22)$$

$$\text{valor de t} = 1$$

$$p > 0,05$$

En conclusión, no se han observado diferencias estadísticamente significativas en cuanto al grado de desplazamiento interfragmentario entre el grupo de angulación y el de flexión.

2.4. ANEXO IMAGENES RADIOGRAFICAS

A continuación se presentan algunas imágenes radiográficas de nuestro estudio. Debido al interés del estudio comparativo (imágenes radiográficas e imágenes gammagráficas) de las fases de consolidación fracturaria, la presentación de la proyección radiográfica medio-lateral o antero-posterior dependerá de en cuál de las dos se observan signos más evidentes de cicatrización ósea.

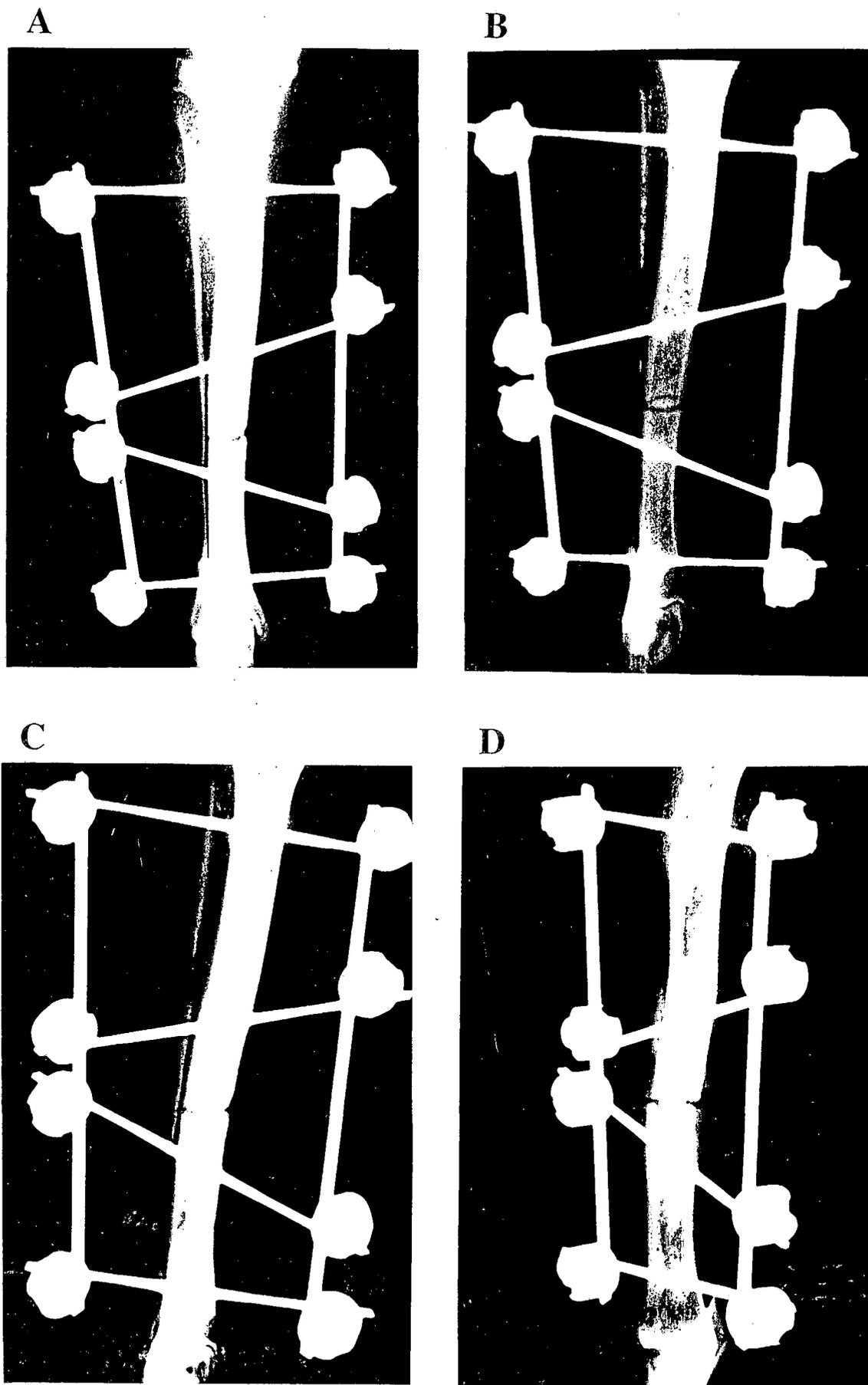


Fig. V.1. Serie radiográfica del animal nº 8, extremidad intervenida con el fijador tipo angulación. A. C.p.o. de 7 días. B. C.p.o. de 14 días. C. C.p.o. de 21 días. D. C.p.o. de 30 días.

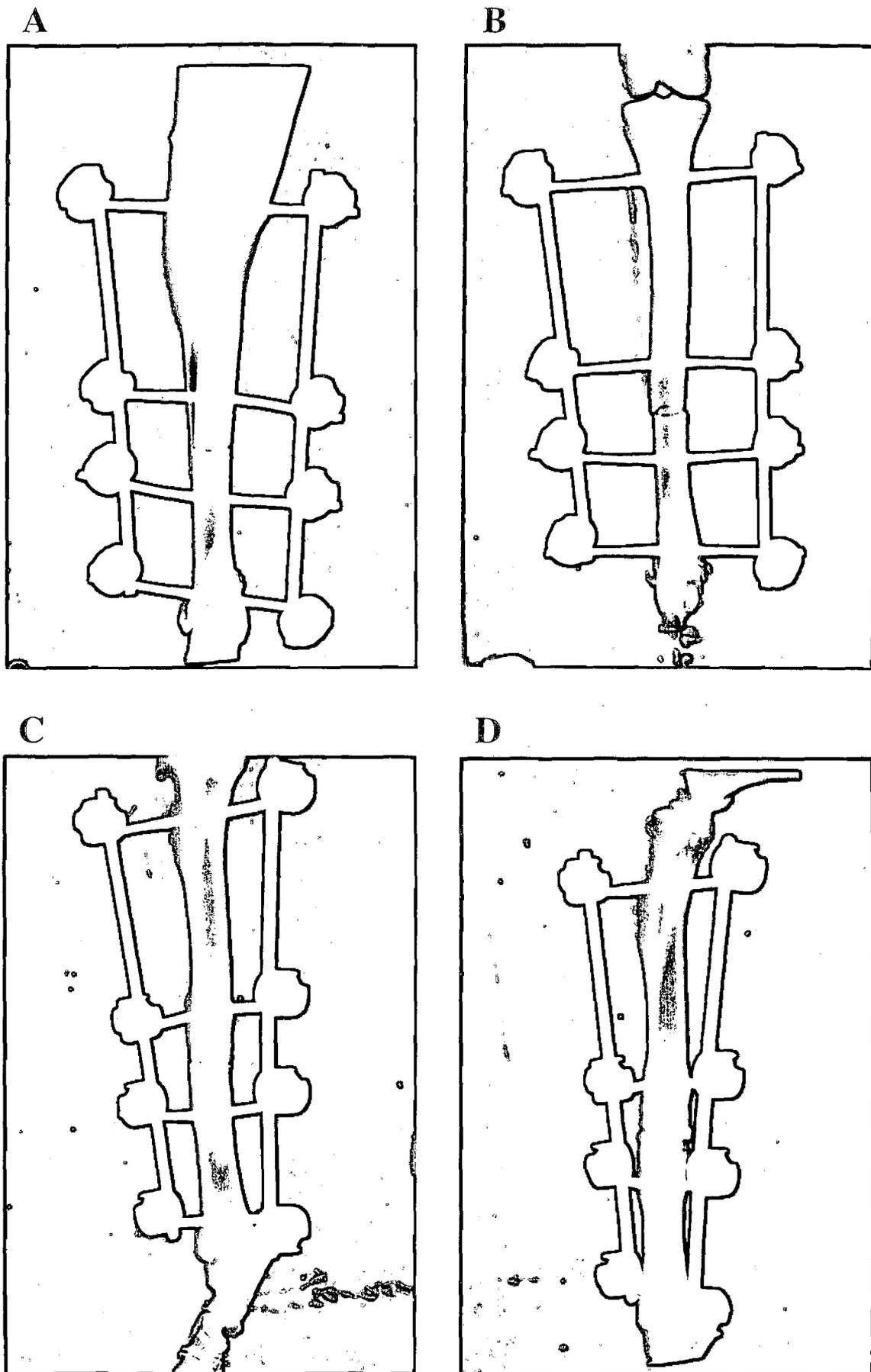


Fig. V.2. Serie radiográfica del animal nº 8, extremidad intervenida con el fijador tipo flexión A. C.p.o. de 7 días. B. C.p.o. de 14 días. C. C.p.o. de 21 días. D. C.p.o. de 30 días.

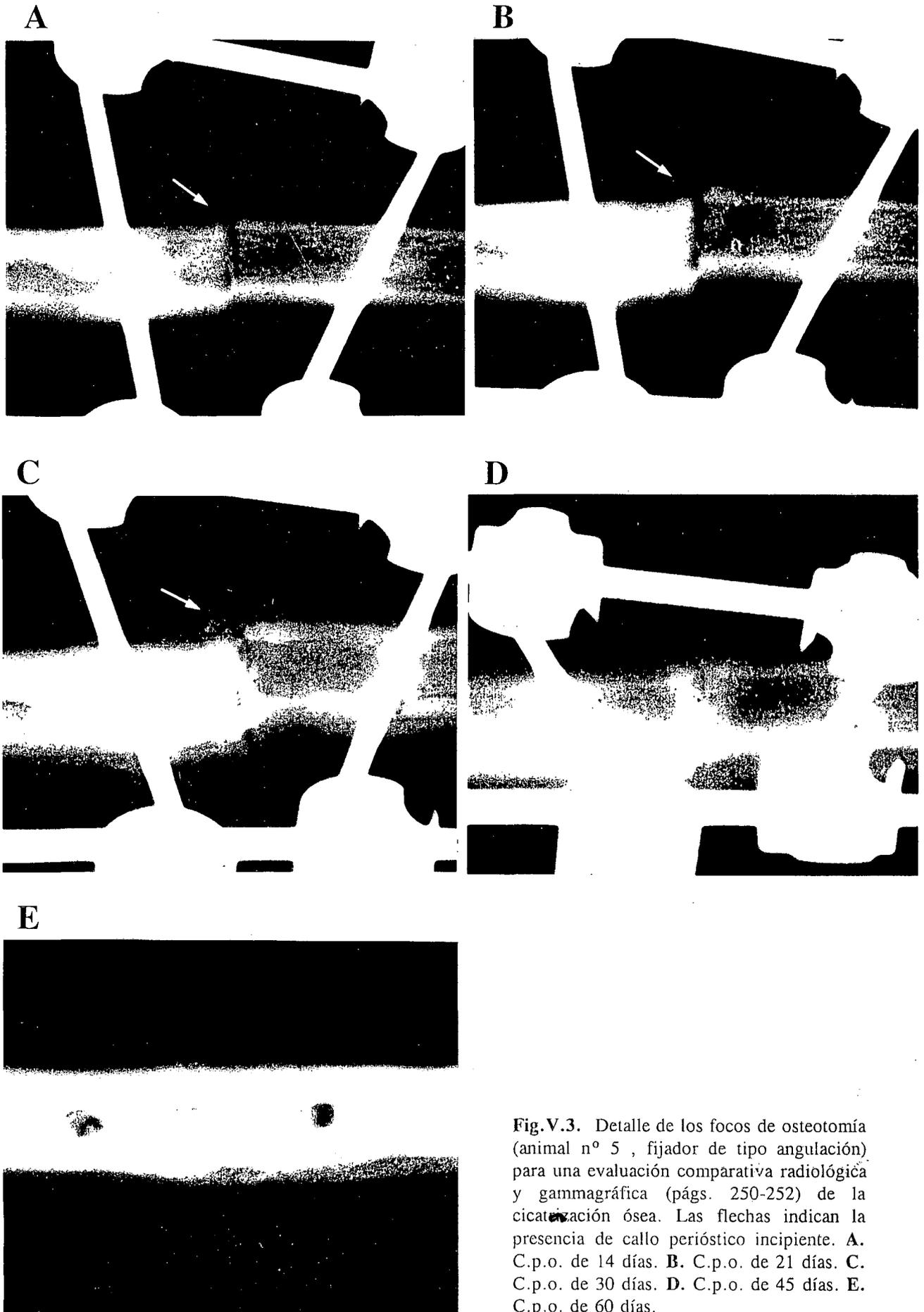


Fig.V.3. Detalle de los focos de osteotomía (animal nº 5 , fijador de tipo angulación) para una evaluación comparativa radiológica y gammagráfica (págs. 250-252) de la cicatrización ósea. Las flechas indican la presencia de callo perióstico incipiente. A. C.p.o. de 14 días. B. C.p.o. de 21 días. C. C.p.o. de 30 días. D. C.p.o. de 45 días. E. C.p.o. de 60 días.

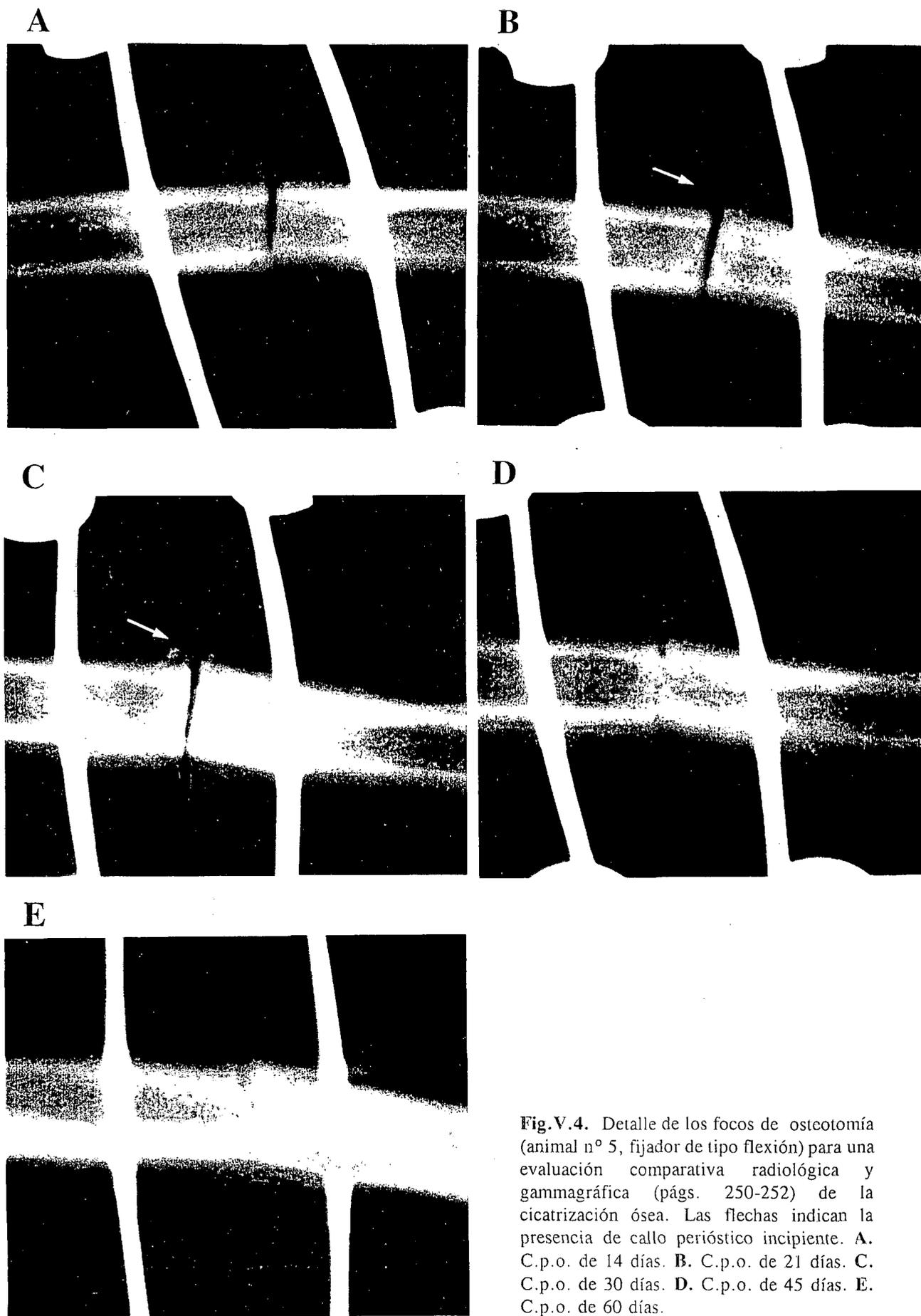


Fig.V.4. Detalle de los focos de osteotomía (animal nº 5, fijador de tipo flexión) para una evaluación comparativa radiológica y gammagráfica (págs. 250-252) de la cicatrización ósea. Las flechas indican la presencia de callo perióstico incipiente. **A.** C.p.o. de 14 días. **B.** C.p.o. de 21 días. **C.** C.p.o. de 30 días. **D.** C.p.o. de 45 días. **E.** C.p.o. de 60 días.

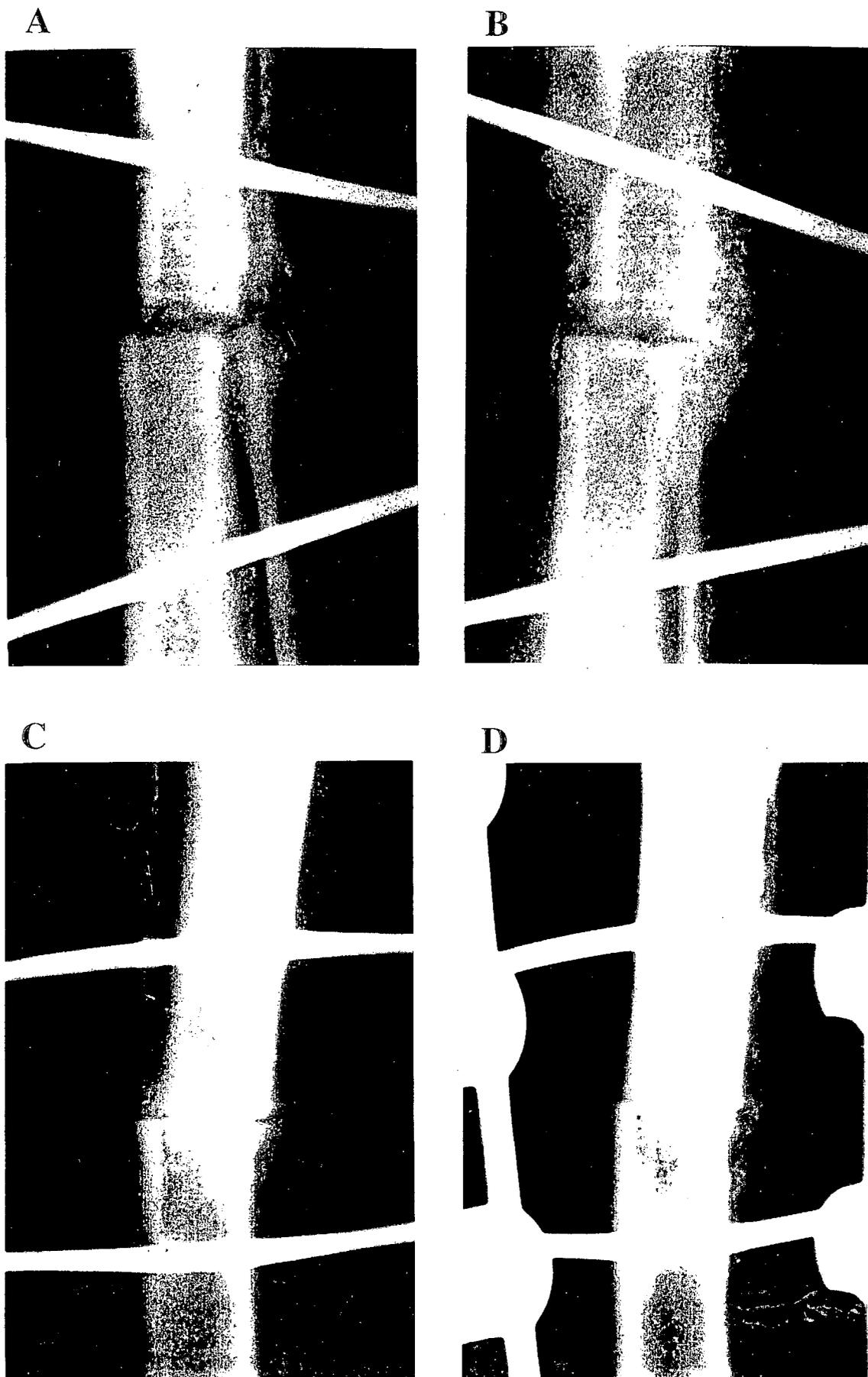


Fig.V.5. Detalle de los focos de osteotomía (animal nº 6) para una evaluación comparativa radiológica y gammagráfica (págs. 250-252) de la cicatrización ósea. **A.** C.p.o. de 45 días (angulación). **B.** C.p.o. de 60 días (angulación). **C.** C.p.o. de 45 días (flexión). **D.** C.p.o. de 60 días (flexión).

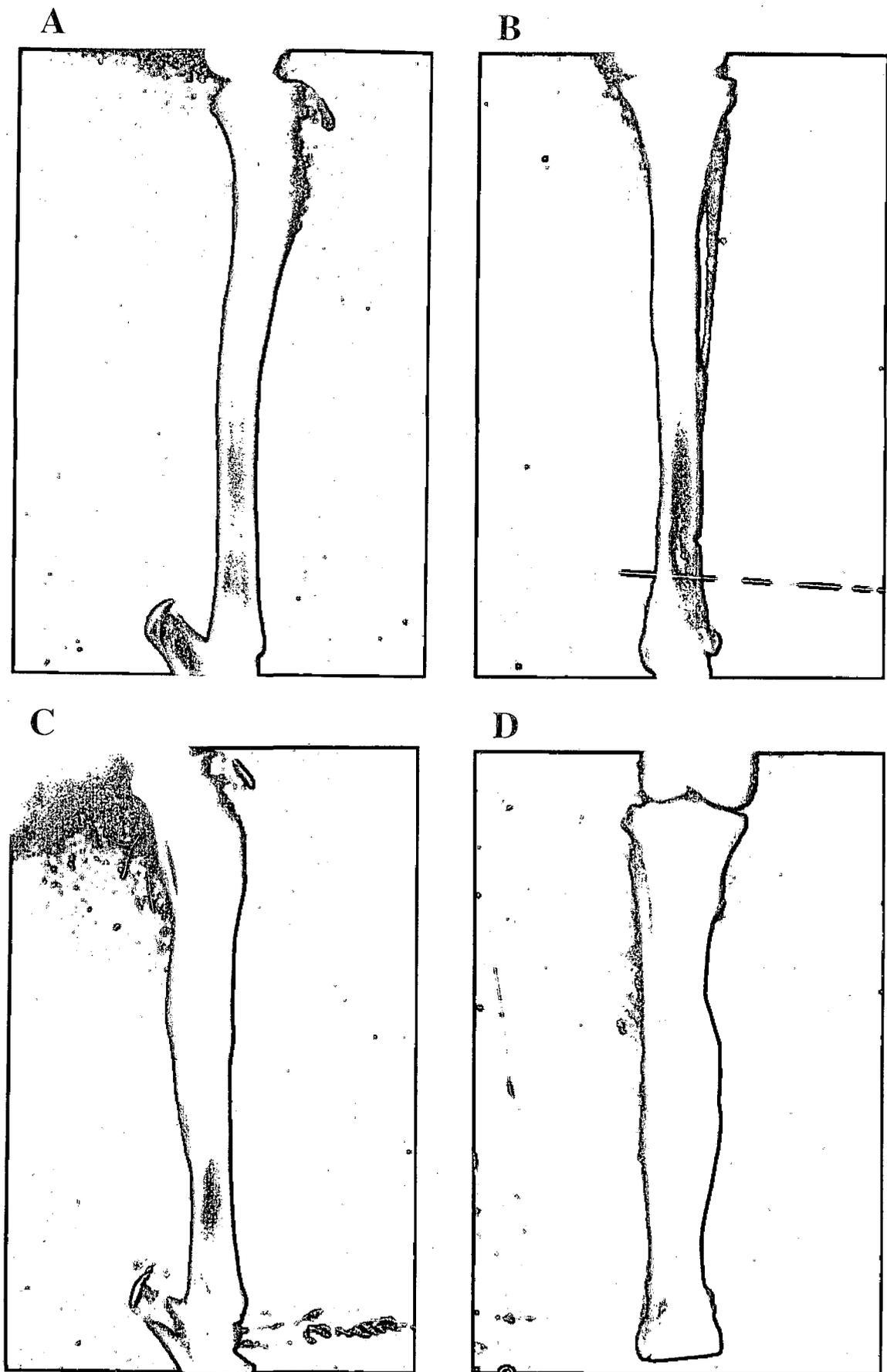


Fig. V.6. Detalle de la consolidación de las osteotomías (animal nº 4; c.p.o. de 120 días). **A-B.** Extremidad intervenida con el fijador tipo angulación. Proyección medio-lateral (A) y ántero-posterior (B). **C-D.** Extremidad intervenida con el fijador tipo flexión. Proyección medio-lateral (C) y ántero-posterior (D).

V.3. RESULTADOS GMMAGRAFICOS

Tal y como ya se ha descrito en anteriores apartados, la exploración gammagráfica completa del esqueleto óseo se compone de tres fases; la fase I o fase vascular, en la que se evalúa la distribución del radiofármaco por la red vascular; la fase II o fase tisular, que refleja la captación del radiofármaco por los distintos tejidos blandos; y la fase III o fase ósea, en la que se evalúa el acúmulo de radiofármaco en el tejido óseo.

La fase vascular del estudio gammagráfico debe llevarse a cabo durante los 30 segundos siguientes a la inoculación intravenosa del radiofármaco, la fase tisular se inicia al término de la anterior y se manifiesta durante los 10 a 20 minutos siguientes y finalmente, la fase ósea debe realizarse transcurridas al menos dos horas después de la inoculación. Sin embargo, dada la brevedad de la fase vascular y la íntima relación existente entre la distribución vascular y la perfusión tisular del radiofármaco, los estudios gammagráficos suelen contemplar únicamente dos fases, la fase I (vascular y tisular) y la fase II (ósea).

3.1. Resultados gammagráficos de la fase I

A partir de las imágenes gammagráficas de la fase I, obtenidas mediante el colimador paralelo, es posible obtener una valoración funcional de los tejidos blandos en lo que respecta tanto al grado de perfusión tisular como a la presencia de fenómenos inflamatorios.

Así pues, la existencia de zonas de hipercaptación ("foco caliente") en la imagen gammagráfica de la fase I indicaría la existencia de procesos inflamatorios agudos de los tejidos blandos cuya naturaleza exacta dependería del patrón e intensidad de captación, de su localización y distribución así como de la precocidad de aparición. La presencia de zonas de hipocaptación ("foco frío") indicaría un déficit vascular del tejido explorado que impide la biodistribución del radiofármaco en su interior.

En nuestro caso, la fase I tenía más interés para descartar la existencia de determinados procesos (osteomielitis, problemas vasculares, etc.) que para obtener resultados concluyentes referentes a la respuesta biológica del callo de fractura en el grupo de angulación y en el de flexión.

A lo largo de toda la exploración gammagráfica, ninguna fase vascular de ningún grupo y en ningún control postoperatorio evidenció zonas significativas de hipercaptación. El nivel de captación gammagráfica tisular en la zona centrodiafisaria se mostró más elevado en el c.p.o. de 7 días para ir disminuyendo en los sucesivos controles postoperatorios mientras que en zonas más cercanas a las epífisis, la actividad se incrementaba ligeramente

paulatinamente. En ambos casos, los niveles máximos detectados se situaban siempre muy por debajo de los niveles indicativos de alguna alteración. La fig. IV.10B (pág. 182) reproduce una exploración gammagráfica de la fase vascular (animal nº18, c.p.o. de 14 días).

3.2. Resultados gammagráficos de la fase II (ósea)

Tal y como se ha comentado en el apartado correspondiente al método gammagráfico (pág. 180), la valoración de los resultados gammagráficos de la fase II se ha llevado a cabo a partir de la interpretación visual de la imagen gammagráfica, mediante el cálculo de los índices de captación gammagráficos y, por último, mediante la elaboración de las gráficas lineales de captación gammagráfica.

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los distintos procedimientos de valoración.

3.2.1. Valoración visual de las gammagrafías

La valoración visual de las imágenes gammagráficas contemplaba el estudio de los distintos patrones de captación a nivel del foco de fractura así como la posible presencia de focos secundarios de captación gammagráfica. Resultaba también imprescindible, comparar la imagen gammagráfica final con la correspondiente imagen radiográfica para precisar la localización de las distintas agujas transfixiantes y no malinterpretar los resultados. Asimismo, la señalización mediante el marcador radioactivo¹ de la localización exacta de las agujas más próximas al foco de fractura así como de la propia zona osteotomizada permitía definitivamente la correcta asignación de las distintas respuestas de captación en la imagen gammagráfica (Fig. IV.10D). Ello resultaba de especial interés a la hora de diferenciar una posible hipocaptación en la zona fracturada de la frenación de los fotones producida por la interposición de las agujas de Kirschner.

En el c.p.o. de 7 días, las gammagrafías de la mayoría de los animales mostraban un doble foco de hipercaptación a nivel de la región osteotomizada así como una franja de hipocaptación centrada en el foco de osteotomía. A pesar de que las características del doble foco de hipercaptación diferían en cada animal, en general pudimos constatar una superior actividad y una mayor amplitud del doble foco en las extremidades del grupo de angulación con respecto a las del grupo de flexión. Asimismo, tanto la imagen 8F (gammagrafía correspondiente a la extremidad intervenida con el fijador tipo flexión del animal nº 8) como la 8A (mismo animal, extremidad intervenida con el fijador de tipo angulación) no

¹

Puntero señalizador que contiene en un extremo un material emisor de radioactividad.

evidenciaron la presencia de una actividad gammagráfica destacable en el presente c.p.o. (Fig. V.14, pág. 253). En las imágenes gammagráficas 5A (Fig. V.8., pág. 250) y 7A, el doble foco de hipercaptación se mostraba más bien como un único foco "caliente". La imagen 6A y 6F presentaban focos secundarios de hipercaptación en la zona subepifisaria proximal de ambas tibias (Fig. V.9, pág. 250).

En el c.p.o. de 15 días, la imagen gammagráfica común a la mayoría de los animales mostraba una fusión entre los dos focos de hipercaptación conformando un único foco con la presencia de dos puntos más "calientes" a ambos lados de la línea de osteotomía. Las gammagrafías del grupo de angulación seguían mostrando una mayor intensidad gammagráfica que las del grupo de flexión. La gammagrafía 8F presentaba ya signos de captación gammagráfica en forma de un doble foco "caliente" mientras que la 8A mostraba un avanzado grado de fusión entre los dos focos de hipercaptación (Fig. V.14). En el presente c.p.o., las imágenes gammagráficas 5A (Fig. V.8) y 15A destacaban del resto por presentar un amplio foco de hipercaptación de elevada actividad centrado exactamente a nivel de la línea de osteotomía. Como dato discordante cabe destacar que la imagen 6F mostraba un foco de hipercaptación más activo que la 6A. Las imágenes 5A, 5F, 6A, 6F, 16F y 18F presentaban ligeros focos de hipercaptación secundarios localizados en la región subepifisaria tibial proximal.

En el c.p.o. de 21 días, la característica común a todas las imágenes consistía en un incremento en la amplitud del foco de hipercaptación principal (zona de la osteotomía) y una tendencia a la uniformización de la actividad gammagráfica a nivel del foco de osteotomía. Debido a la creciente amplitud de la zona de hipercaptación, en este c.p.o. se hacía evidente la frenación fotónica de las agujas transfixiantes por lo que resultaba imprescindible la utilización de las imágenes gammagráficas con los puntos de referencia señalados por el marcador radioactivo (agujas más cercanas al foco de osteotomía y el punto intermedio entre ellas). Siguiendo la tendencia observada en los anteriores c.p.o., la mayoría de las imágenes gammagráficas del grupo de angulación se mostraban, respectivamente, más activas que las del grupo de flexión, aspecto especialmente evidente en las imágenes del animal nº 5 (Fig. V.8). Las gammagrafías 6A y 6F mostraban una distribución desalineada de las zonas de hipercaptación diafisarias presentando una actividad ligeramente mayor la imagen 6F (Fig.V.9). Las imágenes gammagráficas 5A, 5F, 6A, 6F presentaban focos de hipercaptación secundarios localizados medialmente en la región subepifisaria proximal, siendo ligeramente más activas las 5A y 6F. Focos secundarios de hipercaptación de las mismas características y localización que los anteriores aparecieron en las gammagrafías 8A, 8F, 18A y 18F aunque de menor actividad.

En el c.p.o. de 30 días, la evolución general de las imágenes gammagráficas mostraba la persistencia del foco de hipercaptación de elevada actividad perfectamente

localizado en la zona osteotomizada pero con la particularidad de extenderse ampliamente hacia las zonas epifisarias fusionándose incluso con algunos focos secundarios de hipercaptación. Las dos imágenes gammagráficas del animal nº 6 seguían la citada tendencia aunque la distribución de captación gammagráfica no mostraba un patrón uniforme ya que aparecían varios focos "calientes" activos y desalineados con respecto al eje óseo mayor, parcialmente fusionados entre ellos y de carácter más activo en el caso de la imagen 6A (Fig. V.9). Por otra parte, la práctica totalidad de gammagrafías mostraban focos secundarios de hipercaptación subepifisarios (especialmente a nivel proximal) aunque de distinta intensidad entre los individuos y las extremidades. En este sentido cabe destacar la presencia de focos secundarios de hipercaptación de elevada actividad en las imágenes 6A, 6F, 8A, 18A y 18F.

Tal y como ya se comentó en el capítulo "Gammagrafía ósea" (pág. 139 del apartado "Revisión bibliográfica"), las principales ventajas del estudio gammagráfico de la consolidación fracturaria consisten no sólo en la exploración de fenómenos no valorables en la imagen radiológica (perfusión vascular del foco de fractura) sino también en la constatación de la correcta evolución del proceso de consolidación y la detección de complicaciones con bastante anterioridad a su manifestación radiológica. Por ello y a pesar de que a los 60 días de postoperatorio la mayoría de las complicaciones detectables gammagráficamente son ya evidentes en la imagen radiológica, consideramos de interés llevar a cabo la exploración gammagráfica a los dos meses de la intervención, aunque fuese únicamente con dos pacientes, para poder completar la evolución seriada de la consolidación fracturaria mediante las imágenes gammagráficas.

Así pues, las características más destacables de las gammagrafías de 60 días manifiestan una evolución de las observadas en los anteriores controles postoperatorios, evidenciando una mayor captación gammagráfica en las imágenes del grupo de angulación con respecto a las respectivas del grupo de flexión. Con referencia a la imagen 5A cabe destacar la persistencia de un importante foco de hipercaptación a nivel de la zona osteotomizada mucho menos evidente que en la imagen 5F (Fig. V.10A). En ambas imágenes se muestran focos secundarios de hipercaptación muy activos tanto a nivel subepifisario proximal como distal. Por otra parte, la imagen 6A presenta todavía un marcado foco de hipercaptación a nivel centrodiafisario predominando la difusión de la captación hacia la epífisis tibial distal donde se intuye un foco "caliente" secundario. Por el contrario, la imagen 6F muestra una captación más o menos uniforme a lo largo de la zona centrodiafisaria con focos de ligera hipercaptación pero sin destacar especialmente la zona osteotomizada. En lo referente a focos secundarios cabe destacar un foco de elevada actividad a nivel subepifisario proximal en la imagen 6A y otro igualmente hiperactivo a nivel de la región subepifisaria tibial distal (localizado ligeramente lateral) en la imagen 6F (Fig.V.10B).

Resulta de especial importancia destacar que en la mayor parte de las imágenes

gammagráficas se observaban unos focos de hipercaptación localizados a nivel epifisario periarticular (regiones distal del fémur, proximal y distal de la tibia) sin transcendencia clínica puesto que corresponden a la mayor captación gammagráfica de carácter "fisiológico" de las regiones óseas epifisarias debido a su mayor perfusión tisular y mayor actividad osteogénica. Dicho fenómeno se hace mucho más evidente cuando se trata, como en nuestro estudio, de animales relativamente jóvenes. No se ha llevado a cabo la descripción de los citados focos de hipercaptación por considerarlos fisiológicos aunque en ocasiones se presentasen fusionados con los focos secundarios que hemos definido como subepifisarios.

3.2.2. Índices de captación gammagráfica

El cálculo de los distintos índices de captación gammagráfica permite llevar a cabo una valoración más objetiva de los resultados complementando perfectamente la interpretación visual de la imagen basada en criterios de carácter más subjetivo y no expresables matemáticamente. Los índices de captación gammagráfica, obtenidos a partir del "software" de la propia gammacámara, permiten la realización de estudio estadístico comparativo de los resultados.

Asimismo, la actividad biológica ósea de todos los animales no es la misma, por lo que para obtener resultados comparables a otros individuos era imprescindible establecer unas "ratios" que tuviesen en cuenta no sólo la citada variabilidad, sino también otros factores como el tiempo exacto transcurrido entre la inoculación del radiofármaco y la posterior exploración y pequeñas diferencias inevitables en las dosis del radioisótopo. Los índices de captación permiten estandarizar los resultados al relacionar la captación gammagráfica entre las zonas óseas intervenidas y otras cercanas normales, obteniendo unos valores que eliminan las citadas diferencias entre individuos.

Por ello y antes de proceder a presentar la relación de datos obtenidos de cada grupo y por cada control postoperatorio, describiremos brevemente el significado de los términos empleados así como la obtención de los correspondientes índices de captación gammagráfica (I.C.G.)².

La descripción del proceso mediante el cual se obtienen los resultados finales se llevará a cabo aprovechando, como modelo, los datos de referencia realizados en dos animales patrón (no intervenidos).

²

A pesar de que la descripción de la metodología utilizada para obtener los índices de captación gammagráfica no debería plasmarse en el presente capítulo, consideramos necesaria su inclusión para facilitar la comprensión de las tablas de resultados gammagráficos expuestas inmediatamente a continuación.

Tabla V.22. Cuantificación gammagráfica en animales no intervenidos.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	n° cuentas	n° píxels	n° cuentas	n° píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO pF	7.453	286	10.638	56	26,05	189,97	0,14
PERRO pA	8.196	286	10.146	56	28,66	181,18	0,16
PERRO p'F	7.865	288	9.831	54	27,31	182,06	0,15
PERRO p'A	7.451	288	9.978	54	25,87	184,79	0,14

Perro pF: Extremidad derecha del primer perro utilizado como patrón. En los animales experimentales, el fijador externo de tipo flexión ("F") se aplica en la extremidad derecha.

Perro p'A: Extremidad izquierda del segundo perro utilizado como patrón. En los animales experimentales, el fijador externo de tipo angulación ("A") se aplica en la extremidad izquierda.

Area de interés: Zona tibial mediodiafisaria que incluye la porción osteotomizada en los animales intervenidos y una porción similar en los patrón. Aunque en términos gammagráficos, el área de interés corresponde a la zona que se cuantifica (ya sea la patrón o la patológica), para simplificar la terminología hemos denominado simplemente "área de interés" al área de interés de la zona osteotomizada y "área patrón" al área de interés de la zona patrón, es decir, zona ósea normal.

Area patrón: Zona de la tibia sin alteración. Aunque el área de interés idónea corresponde a la zona sana más proxima a la patológica, en nuestro estudio nos hemos visto obligados a utilizar la epífisis tibial proximal por ser la única porción de la tibia cuya imagen gammagráfica no se veía influenciada por el efecto de la osteotomía ni de las agujas. Por este motivo y dada la hipercaptación gammagráfica fisiológica de las zonas epifisarias, algunos índices de captación muestran valores inferiores a uno. El área de interés o el área patrón se obtienen trazando a voluntad un rectángulo en la pantalla de la gammacámara sobre la zona de exposición deseada.

n° cuentas: Unidad utilizada para definir la captación gammagráfica. Corresponde a un impulso eléctrico generado por un fotón y recogido por la gammacámara.
p.ej. 7.453: n° total de cuentas leídas en todo el área de interés (perro pF)

n° píxels: Cada uno de los puntos de la pantalla gammagráfica encargados de efectuar la lectura de las cuentas. p.ej. 286: n° de píxels contenidos en el área de interés (perro pF).

c.p.p.: Cuentas por píxel³. La obtención de este valor permite homogeneizar los resultados procedentes de áreas de captación de distinta superficie.
p.ej. 26,05: valor medio de cuentas para cada uno de los píxels en el área de interés del perro pF. Se obtiene del cociente $7.453:286 = 26,05$.

I.C.G.: Índice de captación gammagráfica. Valor resultante del cociente entre las c.p.p. de la zona de interés y las c.p.p. de la zona patrón. Este valor permite estandarizar los resultados de varios animales independientemente de la capacidad de captación de cada animal, del tiempo de exposición y del tiempo transcurrido entre la inoculación del radiofármaco y el momento de la exploración (ya que puede variar ligeramente entre los distintos animales).
p.ej. I.C.G. = 0,14; obtenido del cociente $26,05:189,97$ (perro pF).

³ El término c.p.p. (cuentas por píxel) de la zona patrón se conoce también con el de "actividad de fondo", refiriéndose a la captación de radiofármaco por parte del hueso sin alteración.

La obtención de los anteriores datos así como su tratamiento matemático llevado a cabo por el "software" de la propia gammacámara, se realiza sobre la imagen gammagráfica obtenida previamente y convenientemente almacenada en un soporte magnético tipo "floppy disk".

3.2.1.1. Cuantificación gammagráfica por c.p.o.

Las tablas que se presentan a continuación reflejan los resultados correspondientes a los índices de captación gammagráfica (I.C.G.) obtenidos con el colimador paralelo en ambos grupos (F: grupo de flexión; A: grupo de angulación) y a lo largo de los distintos controles postoperatorios. Los valores pertenecientes a las áreas patrón se presentan en las casillas sombreadas.

Tabla V.23. Cuantificación gammagráfica en el c.p.o. 7 días.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	nº cuentas	nº píxels	nº cuentas	nº píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO 5F	34.350	432	5.750	40	79,51	143,75	0,55
PERRO 5A	45.035	432	5.588	40	104,25	139,70	0,75
PERRO 6F	44.378	1.166	7.455	56	38,06	133,12	0,29
PERRO 6A	40.005	1.166	8.096	56	34,31	144,57	0,24
PERRO 7F	63.463	1.250	8.886	42	50,77	211,56	0,24
PERRO 7A	80.088	1.250	8.970	42	64,07	213,57	0,30
PERRO 8F	66.406	1.050	8.916	35	63,24	254,74	0,25
PERRO 8A	86.967	1.050	8.750	35	82,82	250,00	0,33
PERRO 15F	75.342	1.173	8.894	36	64,23	247,05	0,26
PERRO 15A	89.902	1.173	8.829	36	76,64	245,25	0,32
PERRO 16F	40.802	1.078	6.264	48	37,85	130,50	0,29
PERRO 16A	43.088	1.078	6.187	48	39,97	128,90	0,31
PERRO 17F	42.133	570	7.062	48	73,92	147,12	0,50
PERRO 17A	55.296	570	6.749	48	97,01	140,60	0,69
PERRO 18F	77.400	1.110	8.965	36	69,73	249,03	0,28
PERRO 18A	92.774	1.110	7.715	36	83,58	214,30	0,39

Tabla V.24. Cuantificación gammagráfica en el c.p.o. 15 días.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	n° cuentas	n° píxels	n° cuentas	n° píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO 5F	36.445	544	5.119	40	66,99	127,98	0,52
PERRO 5A	38.347	544	4.402	40	70,49	110,05	0,64
PERRO 6F	56.002	1.166	3.397	56	48,03	60,66	0,79
PERRO 6A	43.446	1.166	3.001	56	37,26	53,59	0,70
PERRO 8F	45.092	1.050	2.053	35	42,94	58,66	0,73
PERRO 8A	57.683	1.050	1.241	35	54,94	35,46	1,55
PERRO 15F	50.580	1.173	2.317	36	43,12	64,36	0,67
PERRO 15A	44.398	1.173	1.376	36	37,85	38,22	0,99
PERRO 16F	36.038	1.078	2.198	48	33,43	45,79	0,73
PERRO 16A	40.986	1.078	2.370	48	38,02	49,38	0,77
PERRO 18F	52.425	1.110	2.152	36	47,23	59,80	0,79
PERRO 18A	59.840	1.110	1.814	36	53,91	50,39	1,07

Tabla V.25. Cuantificación gammagráfica en el c.p.o. 21 días.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	n° cuentas	n° píxels	n° cuentas	n° píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO 5F	37.812	510	3.322	40	74,14	83,05	0,89
PERRO 5A	50.768	510	3.091	40	99,55	77,27	1,29
PERRO 6F	70.225	1.166	2.955	56	60,23	52,77	1,14
PERRO 6A	64.899	1.166	3.176	56	55,66	56,71	0,98
PERRO 8F	41.643	1.050	1.633	35	39,66	46,66	0,85
PERRO 8A	54.080	1.050	1.608	35	51,50	45,94	1,12
PERRO 18F	52.614	1.110	2.056	36	47,40	57,11	0,83
PERRO 18A	65.823	1.110	2.072	36	59,30	57,56	1,03

Tabla V.26. Cuantificación gammagráfica en el c.p.o. 30 días.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	nº cuentas	nº píxels	nº cuentas	nº píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO 5F	10.083	510	1.163	40	19.77	29.08	0.68
PERRO 5A	17.117	510	1.125	40	33.56	28.12	1.19
PERRO 6F	72.425	1.166	3.314	56	62.11	59.18	1.05
PERRO 6A	82.788	1.166	3.550	56	71.00	63.39	1.12
PERRO 8F	56.376	1.050	2.032	35	53.69	58.05	0.92
PERRO 8A	81.349	1.050	1.744	35	77.48	49.83	1.55
PERRO 18F	47.841	1.110	2.015	36	43.10	55.97	0.77
PERRO 18A	62.404	1.110	2.130	36	56.22	59.18	0.95

El estudio gammagráfico en el c.p.o. de 60 días no tendría demasiado interés si consideramos como objetivo fundamental de la exploración gammagráfica el de llevar a cabo una evaluación funcional del foco de fractura y el de detectar prematuramente la instauración de complicaciones tales como uniones retardadas u osteomielitis, puesto que dichos procesos son ya observables radiológicamente a los dos meses de intervención. A pesar de ello y con la intención de obtener una valoración más completa en el seguimiento gammagráfico de la consolidación fracturaria, hemos llevado a cabo la valoración gammagráfica en el c.p.o. de 60 días aunque dedicando únicamente dos animales para tal fin. Los índices de captación gammagráfica obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla V.27. Cuantificación gammagráfica en el c.p.o. 60 días.

	AREA DE INTERES		AREA PATRON		A.I.	A.P.	I.C.G.
	nº cuentas	nº píxels	nº cuentas	nº píxels	c.p.p.	c.p.p.	
PERRO 5F	33.427	660	6.880	70	50.65	98.29	0.51
PERRO 5A	54.867	660	7.263	70	83.13	103.76	0.80
PERRO 6F	43.421	1.064	3.209	56	40.81	57.30	0.71
PERRO 6A	74.318	1.064	4.814	56	69.85	85.96	0.81

3.2.1.2. Recopilación de los índices de captación gammagráfica a lo largo del periodo postoperatorio

A continuación se presentan de forma recopilada los índices de captación gammagráfica calculados en el anterior apartado para cada animal y en cada c.p.o.

Tabla V.28. Recopilación de los índices de captación gammagráfica por animal y por c.p.o.

		Indice de captación gammagráfica (I.C.G.)				
		7 días	15 días	21 días	30 días	60 días
PERRO n° 5	F	0.55	0.52	0.89	0.68	0.51
	A	0.75	0.64	1.29	1.19	0.80
PERRO n° 6	F	0.29	0.79	1.14	1.05	0.71
	A	0.24	0.70	0.98	1.12	0.81
PERRO n° 7	F	0.24	-	-	-	-
	A	0.30	-	-	-	-
PERRO n° 8	F	0.25	0.73	0.85	0.92	-
	A	0.33	1.15	1.12	1.55	-
PERRO n° 15	F	0.26	0.67	-	-	-
	A	0.32	0.99	-	-	-
PERRO n° 16	F	0.29	0.73	-	-	-
	A	0.31	0.77	-	-	-
PERRO n° 17	F	0.50	-	-	-	-
	A	0.69	-	-	-	-
PERRO n° 18	F	0.28	0.79	0.83	0.77	-
	A	0.39	1.07	1.03	0.95	-

3.2.1.3. Estudio estadístico de la captación gammagráfica a lo largo de todo el periodo postoperatorio

A partir de los índices de captación gammagráfica obtenidos a lo largo de todo el periodo postoperatorio (Tabla V.28.), se llevó a cabo el correspondiente estudio estadístico utilizando para ello la comparación de las medias mediante la prueba "t" de Student para datos apareados.

Los resultados obtenidos en la valoración estadística de la captación gammagráfica se presentan a continuación:

Captación gammagráfica media:

grupo de angulación	=	0,81 ± 0,36 (n=24)
grupo de flexión	=	0,64 ± 0,36 (n=24)
valor de t	=	- 4,59
p	<	0,001

De ello se deduce que la captación gammagráfica en el grupo de angulación es significativamente mayor que la del grupo de flexión ($p < 0,001$).

Para la extrapolación de nuestros resultados a la totalidad de la población se procedió al cálculo del correspondiente intervalo de confianza (I.C.) a partir de los anteriores datos (v. Método estadístico, pág. 190):

$$\text{I.C. (95\%)} = [0,10 \text{ a } 0,26]$$

En conclusión, con un 95% de probabilidades el índice de captación gammagráfica será siempre entre un 10% y un 26% mayor en el grupo de angulación que en el de flexión.

3.2.1.4. Índices medios de captación gammagráfica por c.p.o. e índices de captación gammagráfica relativos.

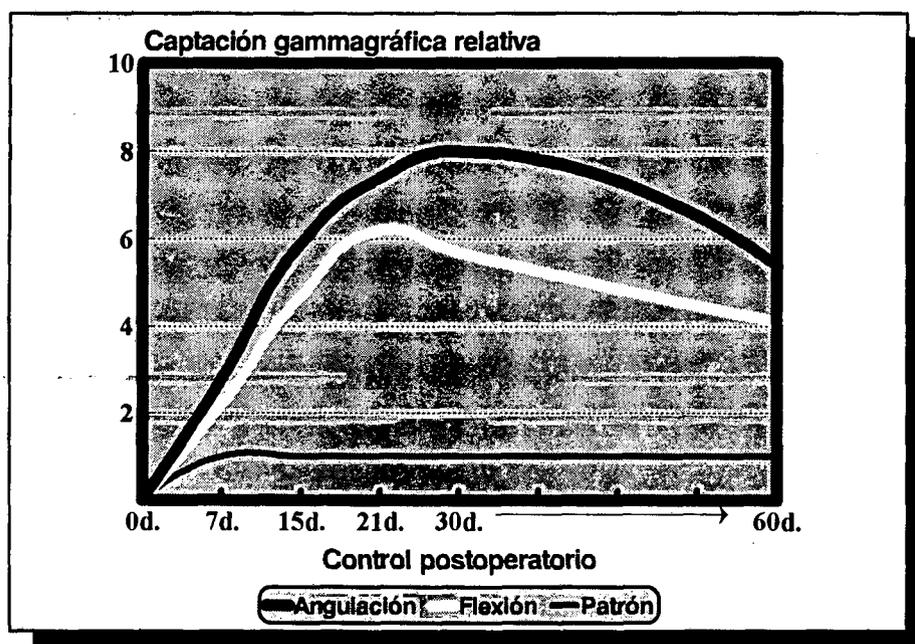
A continuación se presentan los índices medios de captación (\pm d.e.) en cada uno de los c.p.o. y para cada uno de los dos grupos calculados a partir de los datos reflejados en la tabla V.28. Las casillas sombreadas presentan los **índices de captación gammagráfica relativa** que reflejan la relación entre los índices de captación gammagráfica media de los animales intervenidos en cada grupo y c.p.o. con los índices de captación gammagráfica media de los animales patrón (no intervenidos quirúrgicamente). Los índices de captación gammagráfica relativa se obtienen del cociente entre los valores medios de los animales intervenidos registrados en cada c.p.o. y el valor medio patrón (0,15). El índice de captación gammagráfica total se obtiene a partir de la totalidad de los valores y no a partir de las cinco medias. Finalmente, la última columna refleja el tamaño de muestra para cada uno de los dos grupos.

Tabla V.29. Índices de captación gammagráfica media por c.p.o. e índices de captación gammagráfica relativa.

	ANGULACION Media ± d.e.		FLEXION Media ± d.e.		(n _{grupo})
	Valor Abs.	Valor Rel.	Valor Abs.	Valor Rel.	
C.P.O. 7d.	0,42 ± 0,19	2,8 ± 1,3	0,33 ± 0,12	2,2 ± 0,8	8
C.P.O. 15d.	0,89 ± 0,21	5,9 ± 1,4	0,71 ± 0,10	4,7 ± 0,7	6
C.P.O. 21d.	1,11 ± 0,14	7,4 ± 0,9	0,93 ± 0,14	6,2 ± 0,9	4
C.P.O. 30d.	1,20 ± 0,25	8,0 ± 1,7	0,86 ± 0,16	5,7 ± 1,1	4
C.P.O. 60d.	0,81 ± 0,01	5,4 ± 0,1	0,61 ± 0,14	4,1 ± 0,9	2
I.C.G. total	0,81 ± 0,36	5,4 ± 2,4	0,64 ± 0,27	4,3 ± 1,8	24

La siguiente figura muestra gráficamente las distintas curvas de captación gammagráfica relativa entre los grupos intervenidos (angulación y flexión) y el grupo de animales no intervenidos utilizado como patrón.

Fig. V.7. Evolución de la captación gammagráfica de los animales intervenidos con respecto a la captación patrón (animales no intervenidos).



3.2.3. Gráficas lineales de captación gammagráfica

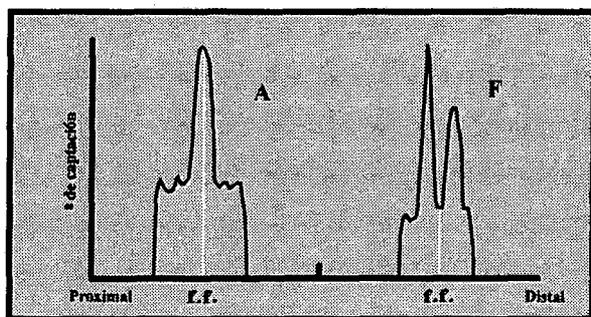
La importante disminución en la superficie de exploración que conlleva la utilización del colimador tipo "pin hole" (únicamente permite la exploración de la porción diafisaria fracturada y en una única extremidad) queda compensada sobradamente con el incremento en la precisión de la captación, lo que permite elaborar gráficas lineales de captación, las características de cuyo trazado permiten establecer las pertinentes comparaciones con patrones establecidos así como entre los dos grupos estudiados.

El estudio de las gráficas lineales de captación debe establecerse según distintos criterios. En primer lugar, la evolución de la imagen gammagráfica de una extremidad a lo largo de los distintos periodos postoperatorios, en segundo lugar, el estudio comparativo entre las gráficas de ambas extremidades del mismo paciente (extremidad derecha: grupo flexión; extremidad izquierda: grupo angulación); y por último, la comparación de los trazados obtenidos con patrones preestablecidos descritos en la bibliografía.

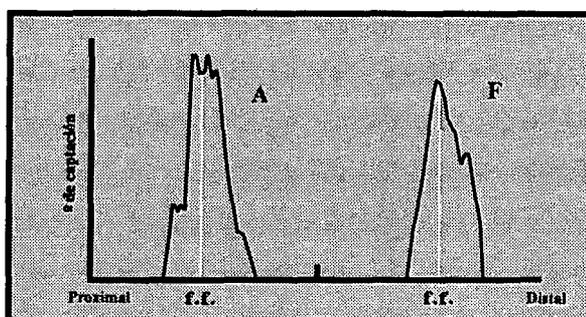
Seguidamente se presentan las gráficas lineales de captación de los distintos grupos y a lo largo de los distintos periodos postoperatorios (f.f.: zona correspondiente al foco de fractura; A y F: grupo de angulación y flexión respectivamente). Las gráficas que se presentan a continuación se han reproducido de las gráficas que elabora la propia gammacámara a partir de las imágenes gammagráficas obtenidas con el colimador tipo "pin hole". En el apartado 3.3. (Figs. V.11, V.12 y V13; pág. 250) se presentan imágenes en forma de videoimpresión de algunas de las gráficas de captación lineal mostradas a continuación.

Gráficas de captación correspondientes al animal n° 5

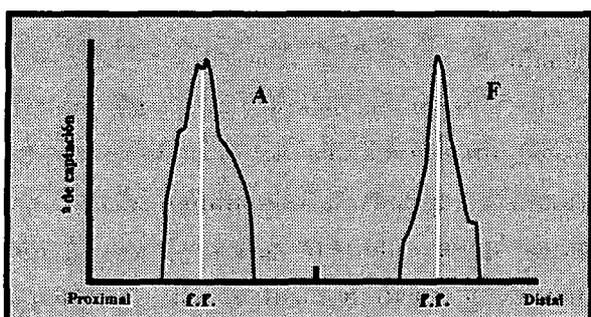
7 días



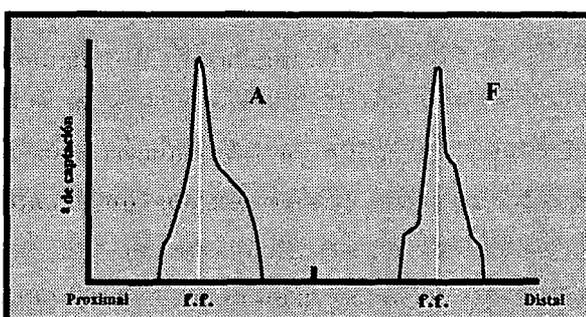
15 días



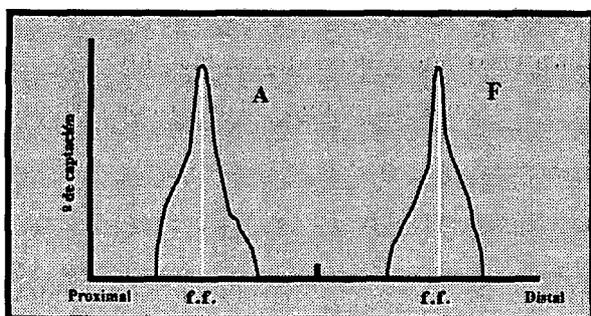
21 días



30 días



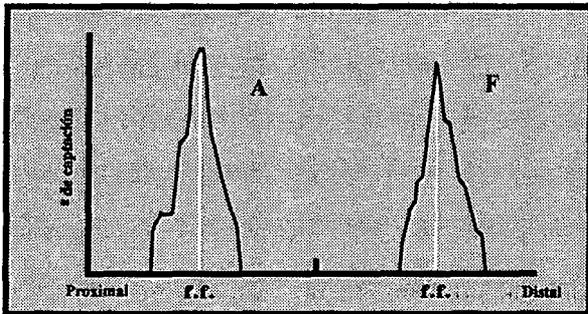
60 días



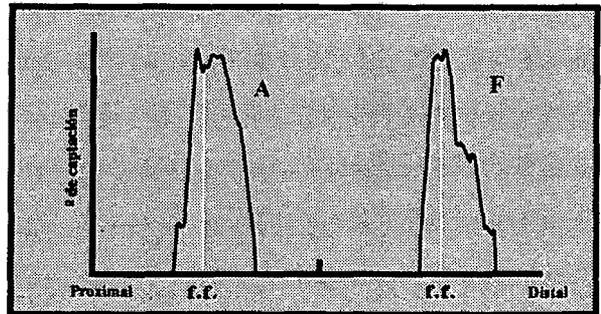
A: Grupo Angulación.
F: Grupo Flexión.
f.f.: Foco de fractura.

Gráficas de captación correspondientes al animal nº 6

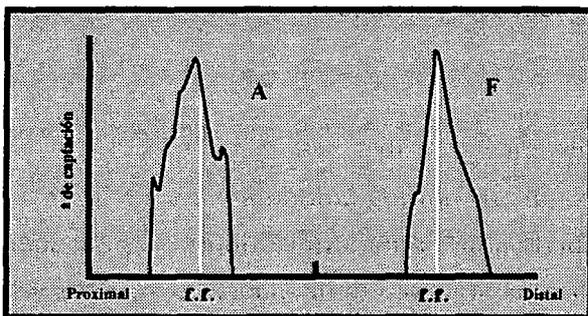
7 días



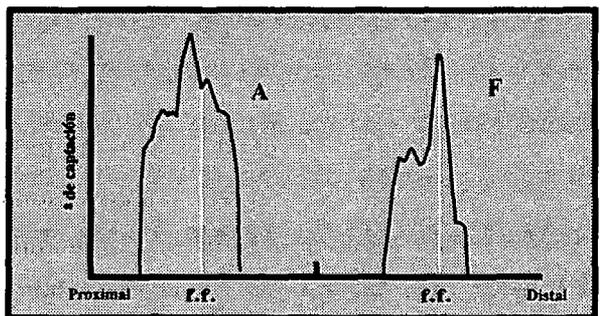
15 días



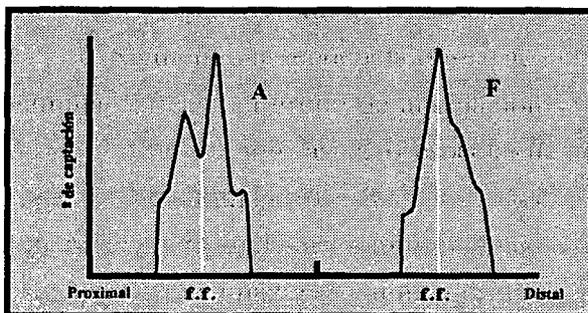
21 días



30 días



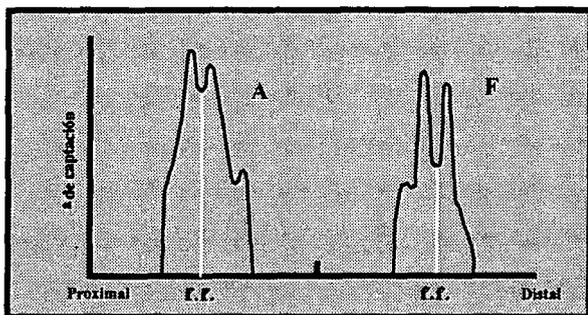
60 días



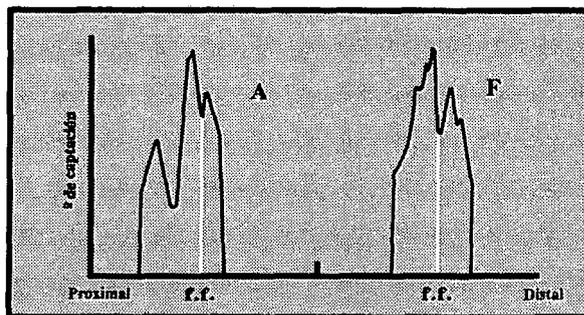
A: Grupo Angulación.
F: Grupo Flexión.
f.f.: Foco de fractura.

Gráficas de captación correspondientes al animal n° 8

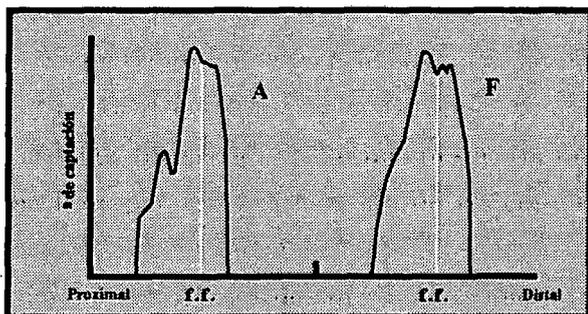
7 días



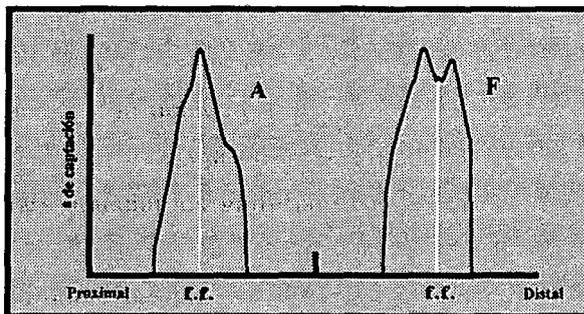
15 días



21 días

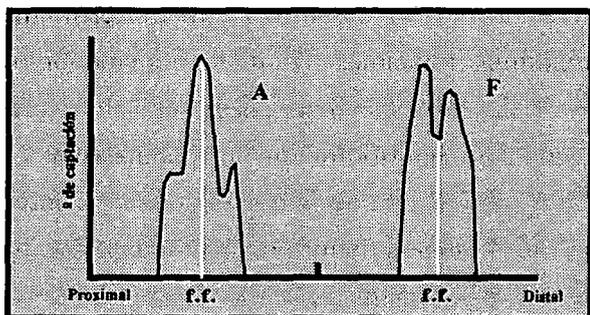


30 días

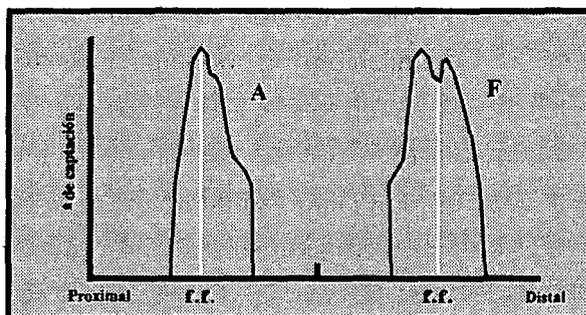


Gráficas de captación correspondientes al animal n° 18

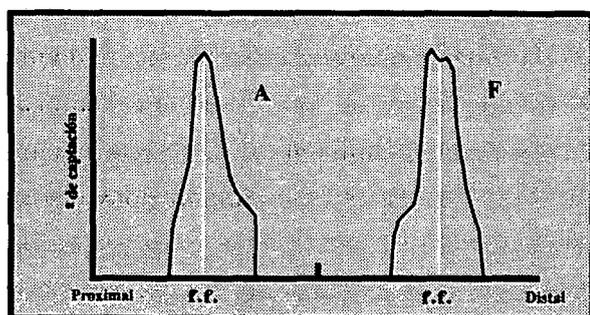
7 días



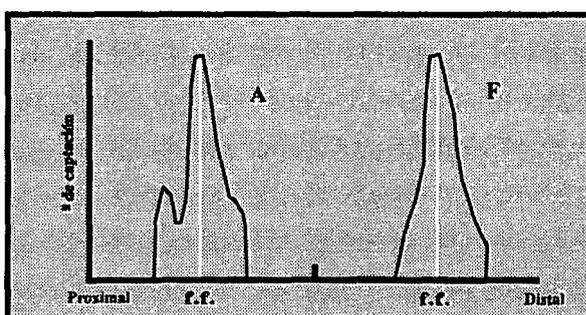
15 días



21 días

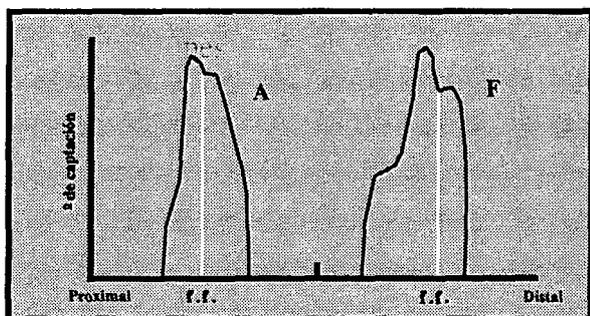


30 días

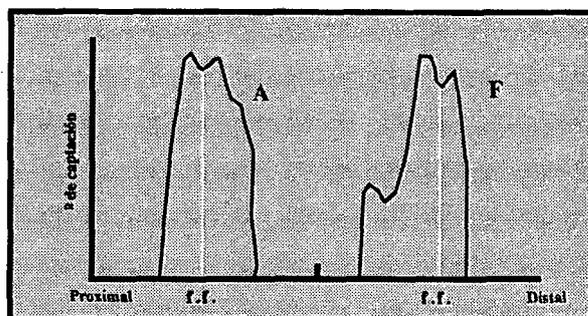


Gráficas de captación correspondientes al animal n° 15

7 días

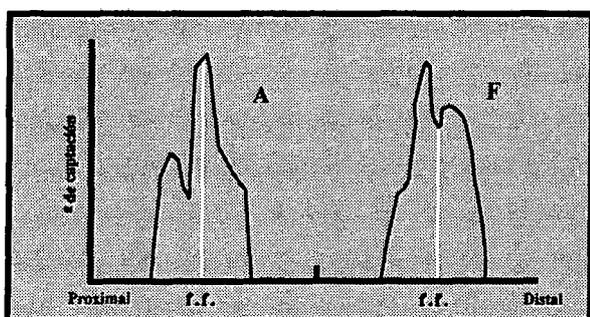


15 días

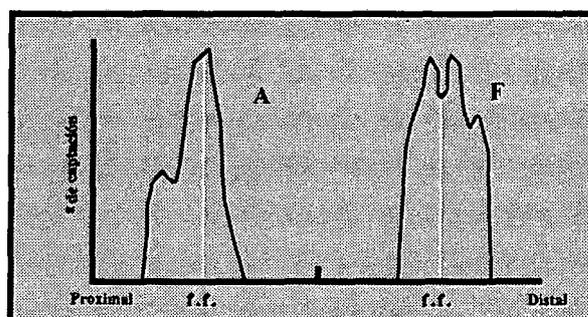


Gráficas de captación correspondientes al animal n° 16

7 días

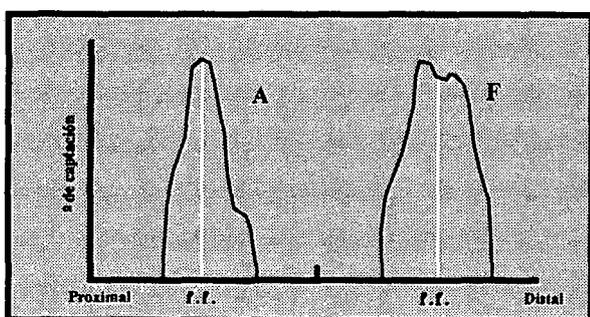


15 días

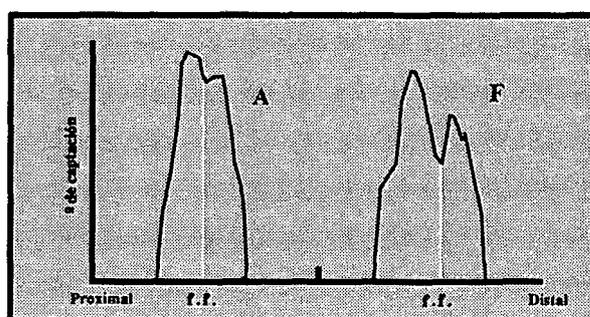


Gráficas de captación correspondientes a los animales n° 7 (gráfica izquierda) y n° 17 (gráfica derecha).

7 días



7 días



A: Grupo Angulación.
F: Grupo Flexión.
f.f.: Foco de fractura.

3.3. ANEXO IMAGENES GAMMAGRAFICAS

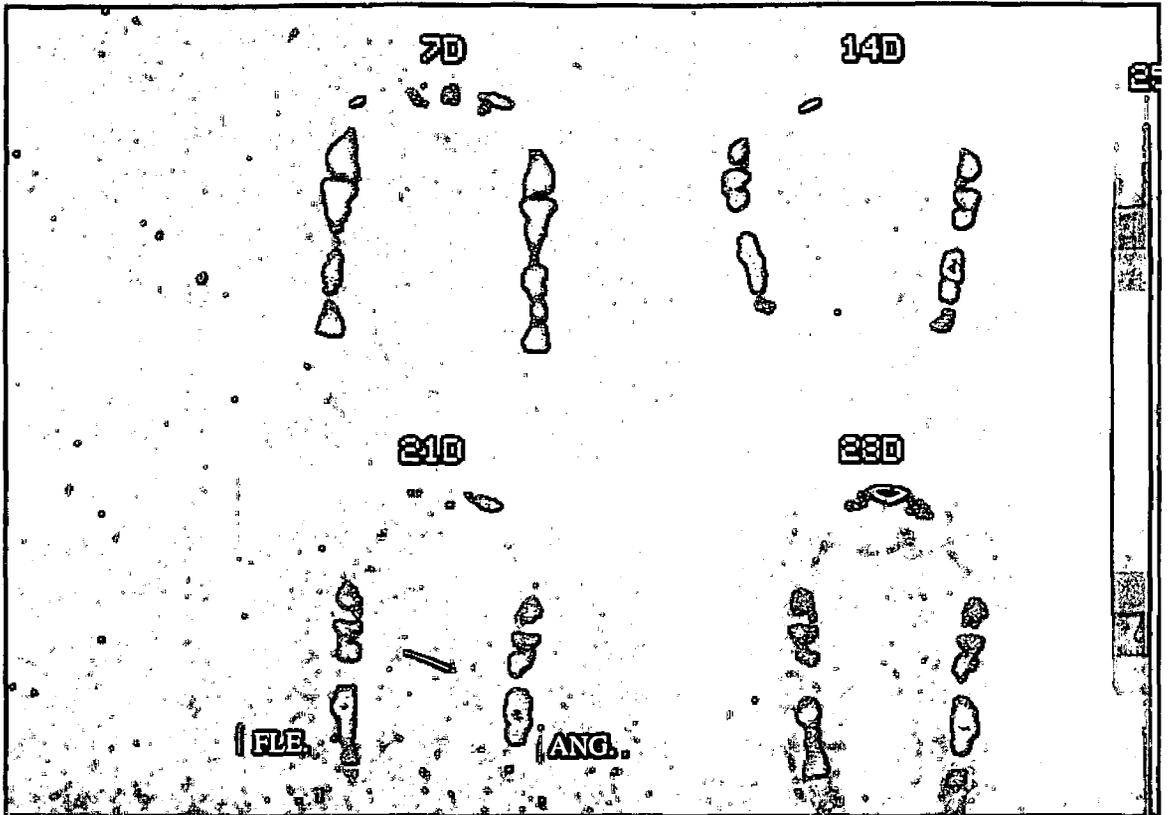


Fig. V.8. Gammagrafías óseas (fase II, colimador paralelo) correspondientes a los c.p.o. de 7, 14, 21 y 30 días (animal n° 5).

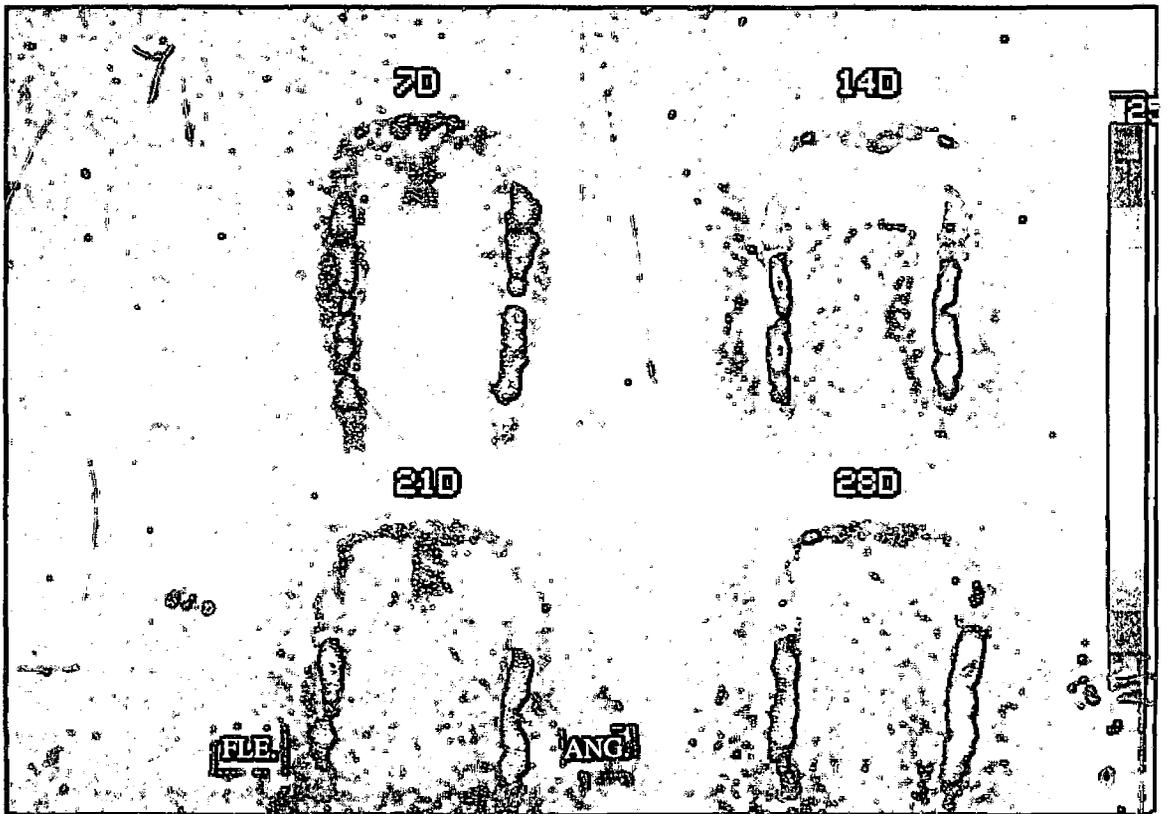


Fig. V.9. Gammagrafías óseas (fase II, colimador paralelo) correspondientes a los c.p.o. de 7, 14, 21 y 30 días (animal n° 6).

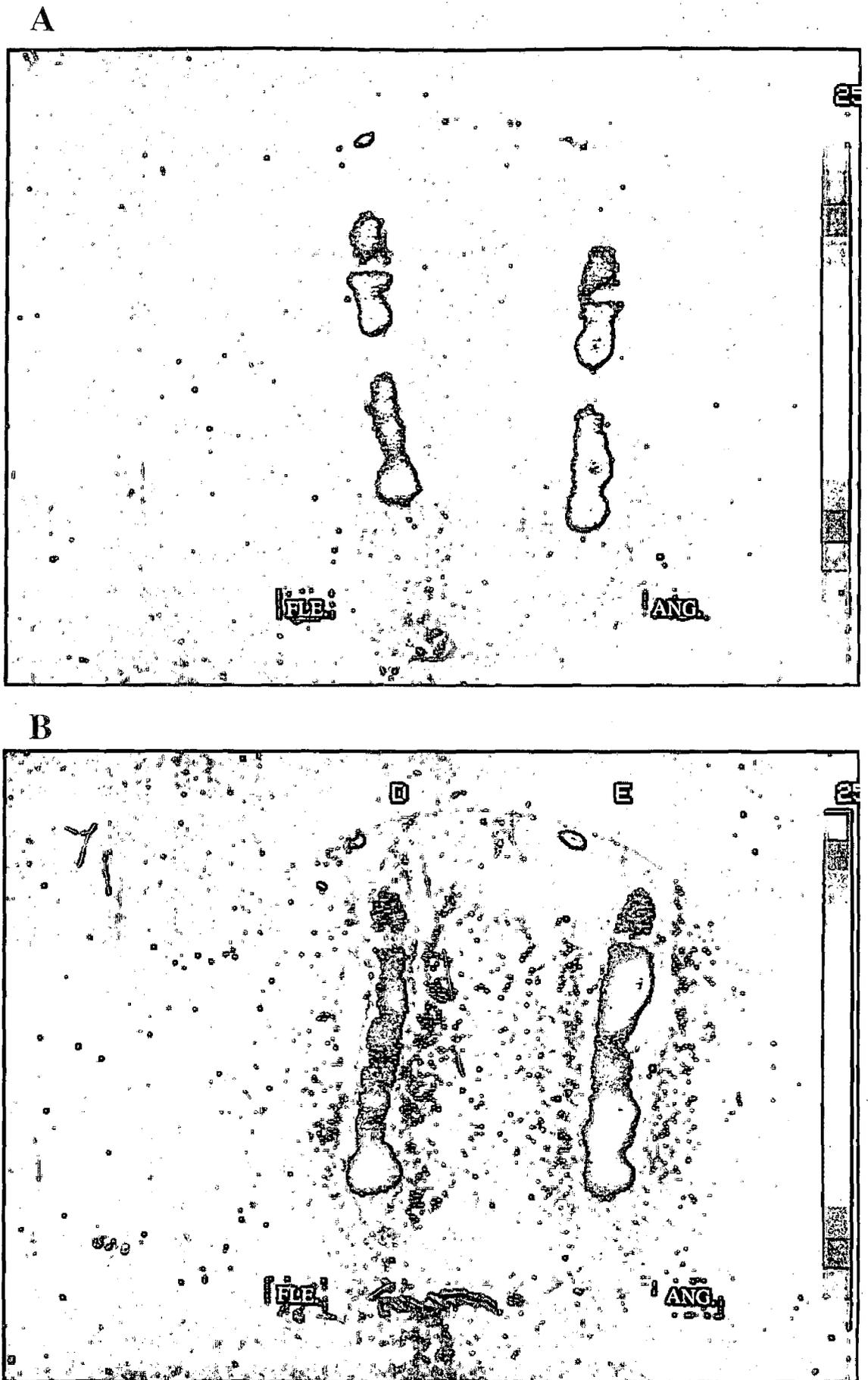


Fig. V.10. Gammagrafias óseas (fase II, colimador paralelo) correspondientes al c.p.o. de 60 días de los animales nº 5 (A) y nº 6 (B).

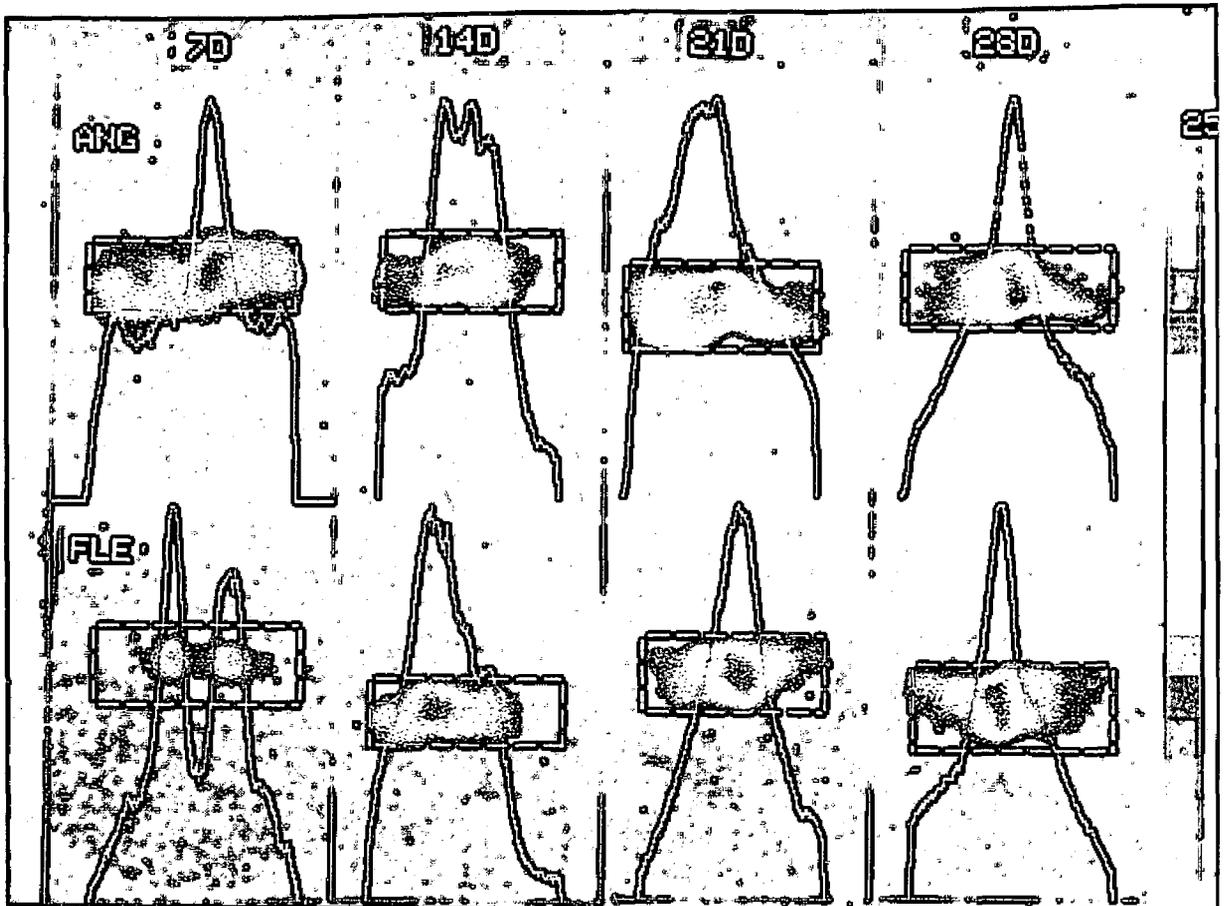
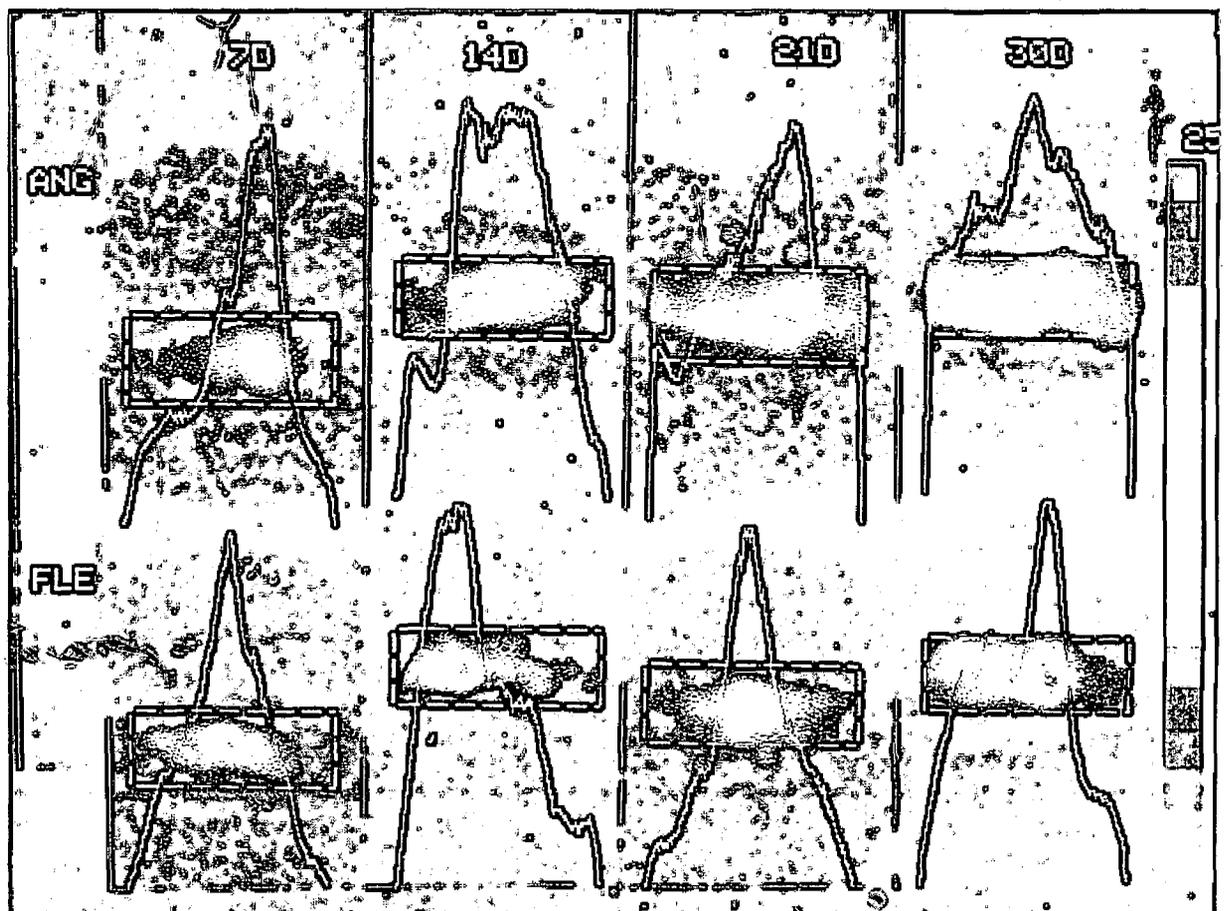


Fig. V.11 Gammagrafías óseas (fase II, colimador pin-hole). Gráficas de captación lineal correspondientes a los c.p.o. de 7, 14, 21 y 30 días (animal n° 5).

Fig. V.12. Gammagrafías óseas (fase II, colimador pin-hole). Gráficas de captación lineal correspondientes a los c.p.o. de 7, 14, 21 y 30 días (animal n° 6).



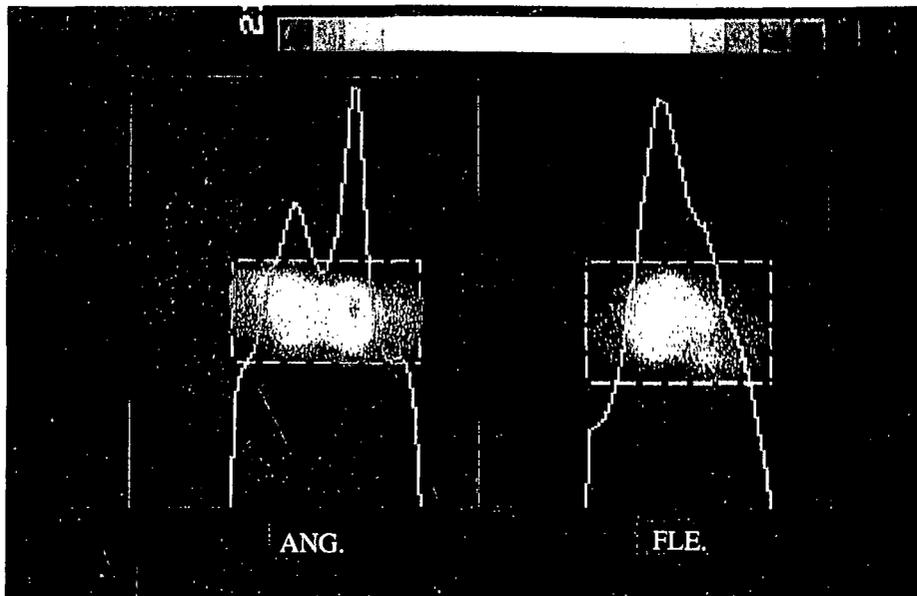


Fig. V.13 A. Gráficas de captación lineal correspondiente al c.p.o. de 60 días (animal nº 6). La depresión central de la gráfica del grupo de angulación (Ang.) indica un déficit en la calcificación a nivel del foco de osteotomía.

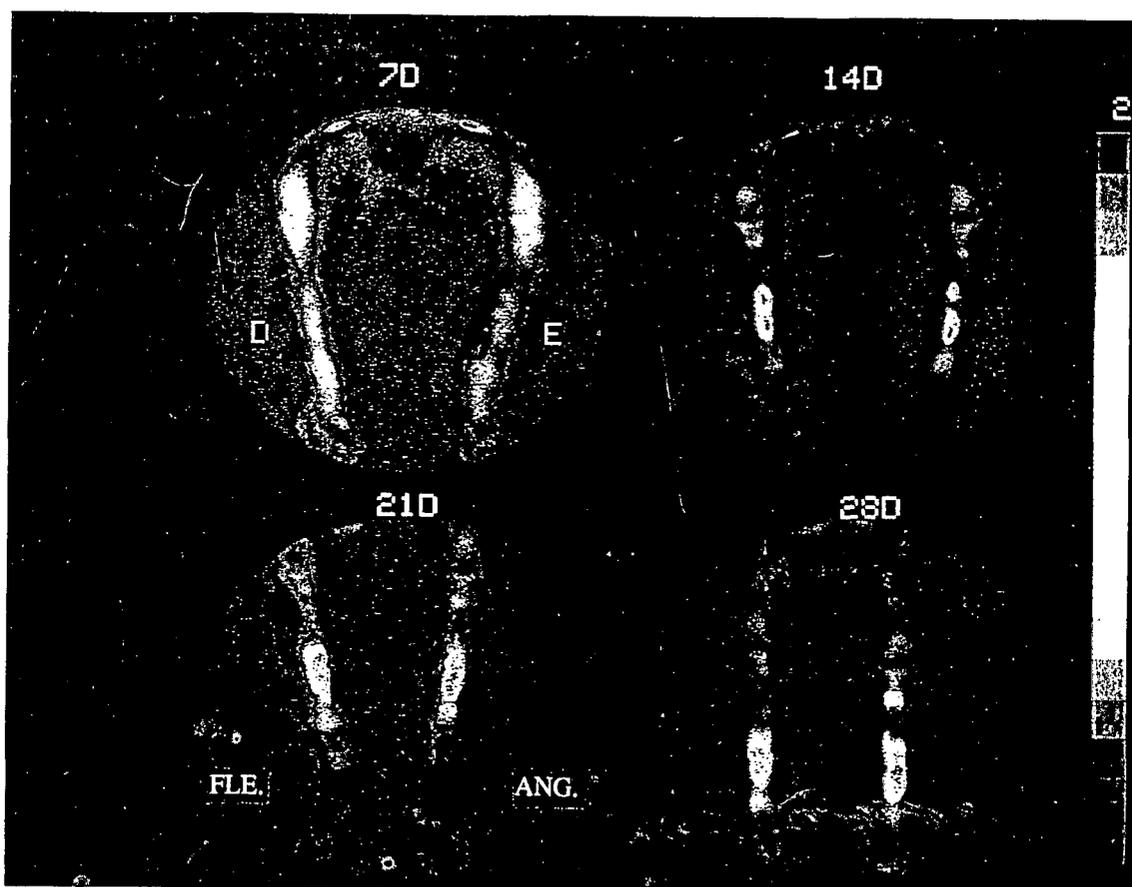


Fig. V.14. Gammagrafías óseas (fase II, col. paralelo) correspondientes a los c.p.o. de 7, 14, 21 y 30 días (animal nº 8)

V.4. RESULTADOS MICROANGIOGRAFICOS

El análisis sucesivo, por medio de la lupa binocular o microscopio estereoscópico, de las preparaciones seriadas procedentes de material correspondiente a osteotomías tibiales de 7, 15, 30 y 60 días de evolución ha dado lugar a las observaciones que a continuación se exponen haciendo referencia, en primer lugar y en cada periodo de evolución, a las tibias intervenidas con el fijador de tipo angulación, siguiendo a continuación la descripción correspondiente a las tibias intervenidas con el fijador de tipo flexión. Asimismo, la descripción de las distintas microangiografías se llevará a cabo siguiendo una sistemática que incluirá en primer lugar, la descripción de la región medular, seguidamente la de la región cortical y finalmente la de la región perióstica. No obstante, conviene señalar previamente que las observaciones se han llevado a cabo en todos los casos en una zona correspondiente, aproximadamente, al tercio central o medio de la diáfisis de la tibia, por ser ésta la porción en la que se practicó la osteotomía. No se ha analizado, por tanto, la microvascularización de las porciones más proximales y más distales de la tibia por no haber sido seleccionadas para su estudio.

4.1. Descripción microangiográfica en osteotomías de 7 días de evolución

Procederemos seguidamente a la descripción de las características microangiográficas observadas en el grupo de angulación para posteriormente referirnos a las del grupo de flexión.

GRUPO DE ANGULACIÓN

Con respecto a la descripción de la microvascularización medular, en ninguno de los cortes analizados se han podido observar las ramas intramedulares principales de la arteria nutricia. Sin embargo, sí que se observa en la totalidad de las preparaciones, una amplia red de vasos de mediano y pequeño calibre en el interior de la cavidad medular (Fig. V.15) También parece haberse restablecido la circulación sanguínea a nivel de la línea de osteotomía observándose una red capilar que conecta ambas porciones proximal y distal. Asimismo, puede observarse también algún foco de extravasación del material radioopaco.

A nivel cortical, destaca la presencia en todas las preparaciones y en mayor o menor medida, de un espacio de fractura intercortical que comienza a ser ocupado por tejido vascularizado, de tal manera que se observa ya la penetración desde la periferia de brotes capilares periósticos de dirección perpendicular al eje longitudinal de la tibia (Fig. V.16). A ambos lados de la línea de osteotomía, las corticales presentan una zona central longitudinalmente dispuesta en la que los vasos no aparecen inyectados (Fig. V.16). Por el

contrario, las porciones corticales próximas a las superficies perióstica y endóstica aparecen vascularizadas por pequeños vasos conectados, respectivamente, con las redes vasculares perióstica y medular. En el fragmento tibial proximal se observa una predominancia del aporte vascular a las corticales procedentes de la red vascular medular (Fig. V.16).

En la región perióstica de todas las microangiografías analizadas se observa también una marcada activación de la circulación perióstica, tal y como se ha mencionado en el párrafo anterior, penetrando incluso brotes vasculares desde el exterior en el espacio de fractura (Fig. V.16).

GRUPO DE FLEXION

En la región medular se observan arterias y arteriolas medulares de mediano y pequeño calibre así como una densa red capilar. No se observan las ramas ascendente y descendente de la arteria nutricia principal, cuyo trayecto ha sido seccionado en algún punto cuando se llevó a cabo la osteotomía. Se aprecia la presencia de una zona casi completamente radiolúcida avascular (Fig. V.17), que se repite en las otras preparaciones de esta serie, localizada en un espacio de la cavidad medular inmediatamente proximal a la fractura, comprendido entre la propia línea de fractura y el orificio de la aguja nº 2 del fijador externo. Esa zona avascular afecta también, como veremos a continuación, a las corticales óseas próximas a la línea de fractura.

En la región cortical de la mayoría de preparaciones se puede constatar que la compresión generada por el fijador se traduce en un "gap" de fractura mínimo y no se observa presencia de hemorragia entre las superficies de fractura ni en sus proximidades. En la totalidad de las preparaciones destaca la presencia de una amplia zona avascular o, al menos, en la que no se ha producido replección vascular completa con el material de contraste radioopaco, de unos 1,5 cm de longitud media a ambos lados de la línea de osteotomía y llegando, proximal y distalmente a ella, hasta un nivel correspondiente al centro de los orificios producidos por las agujas del fijador más próximas a la fractura (Fig. V.17). Esta zona avascular podría ser equivalente, por lo que se observa en las preparaciones aisladas, a un rombo bastante regular, de unos 3 cm de longitud total, cuyos vértices coinciden con el centro de los orificios de las agujas más próximas a la fractura y cuya base corresponde exactamente con la línea de fractura. La reconstrucción de esta zona avascular rómbica observable en las preparaciones centrales de la tibia, junto con las imágenes de las áreas avasculares observadas en las secciones más tangenciales, puede corresponder a una configuración de la zona avascular equivalente en su conjunto a dos conos unidos por sus bases, cuyo plano de unión correspondería al plano de la osteotomía. Destacar sin embargo,

que en una preparación (7F⁴) se observó la presencia de cierta vascularización en uno de los lados de una de las corticales mientras que en las restantes corticales perduraba el defecto vascular descrito anteriormente.

En la región perióstica observamos cómo se ha iniciado ya una reacción vascular a nivel del foco de fractura que, sin duda, acompaña a la reacción tisular local constitutiva del inicio de la formación de un callo perióstico (Fig. V.18). Dicha reacción vascular consiste en un apreciable aumento de la cantidad y del diámetro de los vasos periósticos, que, además, comienzan a adoptar en la región activada una característica disposición de sus ramas dirigidas perpendicularmente a la superficie externa de las corticales adquiriendo un aspecto relativamente similar a las "patas de una araña". En zonas algo más alejadas del foco de osteotomía el calibre de los vasos periósticos y su número es menor y su disposición no es perpendicular, sino predominantemente paralela a la superficie de las corticales.

4.2. Descripción microangiográfica en osteotomías de 15 días de evolución

GRUPO DE ANGULACION

El aspecto de la red vascular medular a nivel del foco de fractura en las preparaciones del grupo de angulación es similar al observado en el grupo de flexión de igual evolución, presentando una red relativamente densa de vasos de calibre capilar de disposición irregular, detectándose conexiones tanto con la red vascular de territorios medulares cercanos al foco de osteotomía como con los vasos corticales (Fig. V.20). También en las osteotomías de 15 días de evolución se observa perfectamente la penetración de tejido vascularizado procedente de la red medular en los espacios de fractura entre las corticales, las cuales aparecen ligeramente más separadas que en el grupo de flexión (Fig. V.19).

En la región cortical se observa también la presencia de una abundante vascularización de las corticales a ambos lados del espacio de fractura y prácticamente hasta el propio límite osteotomizado de las corticales (Fig. V.20). En esta fase, como en casos anteriores, no se aprecia de forma mayoritaria, salvo en alguna ocasión, la existencia de conexiones vasculares entre los vasos corticales y la red vascular de origen medular interpuesta en el espacio de fractura.

En cuanto a la región perióstica y aunque la activación de la vascularización perióstica no es completamente regular y homogénea a lo largo de todo el perímetro del foco

4

Denominación idéntica a la utilizada anteriormente para identificar las imágenes gammagráficas aunque en esta ocasión referidas a las preparaciones microangiográficas. Por lo tanto, en este caso correspondería a las microangiografías del animal n° 5, extremidad intervenida con el fijador de tipo flexión.

de fractura ni en todas las preparaciones, en conjunto puede afirmarse que en esta etapa la vascularización perióstica ha experimentado un manifiesto desarrollo. Asimismo y además de estar considerablemente incrementada, la vascularización perióstica adopta ya la morfología y el patrón de distribución característicos de un callo perióstico temprano (Fig. V.21). En este sentido, podemos observar cómo a partir de vasos de calibre relativamente considerable, que discurren sobre el límite externo del callo perióstico y con un trayecto aproximadamente paralelo a la diáfisis tibial, surgen una serie de ramas que se ordenan de fuera adentro, es decir, desde la superficie hacia el interior del propio callo perióstico y hasta el límite entre éste y la superficie cortical. La imagen que se observa en el plano correspondiente a la preparación microangiográfica, recuerda a un cuadro sinóptico intensamente dicotomizado a partir de un tronco común, mientras que la reconstrucción tridimensional daría lugar a una estructura en forma de manguito dispuesto en torno a la diáfisis tibial de mayor diámetro a nivel de la osteotomía y que equivaldría a la reacción y callo periósticos en cuyo interior se distribuirían las estructuras vasculares que tratamos de describir. De este modo, a partir de los vasos periféricos de mayor calibre ya mencionados, surgen, perpendicularmente a ellos, ramas de corto trayecto que dan lugar a otras en forma de asas de disposición prácticamente paralela a los primeros vasos y, a su vez, a la diáfisis tibial. De éstas últimas surgen perpendicularmente otras ramas, también de corto trayecto, que constituyen la base de unas estructuras vasculares de configuración muy peculiar y, hasta cierto punto, comparables a un candelabro o, en cierta medida a la morfología estilizada de una araña. Expresado en otros términos, a partir de estas últimas ramas cortas parten también perpendicularmente unos vasos en forma de clave, coincidiendo su centro con el origen de dichas ramas cortas, dispuestos de nuevo paralelamente a la diáfisis, de los que se originan finalmente y con trayecto perpendicular a su vaso de origen una serie de ramas largas muy regularmente paralelas entre sí y que penetran en la mayor parte del espesor del callo y de la reacción perióstica, con un trayecto, a su vez, regularmente perpendicular a las corticales tibiales. Estos últimos vasos de mayor longitud presentan un curso prácticamente rectilíneo y un diámetro uniformemente decreciente desde la periferia del callo hacia su interior que termina por hacerse prácticamente imperceptible en las proximidades de la superficie de las corticales tibiales. En algunas preparaciones pudimos observar la formación de asas vasculares que unen entre sí algunos de estos vasos precisamente en la proximidad inmediata a la sustancia compacta. En otras ocasiones, algunos vasos mantienen su diámetro constante a lo largo de todo su trayecto y conectan directamente con la red vascular de las corticales diafisarias de la tibia (Fig. V.22)

Esta peculiar ordenación y arquitectura de la vascularización perióstica permite, probablemente, extraer varias consecuencias. En primer lugar, que dada la forma de ramificación y de diámetro decreciente de los vasos que forman la vascularización perióstica activada parece que la circularción sanguínea es de carácter centrípeto, es decir, se lleva a cabo desde la periferia hacia el centro; por la misma razón, podría considerarse que la red

vascular correspondiente tendría un carácter arterial. En segundo lugar, puede deducirse que este sistema vascular de aparición y formación acompañante a la constitución del callo perióstico y, por tanto, a la activación del periostio que ello lleva consigo, parece más bien destinada a vascularizar el propio callo perióstico. Por último, la existencia de conexiones esporádicas entre este sistema vascular perióstico y la red vascular cortical podría considerarse como aporte vascular, al menos transitorio, desde el periostio hacia la sustancia compacta de la diáfisis tibial.

GRUPO DE FLEXION

La región medular aparece ocupada por una amplia red vascular, mayoritariamente capilar, que también se encuentra a nivel del foco de fractura, de tal manera que se observa continuidad vascular entre ambos lados de la fractura. A nivel del foco de fractura, una serie de vasos procedentes de la red vascular medular avanzan penetrando en la zona osteotomizada, adoptando una disposición perpendicular al eje longitudinal de la tibia (Figs. V.23, V.24, V.25) En algunos puntos se observa continuidad vascular entre estos vasos de procedencia medular y los que forman parte de la red vascular perióstica integrados en la formación del callo perióstico (Fig. V.24).

La red vascular de la región cortical presenta su característica disposición ordenada longitudinalmente de forma paralela el eje del hueso (sistemas haversianos), conectados perpendicular u oblicuamente entre sí por vasos que ocupan los conductos de Volkmann. La vascularización cortical está mayoritariamente conectada con la red vascular medular. Conviene destacar en las corticales la presencia de una red vascular nueva, probablemente de origen cortical cuya función principal consista en la remodelación del hueso (Fig. V.24). Por otra parte, la red vascular cortical es incluso más abundante en las proximidades del foco de fractura que en otras porciones corticales más alejadas de él.

En la región perióstica se observa una abundante formación de callo perióstico con el patrón característico de vascularización ya descrito. Destaca aquí, por otra parte, la existencia de un escaso número de conexiones entre el sistema vascular perióstico y la red vascular cortical y una menor densidad vascular.

4.3. Descripción microangiográfica en osteotomías de 30 días de evolución

GRUPO DE ANGULACION

La amplia red vascular medular, hecho ya observado anteriormente, se encuentra conectada a ambos lados del espacio de fractura por medio de vasos de mediano y pequeño

calibre que pasan claramente de un lado a otro de la línea de fractura (Fig. V.26, V.27). No se ha observado hasta ahora la reconstrucción de las grandes arterias (ascendente o descendente) centromedulares, que lo más probablemente no se reanastomosan directamente sino más bien por la intermediación de una red vascular, que sólo con el transcurso del tiempo y según la dirección dominante del flujo sanguíneo dará lugar a la formación de segmentos arteriolares o arteriales que sustituyan la función de las grandes arterias centromedulares.

En la región cortical destaca la mayor abundancia de vascularización observable en las corticales a ambos lados de la línea de fractura, con conexiones vasculares procedentes predominantemente de la red vascular medular (Fig. V.29). El espacio entre corticales a nivel del foco de osetotomía resulta mayor que en el grupo de flexión y a diferencia de lo que se observa en dicho grupo de flexión, se halla aquí completamente ocupado por tejido abundantemente vascularizado tanto desde la red medular como desde el callo perióstico (Fig. V.13).

La vascularización perióstica se presenta muy abundante y característica de un callo perióstico de fractura ya maduro (especialmente en las microangiografías 18A). Destaca especialmente la detección de algunas áreas radiolúcidas avasculares en el callo perióstico y en proximidad inmediata con las corticales en pleno foco de fractura, que podrían corresponderse (por su carácter avascular) con tejido fibrocartilaginoso (microangiografía 8A) (Figs. V.26, V.28). Hay que señalar, no obstante, que las dimensiones del callo perióstico de fractura y de la reacción perióstica adyacente al propio callo no son las mismas a lo largo de todo el perímetro de la diáfisis tibial. A este respecto, podemos observar que el callo perióstico tiene tendencia a presentar mayor espesor y, por tanto, posee una más abundante vascularización allí donde la separación entre corticales es mayor y, además, se encuentran ligeramente desalineadas (8A).

GRUPO DE FLEXION

La red vascular medular presenta características semejantes a las observadas en el grupo de angulación dentro del mismo periodo de evolución (Fig. V.30). Por lo tanto, se observan gran cantidad de vasos, algunos ya de cierto calibre, y una amplia red vascular interconectada a ambos lados de la línea de fractura (Fig. V.31).

La densidad de la vascularización cortical parece irregular en el periodo de evolución aquí considerado. Mientras en unas zonas corticales la vascularización parece abundante y conectada tanto con el periostio, como sobre todo con la red vascular medular (Figs. V.32, V.33), y tanto en la porción inmediata a la línea de fractura, como en porciones más alejadas de ella, en otras la vascularización existente o, al menos, la cantidad de vasos inyectados es

más escasa (Fig. V.31). Esta última situación descrita se da particularmente en algunas porciones corticales próximas a la línea de fractura, mientras que a medida que nos alejamos de ella, en esas porciones la riqueza vascular vuelve a ser abundante. Por otra parte, la vascularización del tejido interpuesto entre las corticales a nivel del foco de fractura también presenta discontinuidades, es decir, se observan algunas pequeñas áreas desprovistas de vasos que, ciertamente, podrían corresponder a tejido fibrocartilaginoso, en particular del lado del perióstico del callo de fractura.

A juzgar por la abundantísima y característica vascularización perióstica, el callo perióstico de fractura ha alcanzado ya su madurez así como unas dimensiones considerables, formando un puente que une externamente ambas corticales a nivel del foco de fractura. Asimismo, es necesario destacar la presencia de una zona radiolúcida (microangiografía 8F) en el interior del callo perióstico y a nivel del foco de fractura que se corresponden probablemente con tejido fibrocartilaginoso todavía no calcificado, y por tanto, todavía avascular (Fig. V.30).

4.4. Descripción microangiográfica en osteotomías de 60 días de evolución

GRUPO DE ANGULACION

En aquellos casos en que la fractura se encuentra ya prácticamente resuelta (animales 5 y 20) se hace realmente difícil identificar en estas preparaciones dónde se encontraba el antiguo foco de osteotomía (Figs. V.34, V.21). En realidad, lo único que puede apreciarse es la existencia de una red vascular ligeramente más abundante de lo normal en las tres regiones que venimos analizando, lo que permite identificar esas zonas como correspondientes a la localización del antiguo foco de fractura. Por el contrario, cuando la fractura no está del todo resuelta o durante su resolución se ha detectado una cierta desalineación interfragmentaria (animales nº 6 y 19) (Fig. V.36), la vascularización de las distintas regiones todavía presenta características que pueden ser descritas como hacemos a continuación.

La vascularización en la cavidad medular está formada por una amplia red desde la que radialmente se emiten numerosos vasos que abordan perpendicular u oblicuamente a las corticales constituyendo su principal aporte vascular. Esta red vascular es todavía particularmente densa a nivel del foco de osteotomía.

Las corticales aparecen bien vascularizadas con una disposición característica de sus vasos ordenados mayoritariamente de forma longitudinal y paralelamente entre sí. Sin embargo, a nivel del foco de fractura, la ordenación de los vasos es irregular y de carácter más bien reticular, lo que indica que todavía no se ha remodelado suficientemente el tejido

óseo del callo de fractura a nivel cortical para constituir la sustancia ósea típicamente compacta. Aunque las corticales reciben la mayor parte de su aporte vascular desde la red medular, también reciben vascularización perióstica ligeramente más destacada a nivel del foco de fractura.

En estos casos, todavía se observa una acusada reacción perióstica con abundante vascularización, que no sólo está presente, aunque sí más destacadamente, a nivel del foco de osteotomía, sino que se extiende todavía varios centímetros proximal y distalmente por la diáfisis en ambas direcciones desde la línea de fractura. A nivel del propio foco osteotomizado y formando parte del callo perióstico se observan áreas radiolúcidas avasculares de configuración irregular que se corresponden ciertamente con focos de fibrocartílago todavía no calcificado (Fig. V.37).

GRUPO DE FLEXION

En la red vascular medular se detecta la presencia de arterias de calibre mayor al observado hasta ahora, que emiten un número relativamente abundante de ramas que se dirigen radial u oblicuamente a vascularizar la red vascular de la sustancia compacta diafisaria (Fig. V.39). La red capilar medular resulta algo más abundante y más densa a nivel del foco de fractura, ya prácticamente imperceptible como tal en varias preparaciones.

La región cortical presenta un sistema vascular prácticamente normal cuando la fractura se halla ya resuelta. Sólo se aprecia ya una red vascular ligeramente más abundante y algo menos regularmente ordenada que en otros territorios corticales próximos a nivel de la antigua línea de osteotomía, único hecho que permite identificarla en preparaciones microangiográficas necesariamente decalcificadas. El aporte sanguíneo procede mayoritariamente de la red vascular medular, excepto a nivel del antiguo callo de fractura, donde también recibe aportaciones vasculares del periostio. En algunas preparaciones, no obstante, la densidad vascular de la sustancia compacta diafisaria parece algo mayor en el tercio más periférico de su espesor, es decir, el localizado subperióticamente. .

Mientras que en unos casos, dentro de este mismo grupo de flexión que corresponden a una mejor y más pronta resolución de la fractura (5F, 20F), la vascularización perióstica se ha reducido considerablemente para hacerse casi imperceptible, en aquellos casos en que todavía persiste un desarrollado callo perióstico o en las zonas en que éste todavía no ha regresado (5F, 6F, 19F) (Fig. V.38), la vascularización perióstica es aún abundante o, al menos, se observa en forma de pequeña red vascular, siempre en áreas correspondientes al antiguo foco de fractura.

4.6. ANEXO. IMAGENES MICROANGIOGRAFICAS.



Fig. V.15. Microangiografía n° 7A (animal n° 7, grupo de angulación) de 7 días de evolución. Foco de fractura con línea de osteotomía horizontal. (X11).

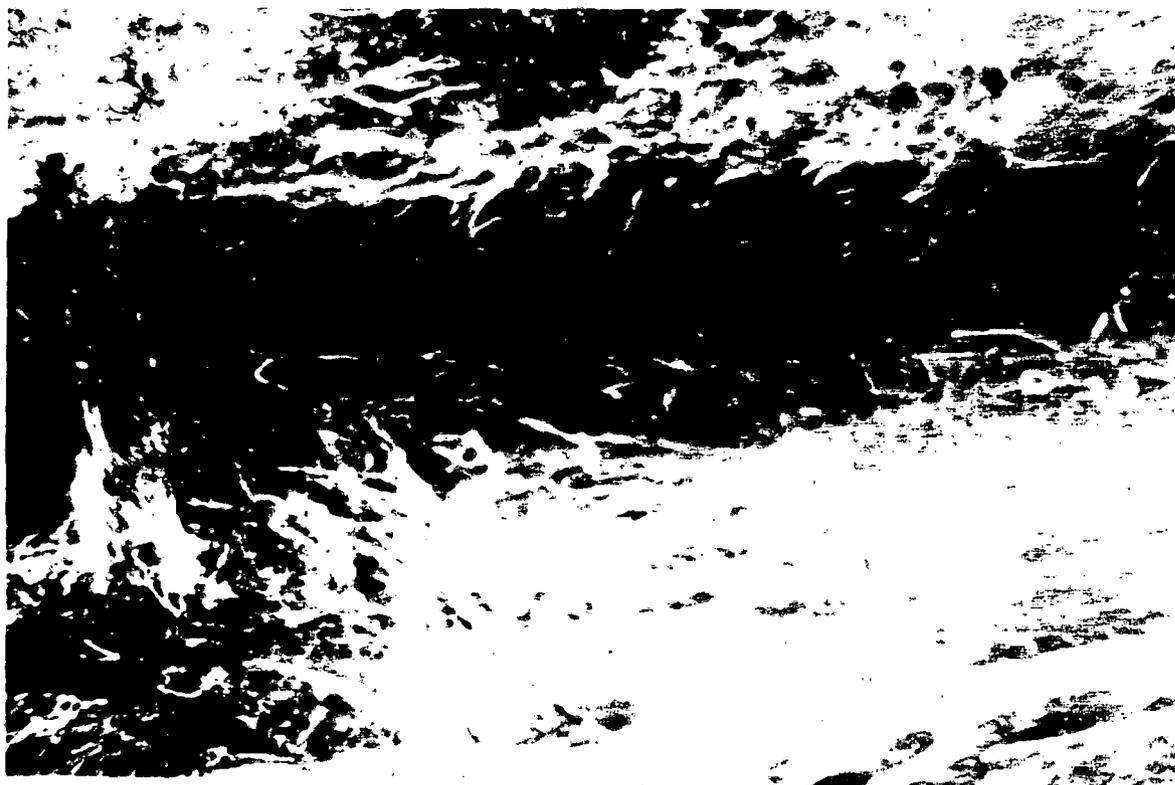


Fig. V.16. Imagen parcial a mayor aumento de la Fig. V.15. Cortical con zona central avascular. (11X).



Fig. V.17 Microangiografía n° 7F de 7 días de evolución. Amplias áreas avasculares en las corticales y en la cavidad medular. (X4).



Fig. V.18. Aspecto parcial a mayor aumento de la Fig. V.17. Zona avascular separada oblicuamente de la zona vascularizada por vasos periósticos (parte superior) en una de las corticales. La línea de fractura se observa a la izquierda. (X11).



Fig. V.19. Microangiografía n° 16A de 15 días de evolución. Destaca la abundante vascularización de las corticales y de la reacción perióstica. (X4).

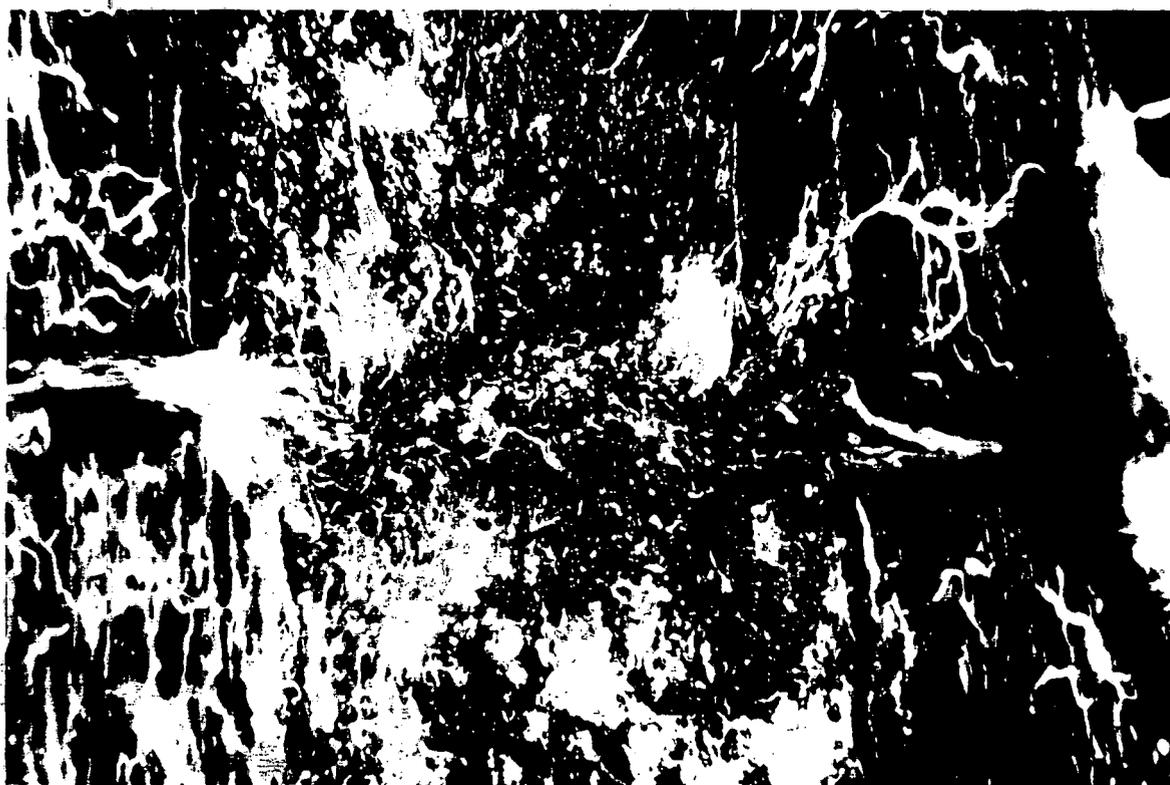


Fig. V.20 Microangiografía 16A (15 días de evolución). Foco de fractura con línea de osteotomía horizontal. Brotes vasculares medulares penetran a ambos lados en los espacios intercorticales de fractura. (X11).



Fig. V.21. Microangiografía n° 16A (15d.). Distribución característica de la vascularización reactiva en el periostio. (X22).

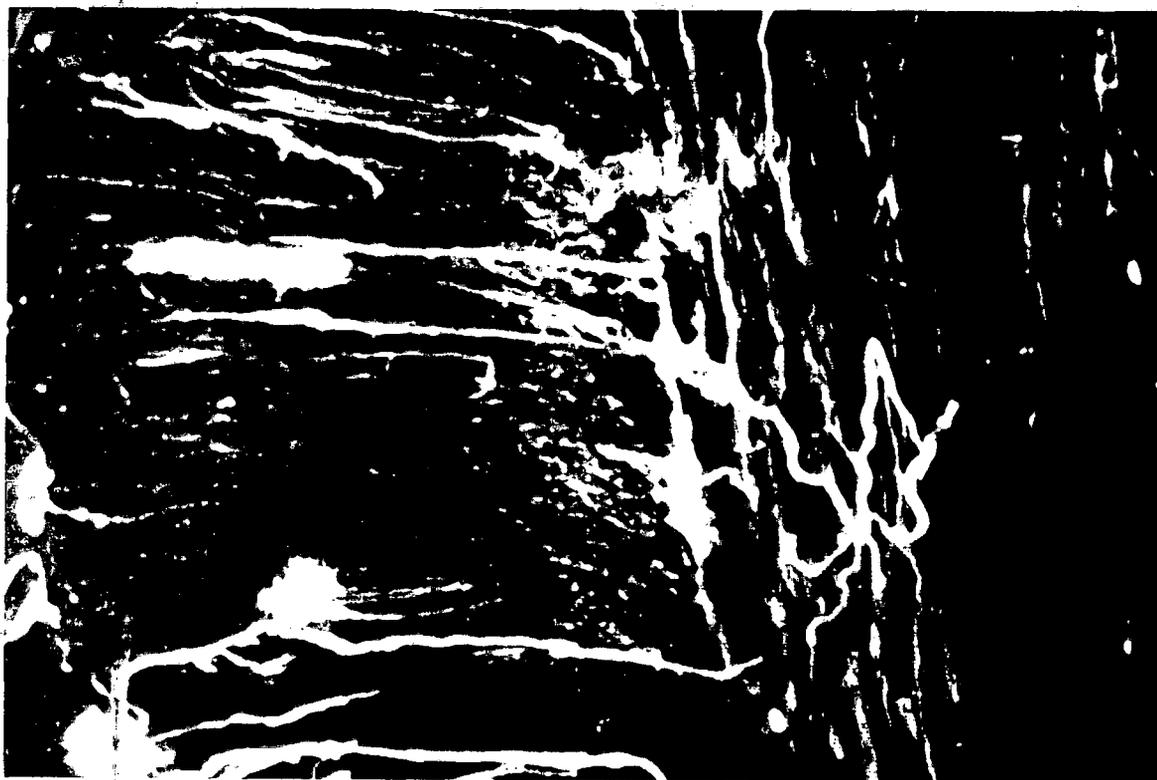


Fig. V.22 Microangiografía 16A (15d.). Vasos del callo perióstico (lado izquierdo) dispuestos perpendicularmente a la cortical (lado derecho). Obsérvese las conexiones entre vasos periósticos y corticales. (X22).

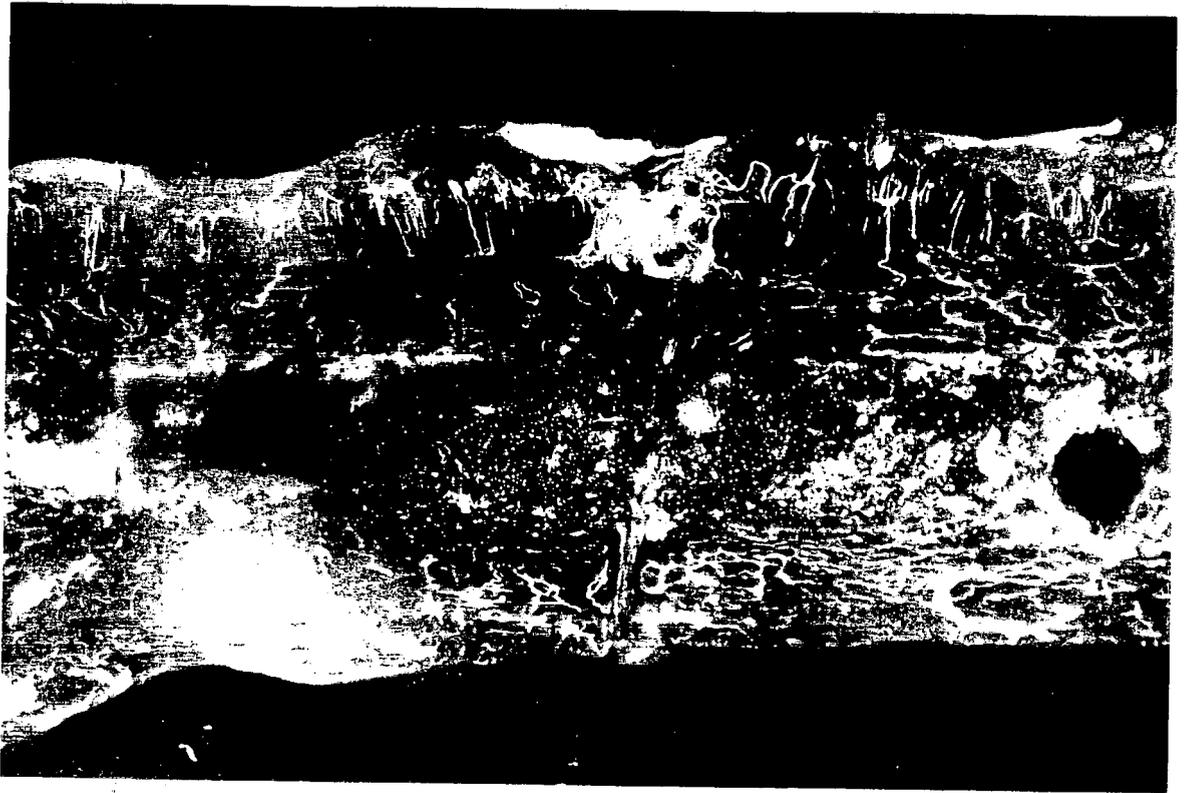


Fig. V.23 Microangiografía n° 16F (15d.). Reacción y callo perióstico en la parte superior. (X4).



Fig. V.24 Microangiografía nº 16F (15d.). Espacio de fractura intercortical ocupado por brotes vasculares de la cavidad medular (lado derecho), conectados con la red vascular perióstica (lado izquierdo). (X22).

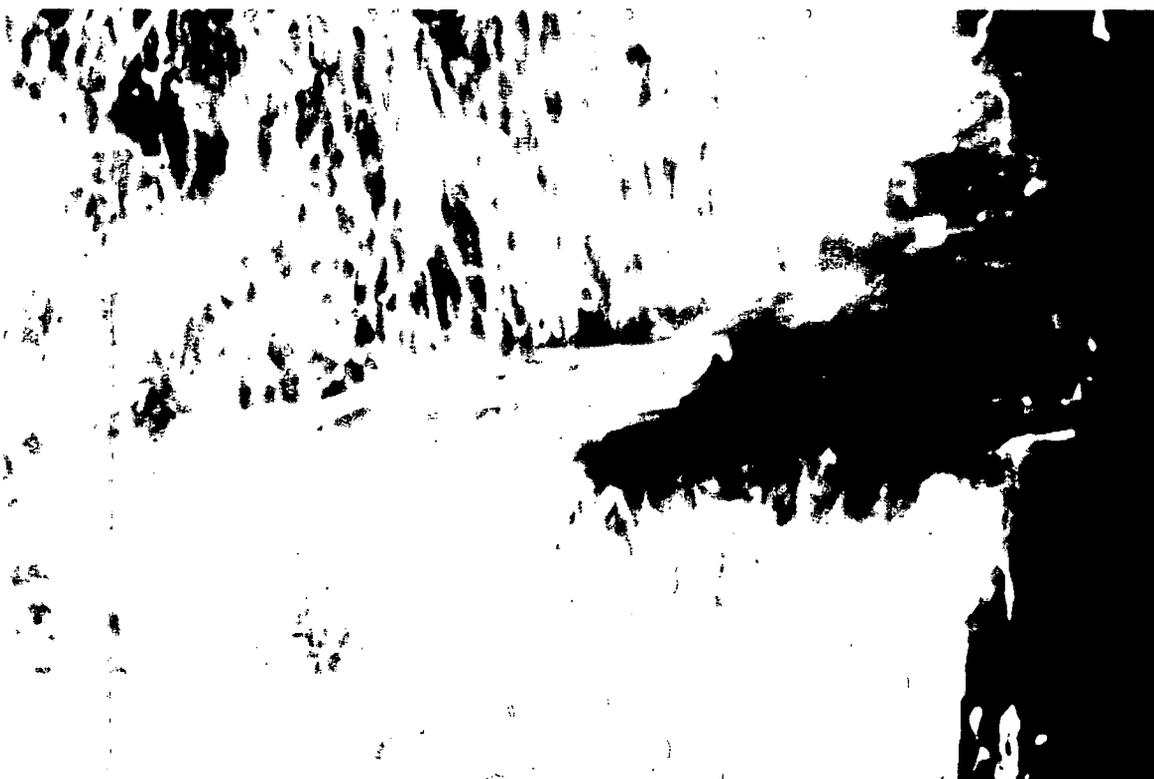


Fig. V.25 Microangiografía 16F (15d.). Espacio de fractura intercortical con brotes vasculares de origen medular. (X22).

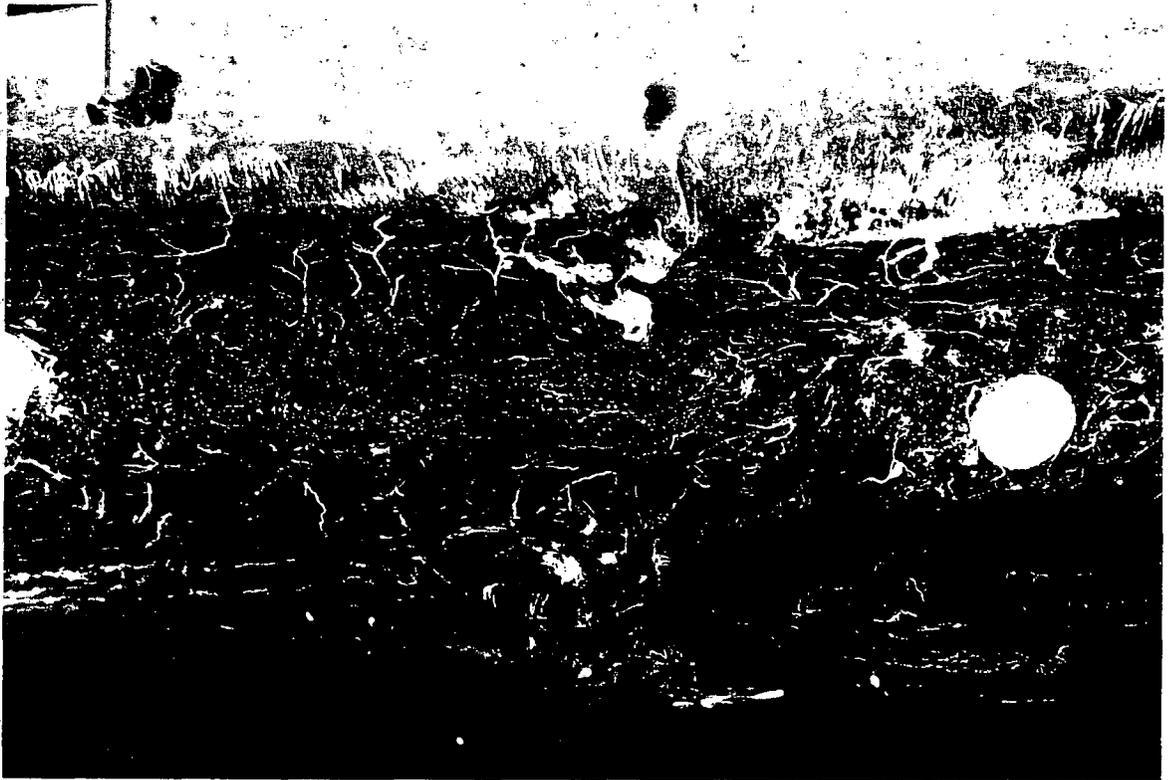


Fig. V.26 Microangiografía nº 8A (30 días de evolución). Foco de osteotomía y callo perióstico. (X4).

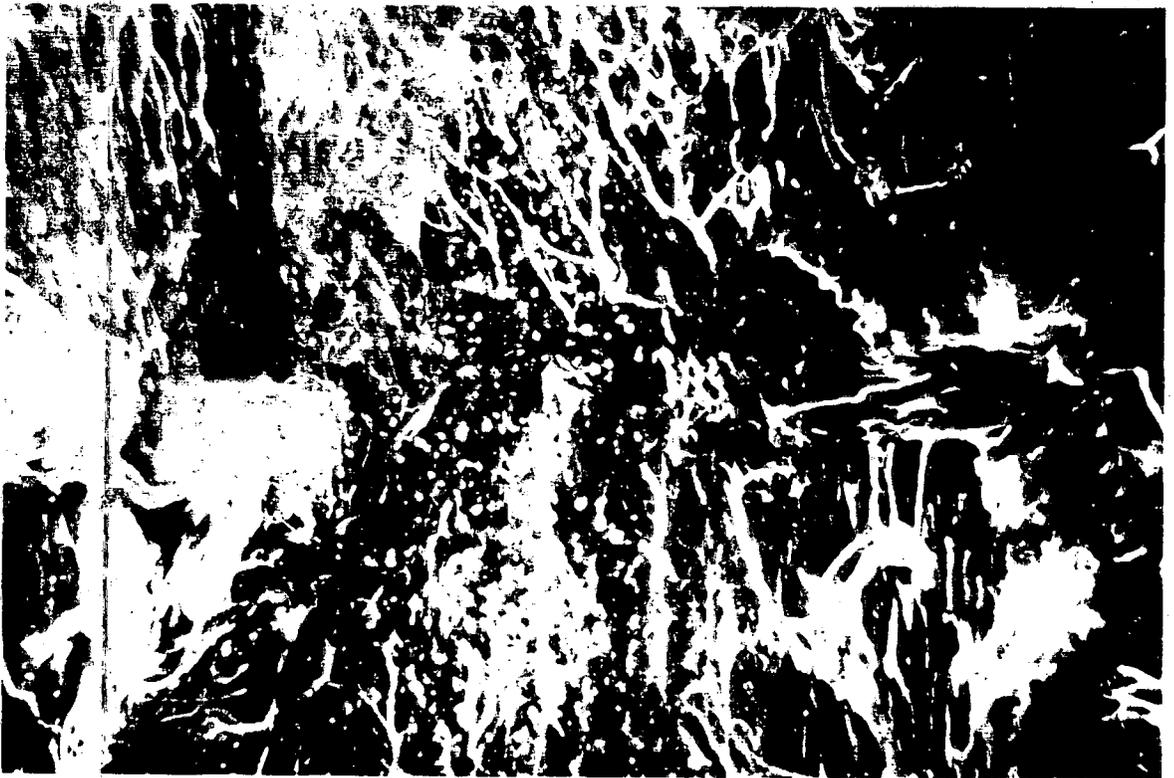


Fig. V.27 Microangiografía nº 8A (30d.). Foco de fractura con línea de osteotomía horizontal. (X11).

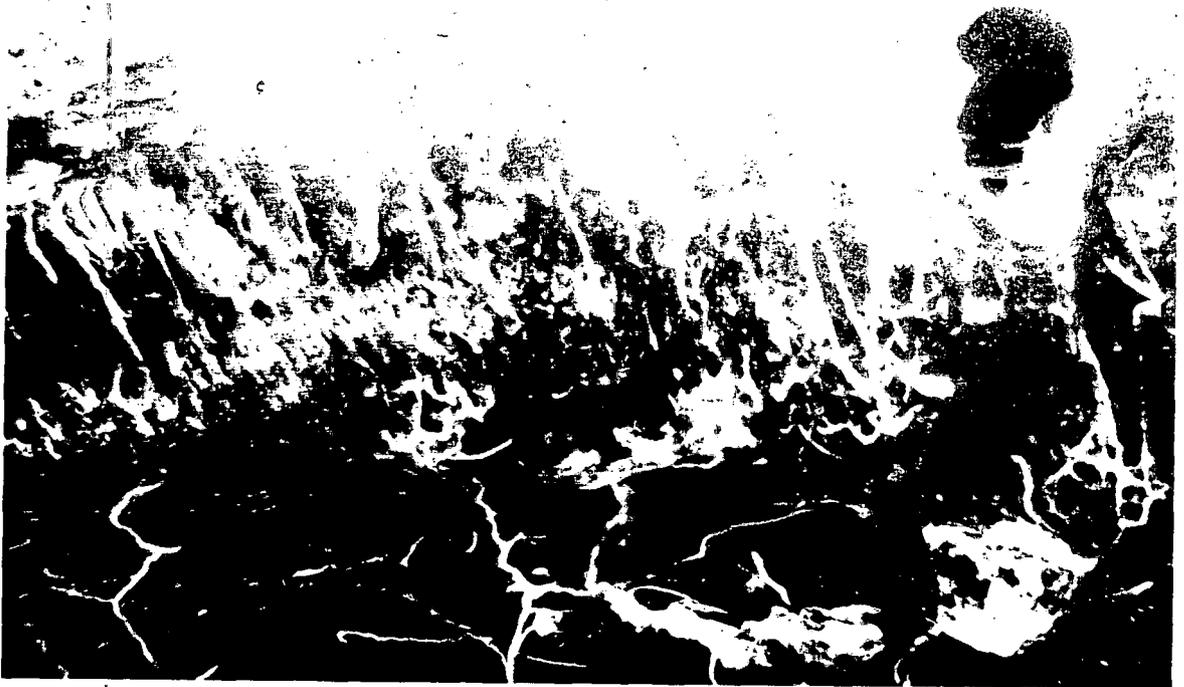


Fig. V.28 Microangiografía n° 8A (30d.). Callo perióstico vascularizado con área avascular (ángulo superior derecho) de tejido fibrocartilaginoso. Cortical vascularizada desde la cavidad medular (parte inferior). (X11).



Fig. V.29 Microangiografía n° 8A (30d.). Obsérvese la cortical (banda central horizontal) vascularizada desde el periostio (parte superior) y desde la cavidad medular (parte inferior). (X11).



Fig. V.30 Microangiografía n° 8F (30d.). Foco de fractura con callo perióstico muy desarrollado. (X4).

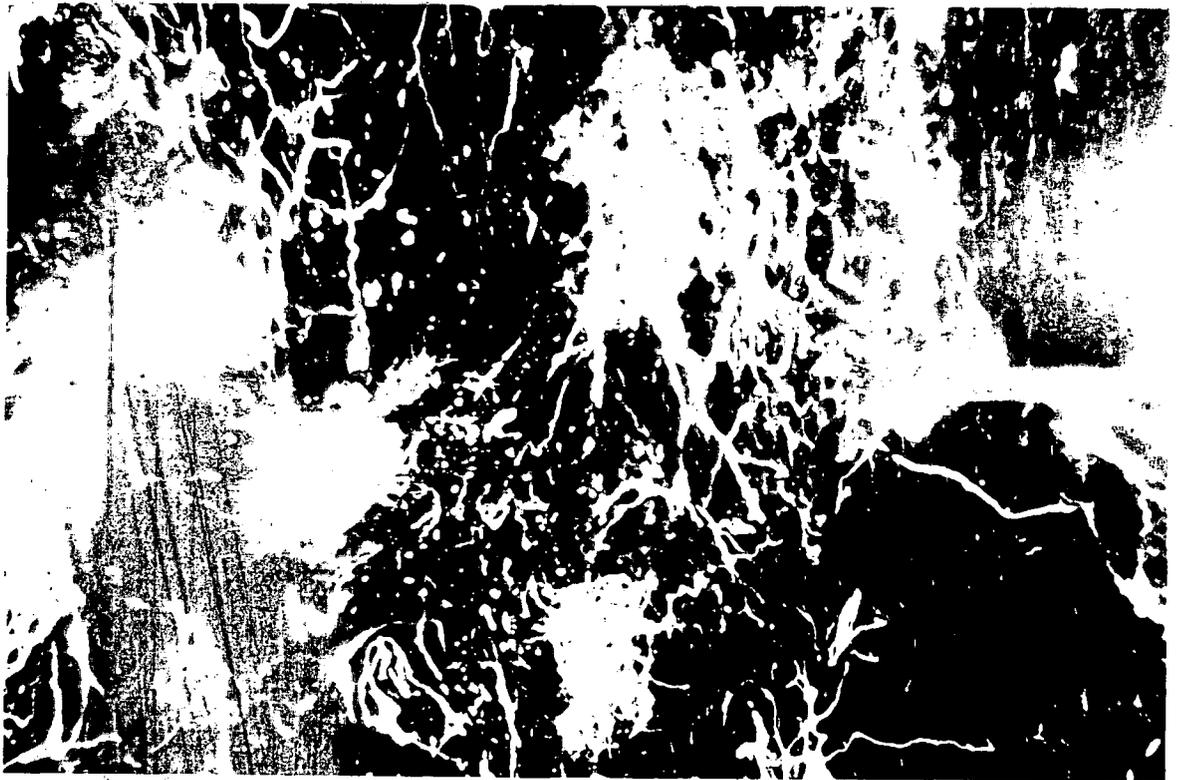


Fig. V.31 Microangiografía n° 8F (30d.). Foco de fractura con línea de osteotomía horizontal. (X11).

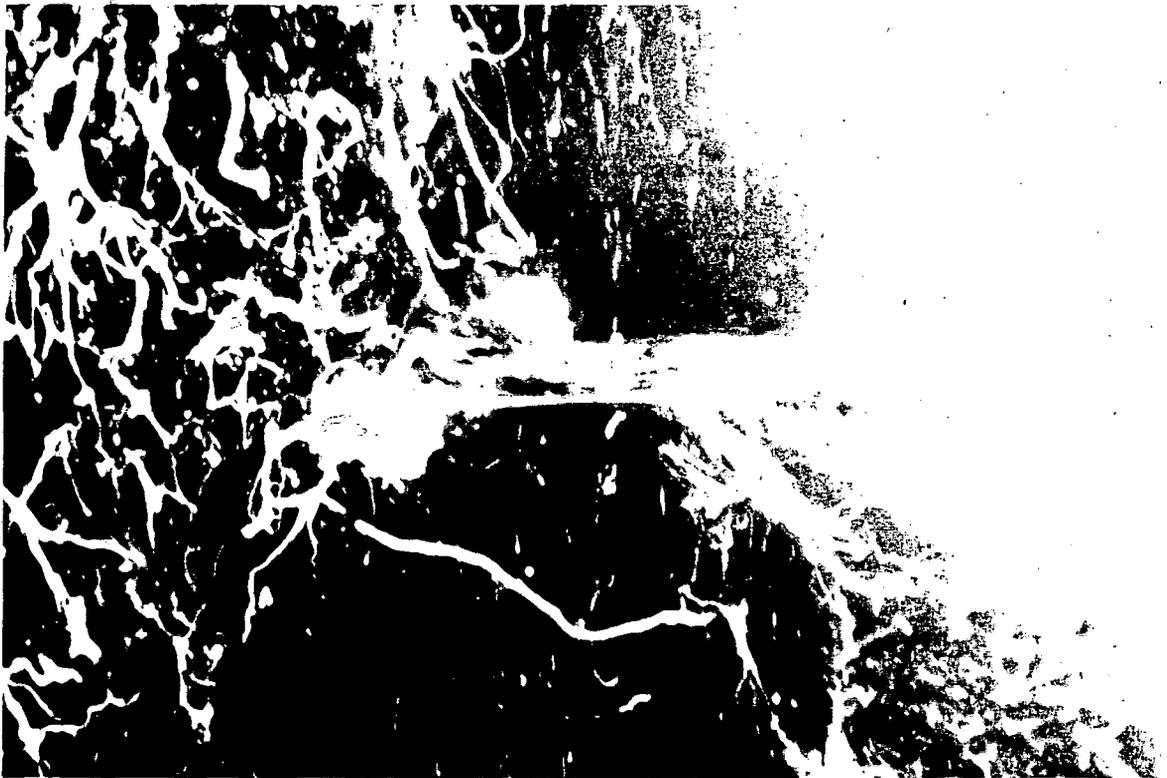


Fig. V.32 Microangiografía n° 8F (30d.). Espacio de fractura intercortical dispuesto horizontalmente ocupado por callo de fractura vascularizado desde la cavidad medular (lado izquierdo) y desde el periostio (lado derecho). (X22).



Fig. V.33 Microangiografía n° 8F (30d.). Substancia compacta vascularizada mayoritariamente desde la cavidad medular (parte superior). (X22).