

Aportación al estudio del callo de fractura en su evolución normal y patológica

Estudio de diversos métodos de exploración aplicados a la experimentación y a la clínica

José M^a Arandes Renu

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

APORTACION AL ESTUDIO DEL CALLO DE FRACTURA

EN SU EVOLUCION NORMAL Y PATOLOGICA

Estudio de diversos métodos de exploración aplicados
a la experimentacion y a la clínica.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
EN MEDICINA Y CIRUGIA

PRESENTADA POR

J O S E M^a A R A N D E S R E N U

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
FACULTAD DE MEDICINA
1978

4.0.0 MATERIAL DE ESTUDIO

4.1.0 Material de experimentación animal.

4.0.0 MATERIAL DE ESTUDIO

La investigación ha sido realizada en sus aspectos experimental y clínico. Comenzamos con el estudio experimental para conseguir una adecuada puesta a punto de las técnicas seguidas, pudiendo así, además, disponer inicialmente de una base sobre la que asentar las posibilidades de los distintos métodos que empleamos e intentar, asimismo, obtener una correlación entre los diversos procedimientos exploratorios que utilizamos y los datos aportados por la anatomía patológica.

4.1.0 MATERIAL DE EXPERIMENTACION ANIMAL

Hemos elegido el conejo como animal objeto de estudio, porque aparte de sus condiciones de domesticidad, fácil manejo y resistencia, presentaba, además, la característica de que el sistema circulatorio del esqueleto de sus extremidades resulta parecido al del hombre, como demuestran mediante un interesante estudio los trabajos de GARRIDO (213), MORGAN (441), TRUETA y CAVADIAS (623).

Para nuestra finalidad, escogimos como hueso el radio de los conejos, a pesar de ser la circulación de la tibia más parecida a la del hombre, como señalan los trabajos últimamente citados, por resultar este hueso más asequible a nuestros medios físicos de experimentación (teletermografía y gammagrafía), y por último, por no requerir la fractura provocada inmovilización alguna, puesto que el cúbito íntegro hace de férula.

Hemos utilizado, tres lotes de conejos comunes (*Oryctolagus cuniculus*), hembras de 4-5 meses de edad y con un peso que oscilaba entre los 1370 y los 2810 gramos. La circunstancia de la edad es importante ya que los fenómenos osteoblásticos se encuentran más acelerados.

El primer lote, de 16 conejos, sirvió para poner a punto la técnica tanto de manipulación de los conejos como la preparación de los cortes para el correspondiente estudio anatomopa-

tológico y también para obtener referencias objetivas, con objeto de tenerlas en cuenta en base a facilitar la interpretación de las imágenes radiográficas, teletermográficas y las proporcionadas por la exploración gammagráfica. Con objeto de que todas las fracturas presentaran las mismas características en cuanto localización y tipo, para que estos parámetros no alterasen los resultados obtenidos se practicó a este primer lote una osteotomía del radio de la pata delantera derecha (Fig. 25) y una incisión semejante en la

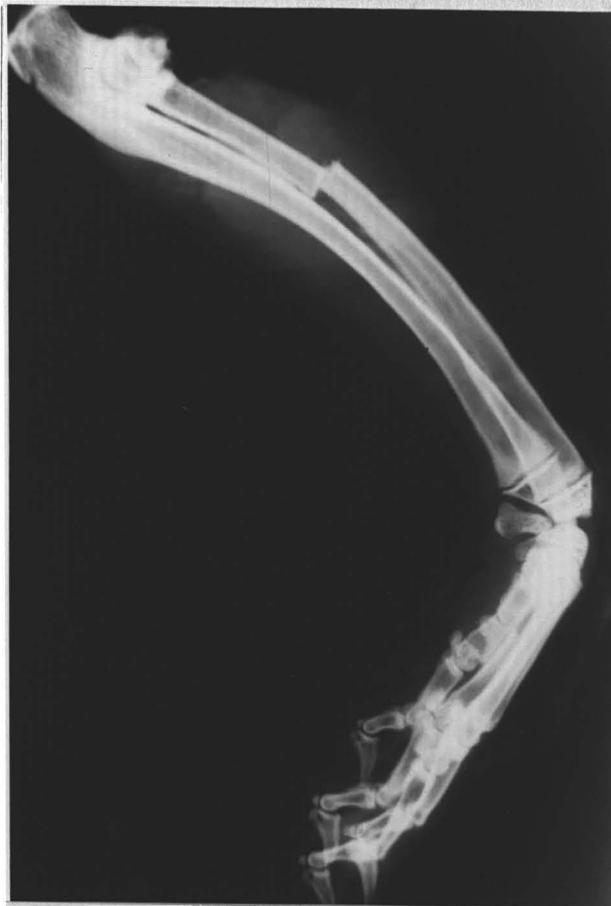


Fig. 25

izquierda, pero interesando solo las partes blandas hasta el plano óseo, demostrando así que el aumento térmico captado por la teletermografía era producido tanto por la herida de las partes blandas como por la osteotomía, encontrando que la hipertermia de la pata osteotomizada era más elevada y duraba más tiempo que la producida por la herida de la piel y músculos, con lo que quedaba patente que era posible estudiar mediante la teletermografía la evolución del proceso de consolidación a través de los cambios vasculares que ocurrían en dicho foco.

Al segundo lote compuesto por 56 conejos, se les practicó una osteotomía del radio de la pata derecha, y en la izquierda una osteotomía ampliada con resección de un fragmento de diáfisis de 2 mm. de longitud, (Fig. 26) con la idea de crear un retardo de consolidación o una pseudoartrosis de tipo hipervascular. Para favorecer la aparición de una pseudoartrosis cada día se llevaba a cabo, manualmente una movilización del foco osteotomizado con objeto de provocar una irritación mecánica a dicho nivel. Este segundo lote de animales también sirvió para realizar un estudio comparativo entre las dos patas estudiadas.



Fig. 26

5.0.0 METODOS DE ESTUDIO

5.1.0 Métodos empleados en nuestra investigación

5.1.1 Gammagrafía

5.1.2 Teletermografía

5.1.2.1 Fundamentos técnicos de la teletermografía

5.1.3 Radiología y Xerografía

5.1.4 Histología

5.1.5 Microangiografía

5.1.6 Diafanización

A continuación vamos a exponer los procedimientos de estudio que hemos empleado, así como las correspondientes técnicas se guidas. Luego pasaremos a consignar los resultados obtenidos y por último procederemos a establecer un juicio comparativo y valorativo de estos métodos.

5.0.0 MÉTODOS DE ESTUDIO

De entre los procedimientos de exploración de la consolidación ósea, que han sido mencionados en otro capítulo, hemos aplicado los siguientes, en nuestra investigación:

- Gammagrafía
- Teletermografía
- Radiología y Xerografía
- Microangiografía
- Diafanización
- Histología

Esta elección no ha sido caprichosa, sino que responde a las posibilidades del medio en que trabajamos y, también, porque estando familiarizados con estos métodos, el rendimiento obtenido siempre será mayor. Además, creemos que ellos aportan resultados suficientemente claros y objetivos. Esto explica sobradamente la selección de los métodos que hemos utilizado. Hemos pretendido que, en lo posible, los métodos empleados en el plano experimental fueran los mismos que los utilizados en el plano clínico, señalando que tanto la microangiografía como la diafanización, no son aplicables al sistemático estudio clínico de las fracturas ni al de la patología de la consolidación.

5.1.0 METODOS EMPLEADOS EN LA EXPERIMENTACION ANIMAL

La lesión provocada, aunque sea como resultado de una osteotomía, la denominaremos y consideraremos, para el objeto de nuestro estudio, como una fractura, en razón a la solución de continuidad ósea producida. La practicamos, previa anestesia general con pentotal sódico, a nivel del radio de las dos patas delanteras de todos los conejos estudiados, variando el tipo de lesión producida según el lote que se trate, como ya hemos indicado en el capítulo anterior.

Previa incisión a nivel del tercio medio de la pata anterior, se disecciona el radio y se pasa por detrás de él un filamento de una sierra de GIGLI y con movimientos oscilantes se practica una osteotomía transversal.

Se ha adoptado esta técnica, como hemos dicho, para que todas las fracturas producidas presentasen exactamente las mismas características en cuanto a localización y tipo de lesión.

Dado que en el primer lote de conejos las infecciones fueron muy frecuentes, lo que dificultaba nuestro estudio, a los demás grupos de animales se les administró, durante cinco días, después de la intervención, 500.000 unidades de penicilina y 0,50 gr. de Estreptomina, en una sola dosis diaria con lo que se evitó esta complicación.

5.1.1 ESTUDIO GAMMAGRAFICO. TECNICA

Semanalmente, empezando la cuenta al día siguiente de la fractura, todos los conejos fueron explorados mediante gammagrafía ósea, empleando pirofosfatos de estaño marcados con Tecnecio 99 metaestable y comparando los resultados que obteníamos, en las dos extremidades.

Para poder realizar la toma gammagráfica se inyectaba en la vena marginal de la oreja de los conejos una dosis de 2 mc. (milicurios) de pirofosfatos.

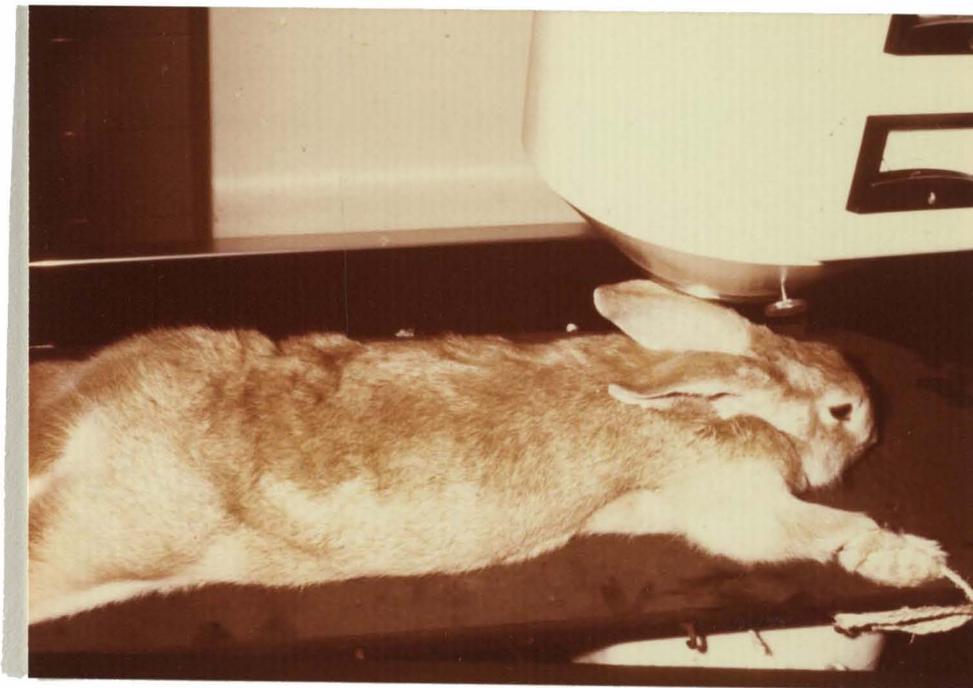


Fig. 27

La captación se realizaba entre una y tres horas después de la inyección del trazador y para conseguir que los conejos no se movilizaran durante la toma gammagráfica, se les administraba una dosis de 1 mgr. de diazepam, procediendo a su sujeción a una tabla, por sus cuatro extremidades (Fig. 27). Entonces es cuando se podía realizar el estudio gammagráfico sin interferencias.

Los fundamentos de este método ya han sido expuestos en el capítulo ... 3.8.2.8

5.1.2 ESTUDIO TELETERMOGRAFICO

semanalmente, también empezando al día siguiente de la fractura, todos los conejos fueron estudiados mediante la teletermografía. Para ello estos animales fueron depilados en sus patas delanteras, con objeto de evitar interferencias a causa del pelo. Esta operación se repitió cada 15 días.

Para conseguir la inmovilidad del conejo durante la toma teletermográfica, se les administraba una dosis endovenosa de 1 mgr. de diazepam por Kg. de peso, y entonces es cuando se fijaba el animal a un cepo al que se le había practicado una ranura por la que sobresalían las patas delanteras, (Fig. 28) lo que per-

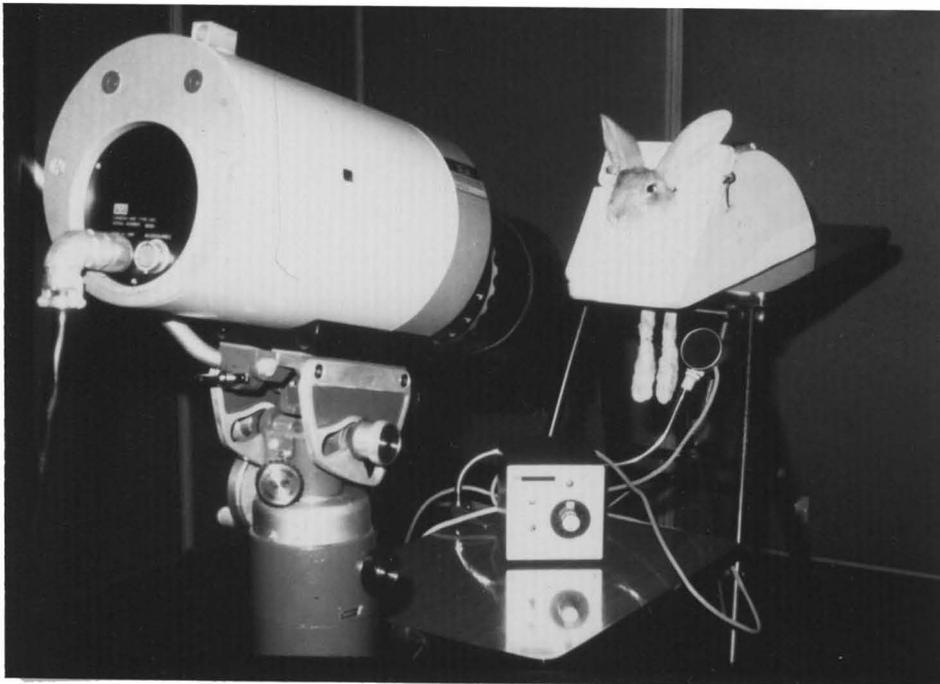


Fig. 28

mitía la exploración simultánea de las dos patas, estudiando comparativamente las fracturas y los retardos de consolidación.

A cada uno de los conejos, en la misma sesión se le tomaban dos registros teletermográficos, uno en blanco y negro, y otro en color.

5.1.2.1 Fundamentos técnicos

Consideramos interesante señalar, aunque sea de una manera muy sucinta, los fundamentos técnicos del método.

En el presente estudio hemos empleado el aparato tipo AGA-680 (4)

En esquema consiste en un detector que transforma de manera instantánea la radiación infrarroja en señales eléctricas convertidas en imagen en una pantalla de televisión.

Para esto se precisa una adecuada cámara y una unidad de visualización.

En la cámara, la radiación infrarroja captada se descompone en líneas verticales y horizontales gracias a una combinación de espejos oscilantes y prismas rotatorios. Así descompuesta, la radiación incide sobre un detector cuántico puntiforme. Este constituye el elemento básico del aparato, pues transforma la radiación en señal de video. La diferencia entre los diversos aparatos y la perfección de los actuales, radica en el tipo de detector empleado. En la cámara AGA-680 (4) se usa el antimonio de indio, que debe trabajar a temperatura muy baja (-170°C), lo que se consigue por enfriamiento con nitrógeno líquido que debe ser repuesto cada cuatro horas.

La señal obtenida se transforma, por un sistema electrónico,

en señal eléctrica, con la que se hace un barrido por 14.000 puntos, sobre una pantalla de televisión, a una velocidad de hasta 16 imágenes por segundo. La cantidad de puntos analizados y el número de imágenes por segundo otorgan a los diversos aparatos las características de resolución y rapidez propias.

La imagen se obtiene sobre una escala que indica en las líneas de abscisas el gradiente térmico y en la de ordenadas la diferencial con que se trabaja. El gradiente térmico puede representarse en una escala de blanco-grises-negro o a la inversa, o bien en diferentes colores, lo que resulta de más fácil apreciación por el ojo humano. La diferencia entre cada tono de gris o entre cada color, dependerá de la escala elegida, que puede variar desde 0,2° C hasta 2° C de diferencial.

Puede marcarse sobre la imagen obtenida una o dos isotermas, con lo que aparecen del mismo tono todas las zonas que están a la temperatura que se analiza, pudiéndose así conocer la diferencia térmica entre dos puntos dados.

Normalmente los datos obtenidos se refieren a temperaturas relativas (diferencia entre las diversas áreas de la zona examinada). puede obtenerse la temperatura verdadera mediante el empleo de un control de temperatura conocida. Igualmente es posible obtener la información en forma gráfica en vez de transformarla en imagen.

Conocidos los fundamentos del aparato se deduce la inocuidad de exploración, lo que es una de sus ventajas, como también su rapidez.

para la correcta valoración de los resultados, es importante realizar la exploración en unas condiciones óptimas. Por la gran sensibilidad del aparato pueden detectarse artefactos si en el local existe alguna fuente de emisión o reflexión de infrarrojos, e igualmente por pequeñas alteraciones térmicas cutáneas.

Por ello el local de teletermografía debe de reunir una serie de condiciones de estanqueidad infrarroja e isotérmica, que han sido precisados por PRATS (508). Igualmente es necesaria la preparación de la zona a explorar, exponiéndola durante 10 minutos a la temperatura ambiente de la sala (19 a 21º C) ayudando a la refrigeración superficial con la pulverización de un líquido volátil y su evaporación por una corriente de aire.

5.1.3 ESTUDIO RADIOGRAFICO Y XEROGRAFICO

Las extremidades desarticuladas de los animales que se sacrificaban en cada grupo eran estudiadas radiográfica y xerográficamente, de esta manera se obtenía la evolución semanal del callo fracturario.

5.1.4 ESTUDIO HISTOLOGICO

Al día siguiente de la obtención de los registros gammagráficos y teletermográficos, se sacrificaban, administrando una dosis letal de pentotal sódico, a dos animales del lote, con objeto de poder realizar un estudio histológico seriado de las fracturas, tratando de relacionar los resultados obtenidos mediante la gammagrafía, teletermografía, radiología y microangiografía, con las imágenes histológicas encontradas en distintos momentos evolutivos de la consolidación.

Para ello disecamos el tronco arterial principal de cada una de las extremidades anteriores, y siguiendo el método de TRUETA y Col. (612), se inyectaba a presión contraste y no rebasando los 150 mm. de Hg. para evitar la ruptura de los capilares lo que alteraría la preparación, una mezcla de micropaque al 40% y azul de Berlín al 60% en suspensión acuosa al 2%, hasta que la porción proximal de las uñas adquirieran el mismo color del líquido inyectado. El micropaque se utilizó como medio de contraste para la investigación microangiográfica y el Azul de Berlín para facilitar la visualización de la vascularización en los cortes histológicos.

Después de inyectar el contraste se procedía a desarticular am bas extremidades anteriores y se colocaban en formol al 10%. Posteriormente fueron disecados los huesos y decalcificados

mediante una solución de ácido nítrico al 5% en formol al 10%, cambiando diariamente la solución durante tres días.

Una vez decalcificados los huesos de las patas de los conejos, fueron cortados con un microtomo y teñidos con hematoxilina-eosina para poder llevar a cabo su estudio histológico.

5.1.5 ESTUDIO MICROANGIOGRAFICO

A la mitad del número total de las extremidades anteriores desarticuladas y a las que, como hemos indicado, se les había inyectado una mezcla de micropaque al 40% y de Azul de Berlín al 60% en suspensión acuosa al 2% fueron descarnadas para obtener aisladamente los radios y someterlos entonces a un proceso de decalcificación. Posteriormente fueron radiografiados siguiendo la técnica de BARCLAY (31), ya expuesta anteriormente, para realizar un estudio microangiográfico, empleando películas KODAK, de grano fino (tipo industrial) y se realizaron las impresiones radiográficas mediante rayos blandos.

5.1.6 ESTUDIO MEDIANTE LA DIAFANIZACION

Asimismo, semanalmente, durante las 6 primeras semanas, las patas de algunos de los conejos del mismo lote, fueron diafanizadas siguiendo las técnicas de SPALTEHOLZ (587), ya expuesta en el capítulo 3.8.2.7.2, y pudiendo entonces ser fotografiadas las preparaciones al trasluz.

- 6.0.0 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS METODOS EMPLEADOS
- 6.1.0 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACION ANIMAL CON
LOS DIFERENTES METODOS EMPLEADOS
 - 6.1.1 Gammagrafía
 - 6.1.2 Teletermografía
 - 6.1.3 Radiología
 - 6.1.3.1 Xerografía
 - 6.1.4 Histología
 - 6.1.5 Microangiografía
 - 6.1.6 Histología

6.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON LA EXPLORACION GAMMAGRAFICA

En el estudio gammagráfico de la consolidación fracturaria realizado con Tc^{99m} hemos encontrado cuatro fases, distintas entre sí, perfectamente catalogables y coincidentes con las ya mencionadas fases descritas por JUDET, J. y JUDET, R. (317). Lo observado en cada uno de estos momentos corresponde a lo siguiente:

1ª fase o fase de inercia aparente:

En esta primera fase: fase de inercia aparente o de formación del hematoma, encontramos que existía únicamente una captación epifisaria, no apareciendo actividad alguna a nivel del foco de fractura. (Fig. 29)

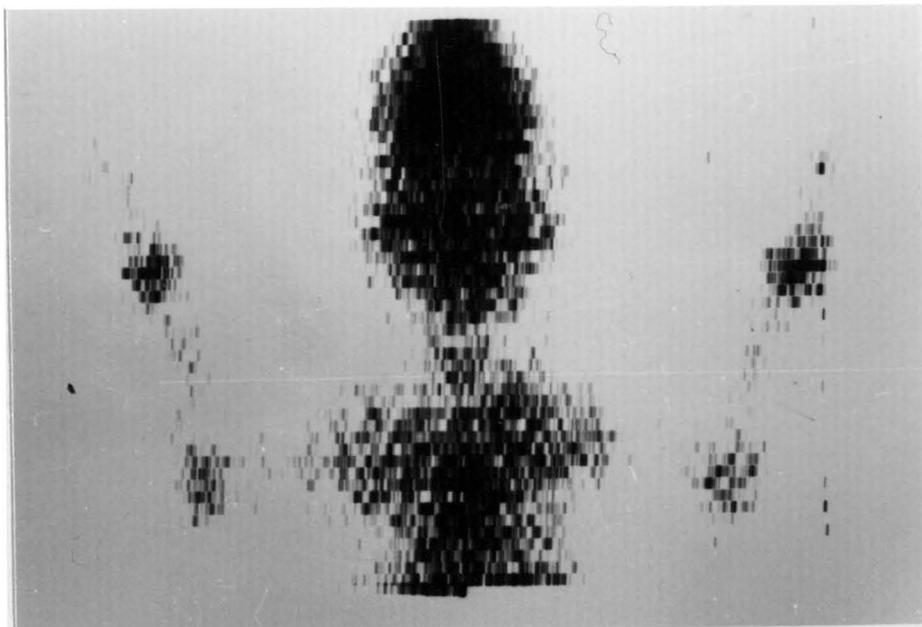


Fig. 29

La captación a nivel del foco no se manifiesta hasta 4 ó 5 días después de producirse la fractura.

El inicio de la actividad a nivel epifisario podría interpretarse como que el comienzo de la respuesta ósea después de una fractura se localiza a nivel epifisario.

Dado que en nuestro estudio empleamos animales jóvenes, que tienen, por lo tanto, un cartílago de crecimiento fértil, esta citada actividad también podría resultar debida a la propia actividad epifisaria normal del conejo para esta edad. Por ello, procedimos a repetir esta investigación inyectando Tc^{99m} a un lote de conejos a los que no se había practicado fractura alguna. El resultado fué que la actividad epifisaria era igual a la que obteníamos inmediatamente después de producida la fractura. (Fig. 30)

De esto deducimos que en esta primera fase, no hay captación de isótopos a nivel fracturario y la encontrada a nivel epifisario, no guarda relación con la fractura.

Por un sistema electrónico, es posible transformar la imagen blanco-negro en otra en color, lo que facilita la interpretación de la gammagrafía. (Fig. 31)

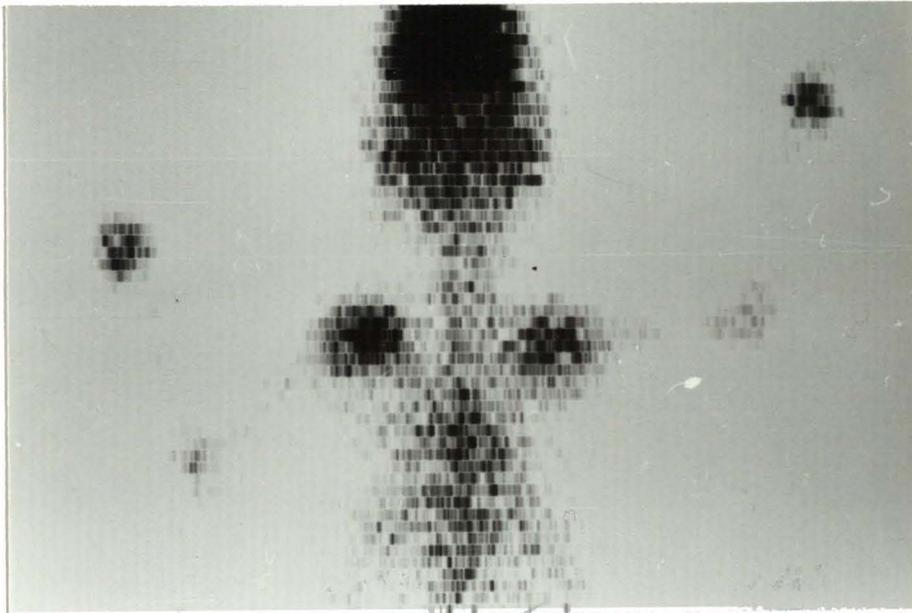


Fig. 30



Gammagrafía en
color correspon-
diente a la de la
Fig. 30

Fig. 31

2ª fase o fase conjuntiva joven

En esta segunda fase obtuvimos un incremento de captación tanto a nivel del foco como a nivel epifisario, (Fig. 32) traduci-

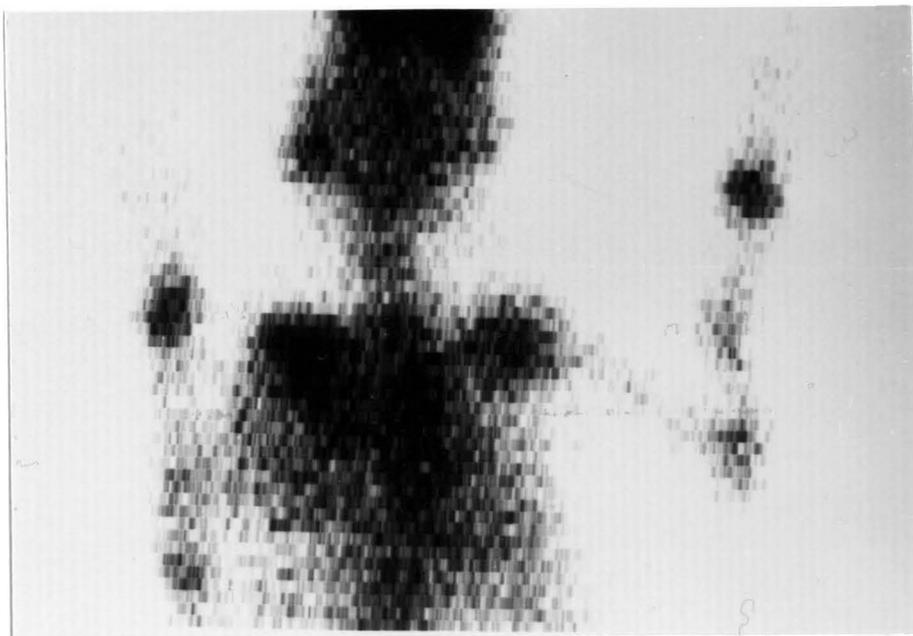


Fig. 32

ciendo la existencia de actividad osteogénica y también el incremento de vascularización en el área fracturaria.

3ª fase o fase de metaplasia del conjuntivo

En esta fase disminuye la captación epifisaria, incrementándose la captación a nivel del foco de fractura. (Fig. 33) La máxima captación se obtiene alrededor del décimo día.

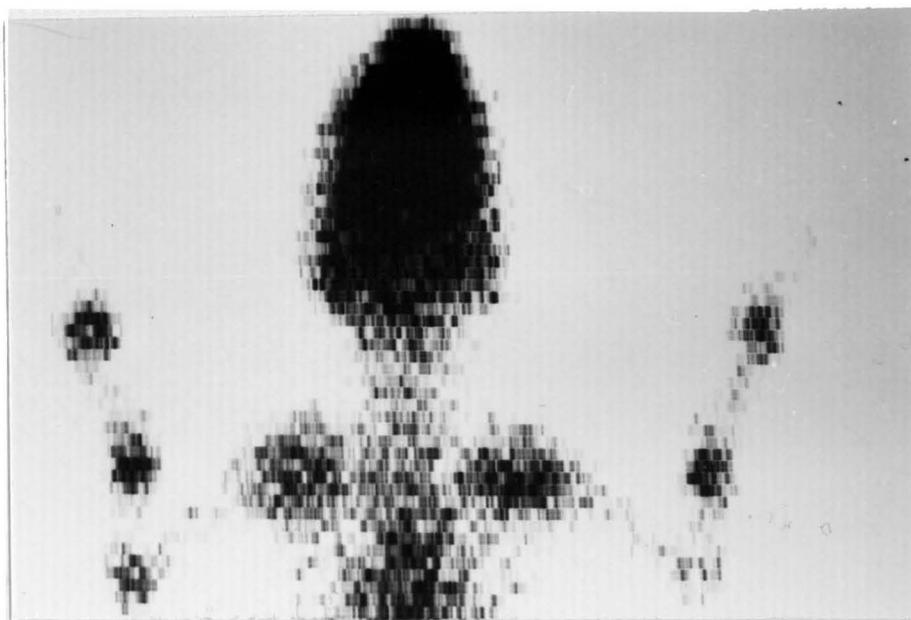


Fig. 33

4ª fase o fase de remodelamiento

La actividad disminuye progresiva y lentamente, (Fig. 34) tardando tiempo en desaparecer (hasta 8 meses).

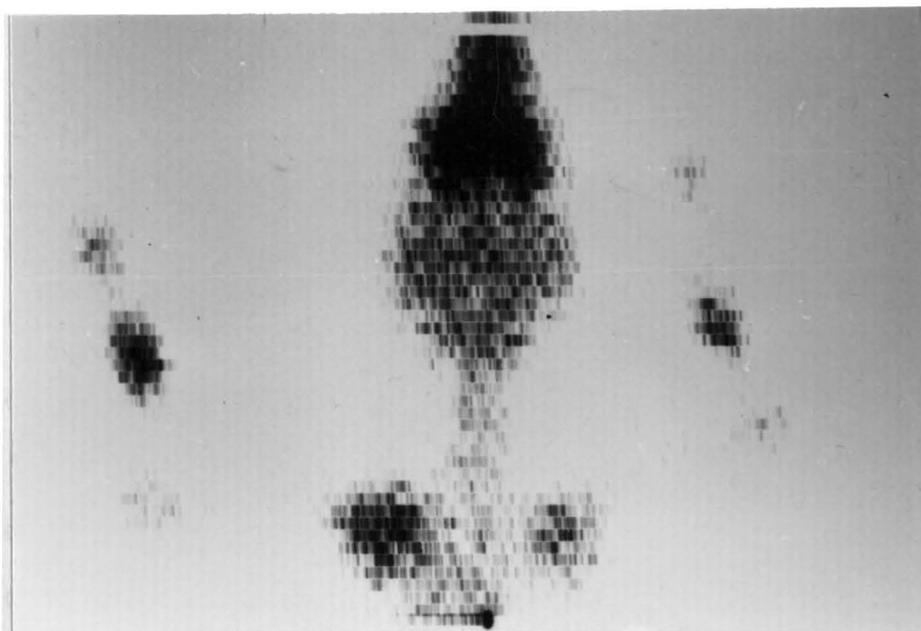


Fig. 34

No encontramos diferencias de captación entre las dos extremidades del conejo, que presentaban lesiones distintas, o sea entre las fracturas y los retardos de consolidación, por ello creemos que para el estudio de la evolución de las fracturas, la gammagrafía resulta ser un procedimiento exploratorio muy inespecífico, puesto que el fosfato se concentra por igual en los tejidos del mesénquima, por ello no es posible distinguir entre un tejido inflamatorio y un tejido necrótico, lo que dificulta la interpretación de las imágenes obtenidas.

Sin embargo, la gammagrafía es el único procedimiento de exploración que nos permite seguir la fase de remodelamiento del callo, puesto que para esta fase todos los demás procedimientos resultan negativos. Por ello, se puede emplear para determinar la fase en que termina la remodelación del callo, (final de la 4ª fase), pero no nos permite precisar el momento en que se ha establecido la consolidación de la fractura (final de la 3ª fase y comienzo de la 4ª), puesto que la desaparición de la captación epifisaria, que ocurre entre la 3ª y la 4ª fases, no coincide exactamente con el momento de la consolidación de la fractura.

Para nosotros, los momentos más trascendentales de la consolidación tienen lugar, precisamente, durante el tránsito de la 1ª a la 2ª fase y de la 3ª a la 4ª fase. El primero es obvio, pues corresponde al momento en que aparece la hipervasculari-

zación a nivel del foco, y el segundo que es cuando la fractura está consolidada y permite, en consecuencia, prescindir de la inmovilización, tanto es así que desde éste punto de vista las cuatro fases de JUDET, J. y JUDET, R. (317) las podemos resumir, según creemos, en las dos siguientes:

1ª fase: Fase de curación mecánica de la fractura. Que se ajusta a la fase inflamatoria de la consolidación y cuyo final coincide con el inicio de la fase de remodelamiento del callo reparativo.

2ª fase: Fase de curación fisiopatológica de la fractura, que abarca y es superponible a todo el proceso de consolidación y cuyo final coincide precisamente con el remodelamiento.

En la primera fase, fase de curación mecánica, la fractura se puede dar como curada físicamente, mientras que la fase de curación fisiopatológica expresa el momento en que ha cesado toda actividad, circunstancia en que el hueso ofrece unas características semejantes o mejor aún, coincidentes con las que existían antes de la fractura. Por lo tanto, indica actuando con rigor científico, que es el momento en que puede procederse a retirar el material de osteosíntesis, circunstancia que suele ocurrir aproximadamente a los 18 meses de la intervención estabilizadora.

Debe sospecharse una alteración en la consolidación cuando la

captación del trazador es superior a la curación fisiopatológica, es decir que no disminuye con el tiempo, la fijación es tá aumentada y se prolonga.

6.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON LA EXPLORACION TELETERMOGRA- FICA

Dado que la formación del callo de fractura puede considerarse como una reacción inflamatoria en la que además de los fenómenos reactivos celulares se presentan otros de neovascularización y de osteogénesis, es por lo que pensamos que el proceso de curación iría acompañado de un incremento del calor local y regional. La teletermografía podría, por lo tanto, ofrecer una información de interés para el estudio del momento evolutivo en que se encuentra el proceso reparativo, representando además un complemento inocuo a los métodos usados clásicamente para estudiar este aspecto.

Los conejos del primer lote a los que en una de las extremidades se les había practicado una osteotomía y en la otra únicamente la herida de las partes blandas sin producir lesión ósea, sirvieron para demostrar que a parte de la hipertemia producida por la lesión de la piel y de los músculos, el termograma captaba también la hipertemia que ocurre durante el proceso reparativo de la fractura.

En definitiva, el incremento de temperatura registrado en la extremidad fracturada era superior al de la otra extremidad testigo. Por otra parte esta hipertemia persistía más tiempo, hasta la consolidación de la fractura y, además, el incremen-

to de temperatura de la extremidad fracturada ofrecía una zona de expresión muy superior al de la extremidad no fracturada que servía de control. Una vez demostrado que con la teletermografía era posible captar las modificaciones circulatorias que ocurrían en el foco de fractura, estudiamos con este método un segundo lote de conejos cuyas alteraciones óseas se encontraban en situaciones o fases distintas de consolidación.

Aclararemos que dado que nuestro estudio experimental lo aplicamos a osteotomías, repetimos la experiencia con un lote de conejos a los que se les produjo una fractura cerrada para que la herida cutánea no alterase la respuesta teletermográfica obtenida en las primeras fases. Los resultados que presentamos a continuación corresponden, pues, al registro teletermográfico de fracturas cerradas.

1ª fase o fase de inercia aparente:

La teletermografía no demuestra aumento térmico, aunque según las características del traumatismo puede aparecer una hipertermia por la simple contusión. (Fig. 35)

2ª fase o fase conjuntiva joven:

Al día siguiente o a los días después de una lesión fracturaria la exploración teletermográfica demostraba la presencia de una imagen que expresaba una franca reacción hipertérmica.

En la mayoría de los casos, en esta área hipertérmica se puede

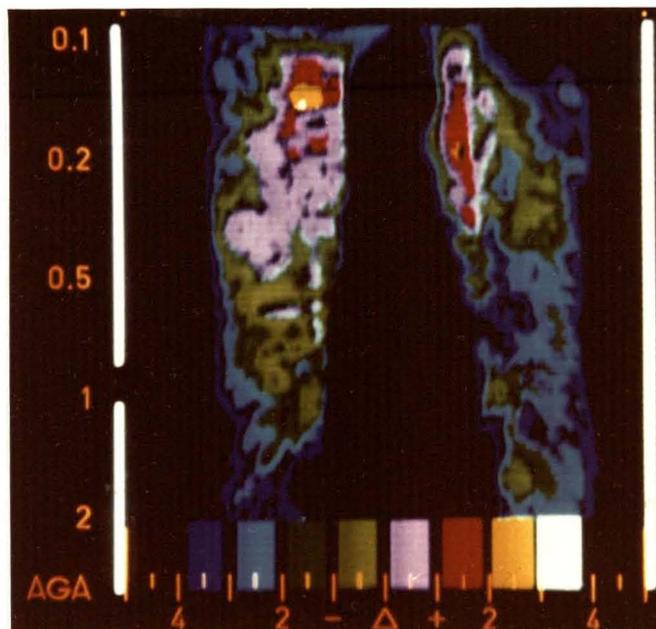


Fig. 35

distinguir la existencia de una imagen doble, a la que nosotros hemos denominado "imagen bipolar", que corresponde al incremento de actividad y vascularización de ambos extremos fracturarios. (Fig. 36) Aproximadamente a los 10 días la imagen bipolar confluye fundiéndose en una sola "imagen monopolar", trayendo la formación del callo interfragmentario.

3ª fase o fase de metaplasia del conjuntivo:

La imagen que representa el grado de reacción hipertérmica va disminuyendo progresivamente en extensión e intensidad, (Fig. 37) hasta que a los 30 días desaparece por completo, lo que señala el final de la respuestas hipervascular y por lo tanto la

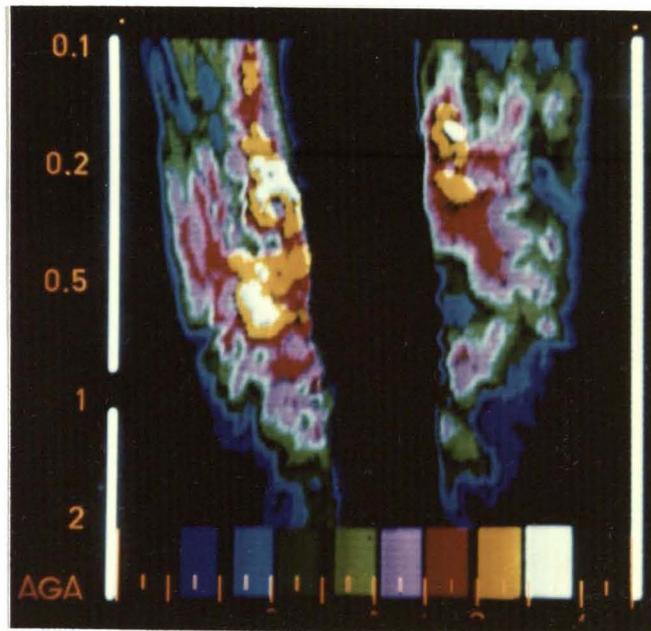


Fig. 36

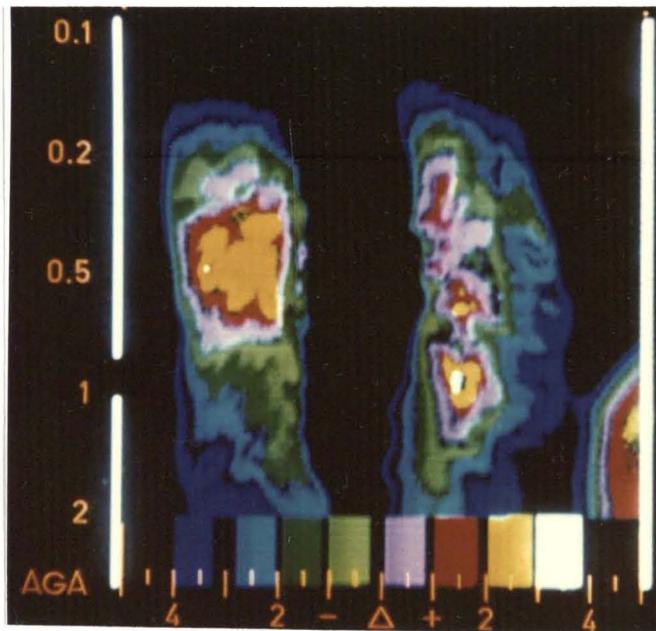


Fig. 37

terminación del proceso de reparación ósea. Es en este momento, precisamente, en que puede decirse que mecánicamente la

fractura ha consolidado, aunque el proceso de reparación continúa con la 4ª fase.

4ª fase o fase de remodelamiento

que dura mucho tiempo después de la consolidación de la fractura. Esta fase es normotérmica (Fig. 38)

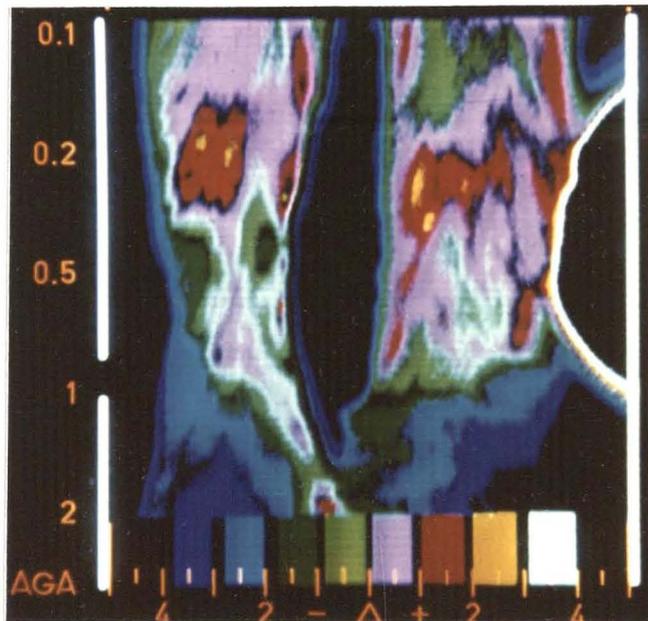


Fig. 38

Una vez completado el estudio de la evolución normal de la consolidación, hemos repetido las experiencias provocando retardos de consolidación y pseudoartrosis en las patas delanteras de los conejos.

Dejando aparte a las pseudoartrosis avasculares en las que el diagnóstico es sencillo, porque al no producirse la hipervas-

cularización no aparecerá la hipertermia a nivel del foco de fractura, el mayor interés se centra en ver si la teletermografía permitía distinguir entre un retardo de consolidación y una pseudoartrosis hipervascular en las primeras fases de la consolidación, lo que resulta difícil con los métodos habituales de exploración.

En los casos en que cursan con un retardo de consolidación hemos encontrado que el aumento térmico persiste más tiempo que el considerado como normal en todas las fases. Por lo tanto la hipertermia persiste mucho tiempo, hasta que definitivamente tiene lugar la consolidación de la fractura.

En los casos que surge una pseudoartrosis hipervascular comprobamos como la imagen teletermográfica de actividad, de la 2ª fase, desaparecía precozmente en vez de persistir, como ocurre en el caso de evolución normal o de retardo de consolidación.

Estos resultados discrepan de lo sustentado por JUDET, J. y JUDET, R. (318) en el sentido de que admitían, mediante el empleo de pares termoeléctricos, que las pseudoartrosis hipervasculares presentaban un incremento de la temperatura a nivel del foco. Hemos observado que las pseudoartrosis hipervasculares se comportan teletermográficamente como isotérmicas o hipotérmicas, resultado que consideramos importante.

Veamos la evolución teletermográfica en unas fracturas producidas en el conejo, en el que la extremidad anterior derecha evoluciona hacia un retardo de consolidación mientras que la izquierda evoluciona hacia una pseudoartrosis hipervasculada.

Se puede apreciar que la evolución teletermográfica es parecida en las dos extremidades a los siete días (Fig. 39) y a los quince días de la fractura (Fig. 40).

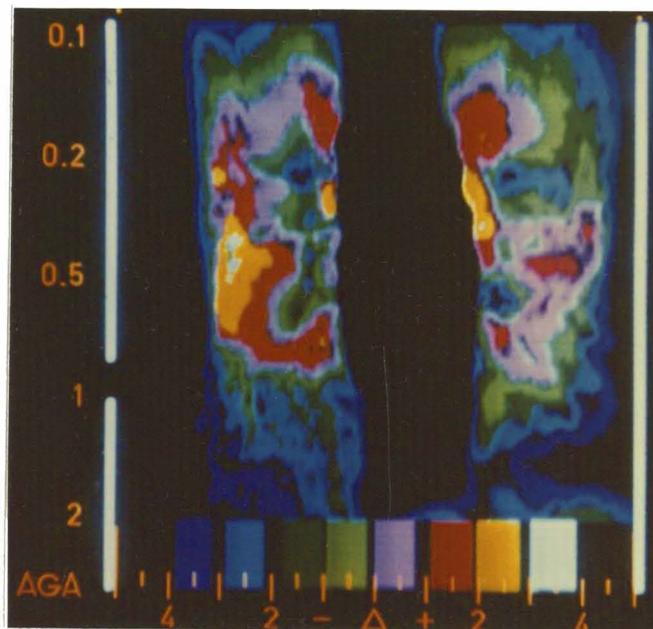


Fig. 39

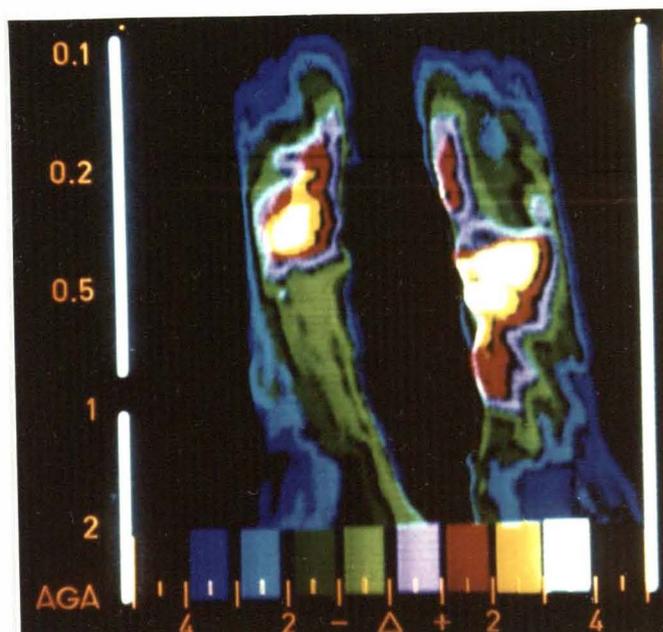


Fig. 40

En la tercera fase, el aspecto teletermográfico varía. En la extremidad anterior izquierda, en la que existe una pseudoartrosis hipervascular la hipertermia desaparece, pero persiste en la derecha, que evoluciona hacia un retardo de consolidación. (Fig. 41) Esta imagen persiste en las semanas siguientes.

Resumiendo, pues, se puede decir que frente a una ausencia de consolidación radiográfica si con la teletermografía se demuestra que existe una hipertermia es que se trata de un retardo de consolidación, por lo que prosiguiendo con la inmovilización se obtendrá la definitiva consolidación, pero si la imagen que se obtiene es de tipo normotérmico es que se trata de

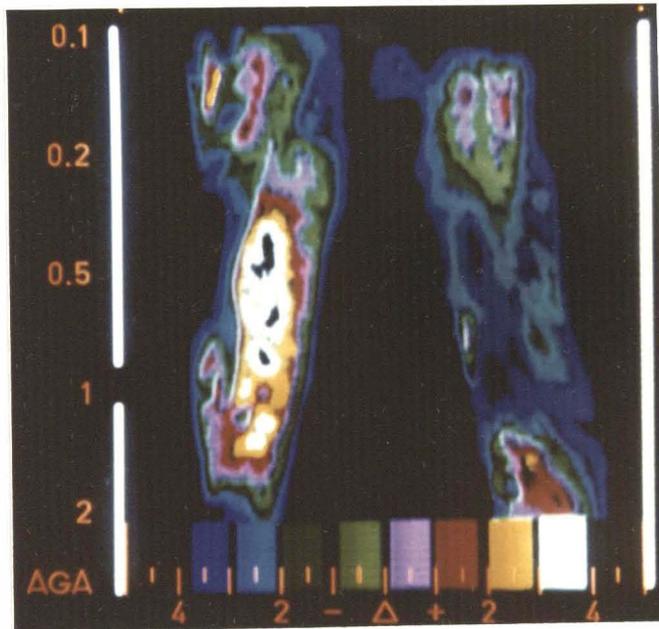


Fig. 41

una pseudoartrosis por lo que no es de esperar la consolidación de la fractura y debemos consecuentemente recurrir a un tratamiento quirúrgico.

Por este motivo creemos que durante el proceso de consolidación fracturaria en el conejo podemos distinguir las siguientes modalidades teletermográficas.

1ª - En la consolidación normal:

A los 2 a 4 días aparece una hipertermia, que irá incrementándose y posteriormente disminuyendo hasta que llega a desaparecer por completo, este último momento coincide exactamente con

la consolidación mecánica de la fractura. (paso de la 3ª a la 4ª fase).

2ª - En los retardos de consolidación:

En caso de que se trate de un retardo de consolidación la hipertermia persiste más tiempo que el que se observa en condiciones normales, pero también llega a desaparecer totalmente, cuando la fractura consolida.

3ª - En las pseudoartrosis:

a) Observamos que la emisión térmica del foco lesional disminuye hasta hacerse igual al del resto de la extremidad, por haberse agotado la capacidad reactiva reaccional.

Debemos de aclarar que, en este punto, todas las pseudoartrosis incluídas en nuestro estudio corresponden a las del tipo hipervasculares. Los motivos ya han sido expuestos anteriormente.

b) Si la pseudoartrosis correspondiera a la del tipo avascular, precisamente por faltar la fase de hipertermia por ausencia de la neovascularización, la imagen teletermográfica sería normotérmica o hipotérmica, desde un principio.

c) Si se trata de una pseudoartrosis flotante, la antes citada fase bipolar no desaparecería hasta el final de la tercera fase, cuando desaparece la hipervasculación puesto que

al no formarse callo unitivo, no aparece la imagen monopolar.

4ª - Otras alteraciones de la consolidación:

- Callo hipertrófico:

Se manifiesta teletermográficamente por una hipertermia, más extensa y que permanece durante mucho tiempo, hasta que el callo definitivamente se estabiliza.

- Reabsorción del callo:

La teletermografía nos ha sido útil en el diagnóstico de la reabsorción del callo cuando está relacionada con una movilización precoz.

La hipertermia aparece antes que las manifestaciones clínicas y radiográficas, lo que permite establecer un tratamiento adecuado evitando que el proceso reabsortivo progrese.

Según los resultados obtenidos podemos decir que la consolidación normal y las pseudoartrosis de tipo hipervascular evolucionan de una manera parecida, por lo que deducimos que la teletermografía, por sí sola, no basta para catalogar, en este aspecto, la evolución de las fracturas sino que debe siempre acompañar a la adecuada exploración radiográfica (exploración combinada).

En resumen, la evolución del callo fracturario estudiada teletermográficamente y en base a las distintas fases de la con

solidación establecidas por JUDET, J. y JUDET, R. (317) que tomamos como referencia, podemos admitir, según lo que hemos observado, las siguientes secuencias según la emisión térmica.

1ª Fase o fase de inercia aparente:

En este estadio no se observa modificación térmica alguna en el foco fracturario.

2ª Fase o fase conjuntiva joven:

En este período es cuando precisamente tiene lugar la hipervascularización del foco fraturario. La imagen teletermográfica traduce fielmente esta hipervascularización mostrando una hipertermia.

3ª Fase o fase de metaplasia del conjuntivo:

En este momento, comienza a disminuir progresivamente la hiperemia reactiva hasta que al final de la fase desaparece por completo. Esta evolución también tiene su correspondencia teletermográfica puesto que recoge como la hipertermia disminuye hasta llegar a desaparecer, constituyendo por cierto, el único procedimiento exploratorio que permitirá conocer exactamente la finalización de esta fase reactiva-reparadora.

4ª Fase o fase de remodelamiento:

En este período la imagen teletermográfica se muestra normotérmica puesto que no existen modificaciones vasculares a nivel del foco fracturario.

6.1.3 RADIOLOGIA DE LA CONSOLIDACION EN LAS FRACTURAS EXPERIMENTALES

En nuestro planteamiento, hemos efectuado controles radiográficos semanalmente en el conejo hasta que se sacrificaba para, poder realizar, el correspondiente estudio histológico y microangiográfico.

Admitimos, que en esta línea de investigación, los resultados obtenidos se presentaban ligeramente alterados, puesto que las fracturas provocadas correspondían a lesiones abiertas (osteotomías) y ya es conocido el hecho de que en las fracturas abiertas suele presentarse un retardo en las fases de consolidación. Los resultados de las observaciones llevadas a cabo son las siguientes:

A los 7 días: Aún no se había iniciado la formación del callo perióístico. Los extremos fracturarios aparecen nítidos (Fig.42)

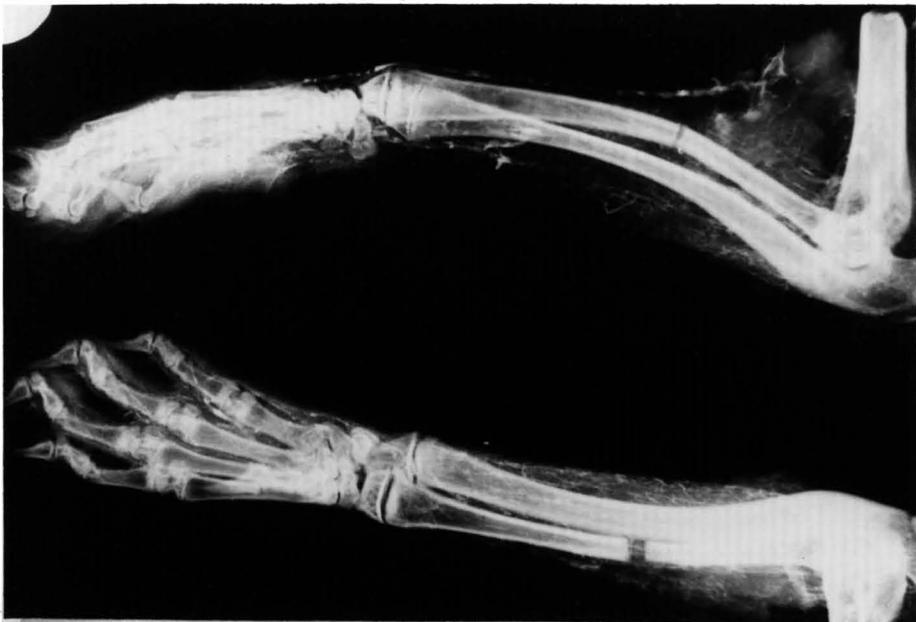


Fig. 42

A los 14 días: En las extremidades a las que únicamente se había practicado una osteotomía, aparece radiográficamente un callo perióstico que une los extremos fracturarios y que ya comienza a osificarse. (Fig. 43)



Fig. 43

En la extremidades en las que además se había practicado una resección de un fragmento óseo, aparece callo perióstico, que casi siempre se iniciaba en el fragmento proximal y que no llegaba a contactar con el fragmento distal. (Fig. 44)



Fig. 44

A los 21 días: En algunos casos de fractura provocada, ya se había osificado el callo perióstico. En la mayoría de casos en que la osteotomía se acompañó de una resección conseguimos retardos de consolidación. Es de señalar que algunas de las lesiones óseas provocadas aún no estaban consolidadas en este tiempo.

A los 30 días: La mayoría de las fracturas ya habían consolidado, completándose el puente óseo interfragmentario, pero permaneciendo patente el trazado fracturario. (Fig. 45)



Fig. 45

En las fracturas que consolidaron con angulación de los fragmentos, el callo aparecía especialmente en la superficie cóncava de la fractura. (Fig. 46)



Fig. 46

A los 49 días: Comienza a desaparecer el callo perióstico.
Este proceso termina a las 7 a 9 semanas. (Fig. 47)



Fig. 47

A los 56 días: Comienza a desaparecer el trazo de fractura.
(Fig. 48)



Fig. 48

En los casos en que se presentaba una pseudoartrosis se observaba a los 56 días la existencia de unos bordes esclerosos, con la medular taponada, formándose una neoarticulación. (Fig. 49)

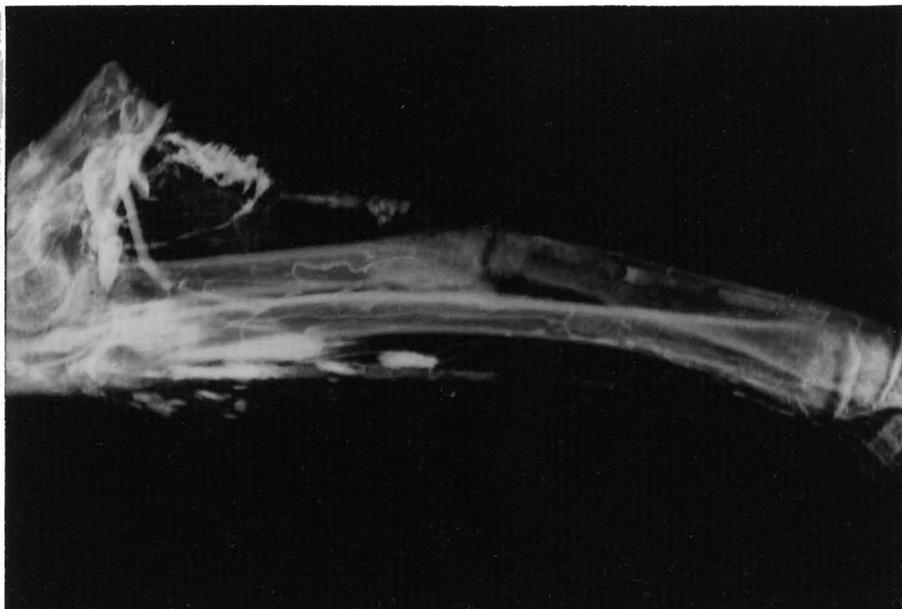
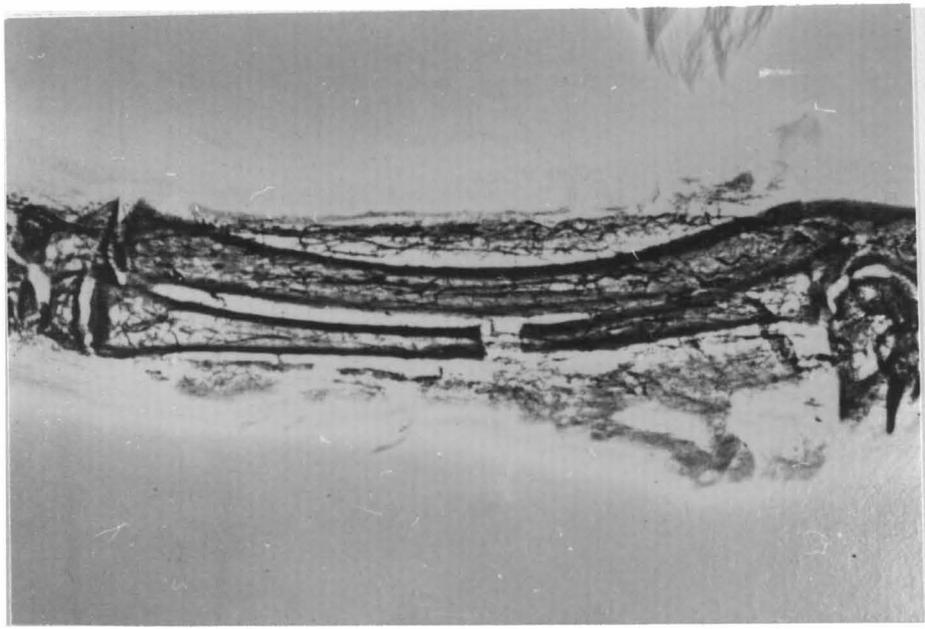
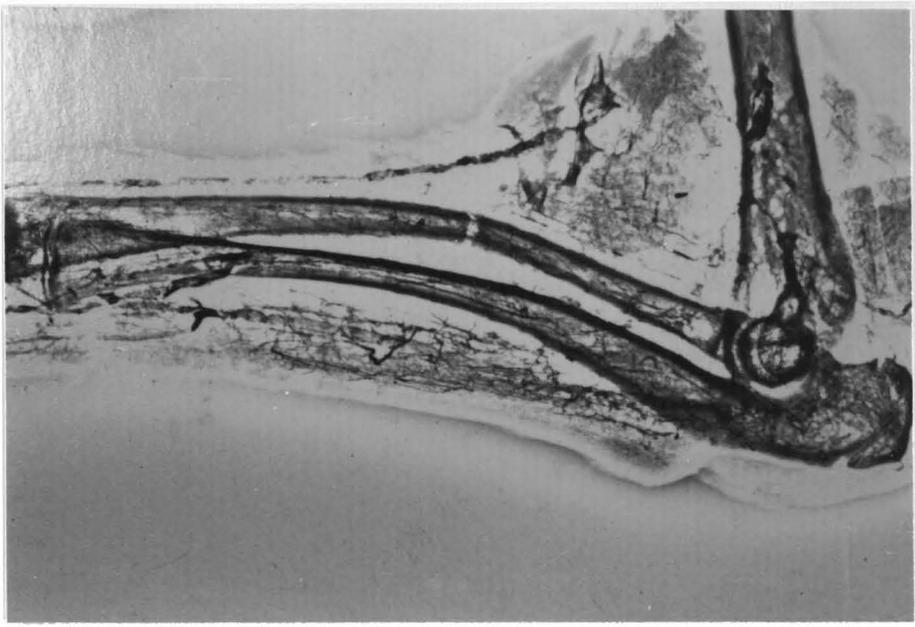


Fig. 49

6.1.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL ESTUDIO XEROGRAFICO

Todas las extremidades estudiadas radiográficamente fueron asimismo radiografiadas con el sistema "xero", con el que es posible obtener un mayor detalle de las características del callo fracturario.

Por lo tanto, las xerografías que presentamos corresponden a las radiografías del capítulo anterior permitiendo realizar entre ellas un estudio comparativo, comprobándose que en definitiva dichas exploraciones proporcionan resultados semejantes.



Figs. 50 y 51 - Xerografías correspondientes a la radiografía de la figura 42



Fig. 52 - Xerografía correspondiente a la radiografía de la figura 43



Fig. 53 - Xerografía correspondiente a la radiografía de la figura 45



Fig. 54 - Xerografía correspondiente a la radiografía de la figura 47



Fig. 55 - Xerografía correspondiente a la radiografía de la figura 48



Fig. 56 - Xerografía correspondiente a la radiografía de la figura 49

6.1.4 HISTOLOGIA

Las modificaciones estructurales se adaptan secuencialmente a diversos períodos de tiempo fisiopatológico. Así: Al tercer día se inicia ya la proliferación celular, lo que tiene lugar de forma manifiesta alrededor de los extremos fracturarios, avanzando progresivamente el proceso hacia el foco de fractura. Comienza también la formación de trabéculas.



Fig. 57

Al séptimo día las zonas corticales no presentan modificaciones, los bordes son nítidos y están en contacto con el hematoma fracturario, constituido éste, por material fibrinohemático y restos necróticos

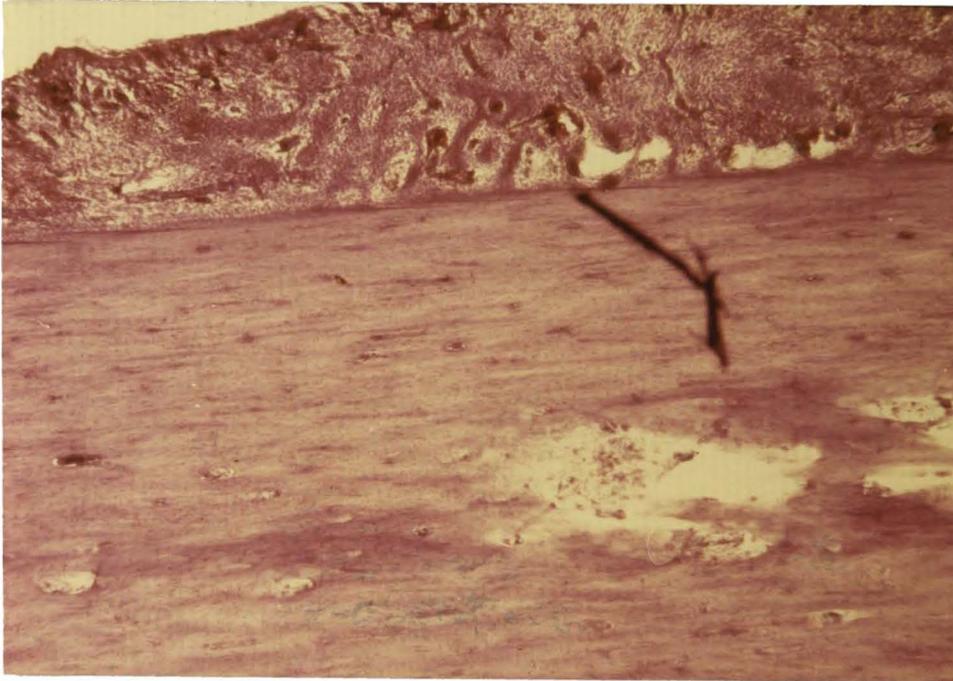


Fig. 58

Este hematoma interfragmentario no se encuentra organizado y tampoco existe en él penetración vascular reactiva. En el periostio se observa tejido conectivo muy vascularizado en el que aparecen trabéculas óseas de nueva formación que avanzan hacia la línea fractura, en dirección oblicua respecto a la cortical.

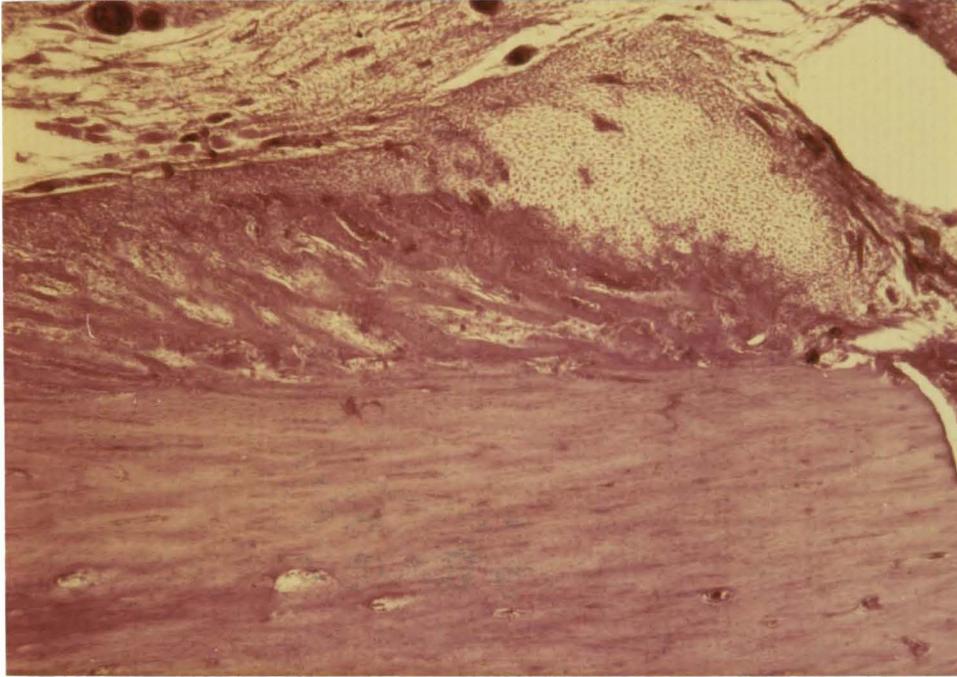


Fig. 59

En el callo perióstico aparecen inclusiones cartilaginosas.

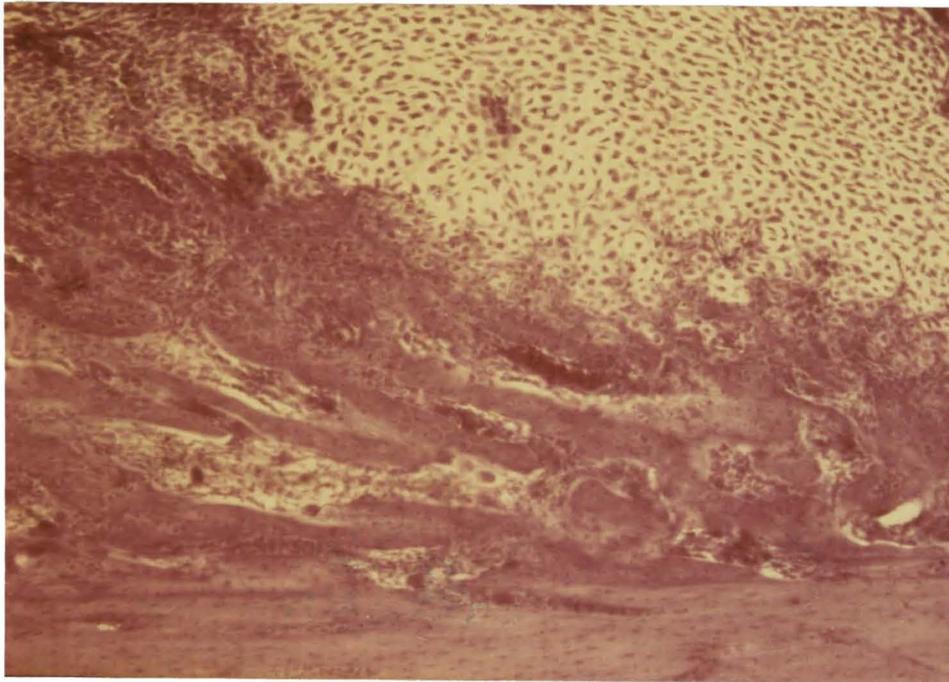


Fig. 60

Mismo campo que el anterior en el que se puede apreciar, con mayor aumento, gran cantidad de cartílago junto e incluido al callo.

Al 9º día: el callo perióístico se presenta bien formado.

Al 14º día: desaparecen los restos del hematoma. El tejido cartilaginoso comienza a ser reemplazado, en este momento, por hueso.

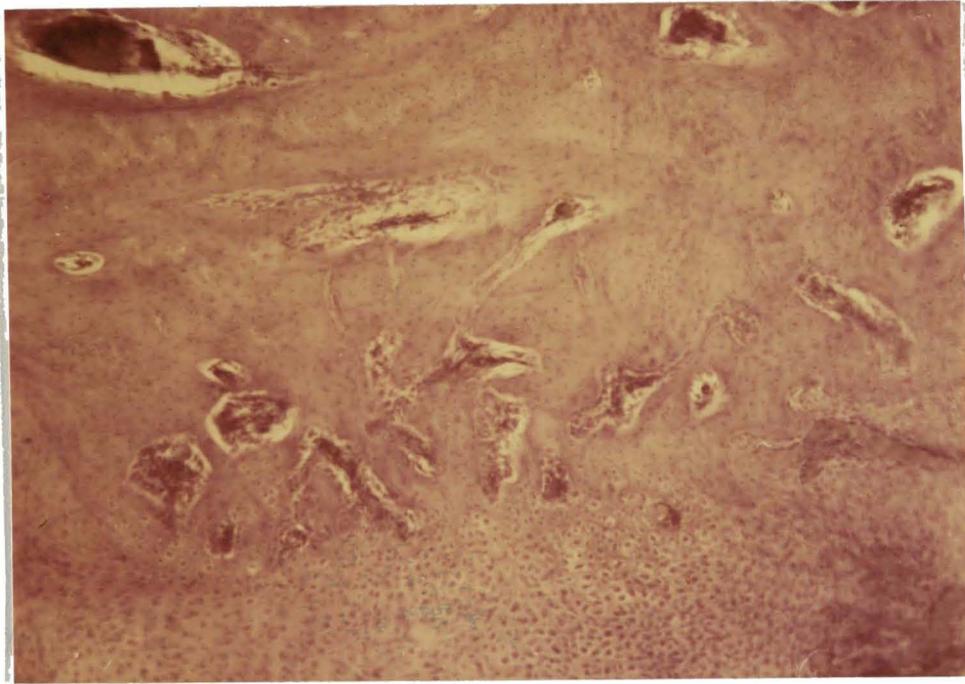


Fig. 61

En los extremos fracturarios aparece tejido óseo de mayor densidad, que se continúa con una estructura de tejido cartilaginoso.

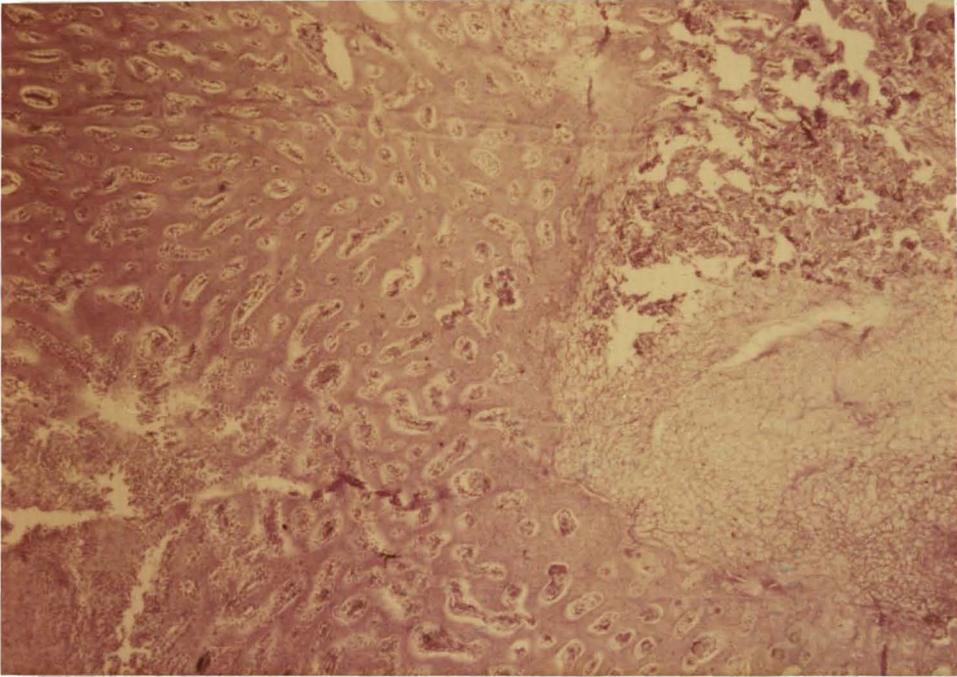


Fig. 62

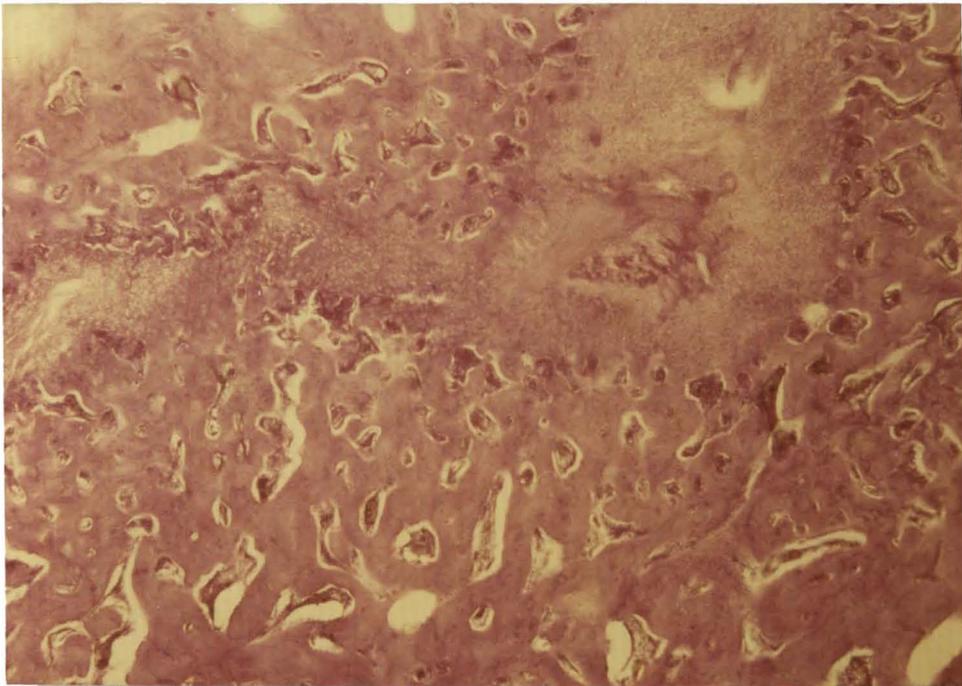


Fig. 63

A los 16 días: Aparece una formación trabecular y que exhibe zonas cartilaginosas ya calcificadas en algunos puntos.

A los 21 días: Aspecto semejante al anterior pero en donde los fenómenos se presentan más evolucionados pudiéndose apreciar los siguientes hechos:

Se osifica el callo perióstico.

El volumen del callo alcanza su máximo grosor.

El callo, empero, aún no resulta unitivo.

La cortical se ha modificado, no pudiéndose distinguir la cortical original, del hueso trabecular de nueva formación.

A los 30 días: existe un puente óseo dispuesto entre los dos extremos óseos fracturarios.

No se encuentran restos de cartílago en el callo reparativo de las fracturas en las que se habían practicado una ostotomía. Sin embargo, en las fracturas provocadas a las que además se les practicó una resección ósea complementaria se observaba la persistencia de una inclusión cartilaginosa incluso en fases posteriores de la evolución del proceso.

La cortical ha quedado unida a las trabéculas procedentes del callo perióstico; estas trabéculas están constituidas por hueso laminar.

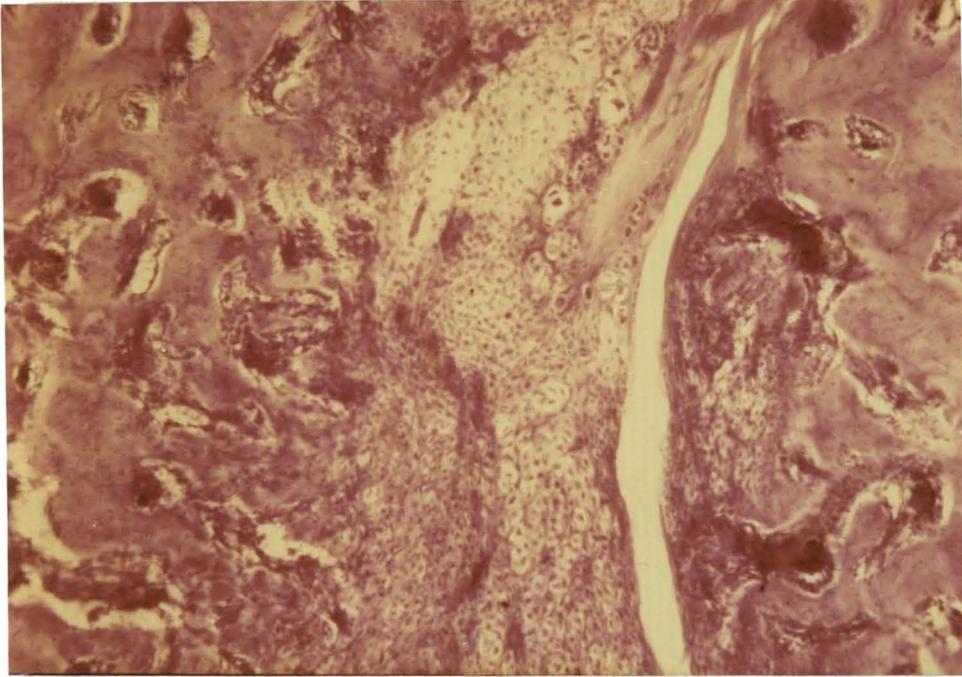


Fig. 64

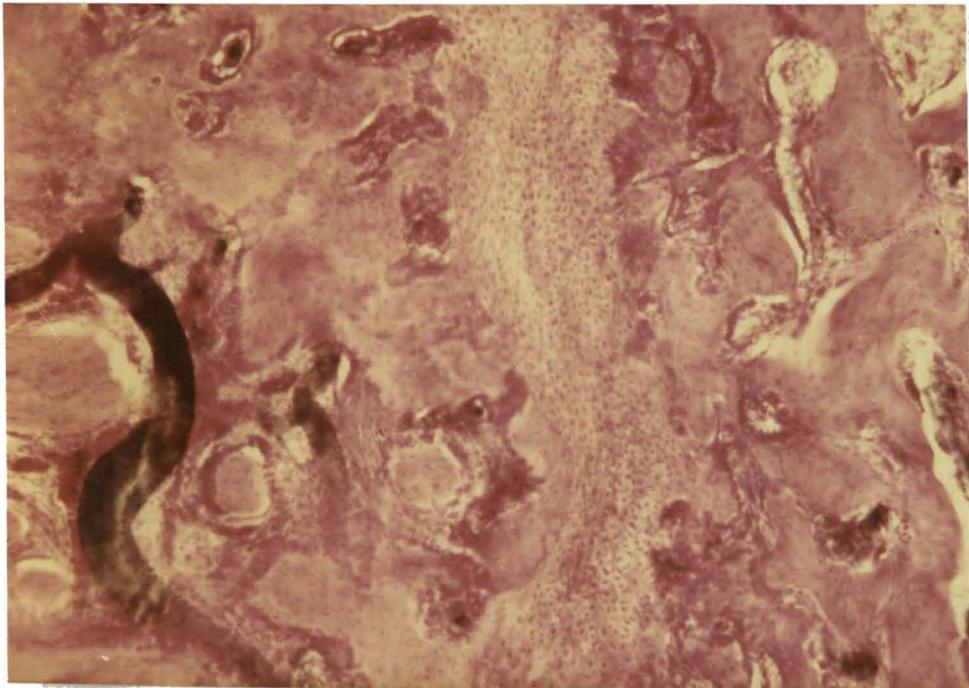


Fig. 65

Estadío más avanzado. Hueso denso. Se encuentra cartílago por tratarse de una osteotomía con resección y por lo tanto, con solución de continuidad ósea y sin coaptación precisa de las superficies cruentas.

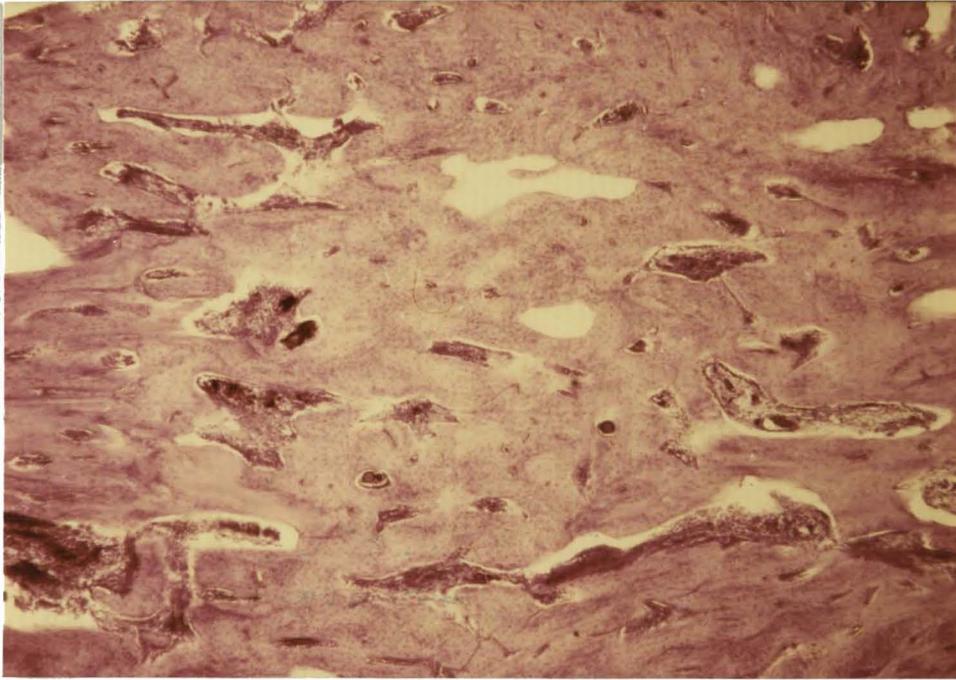


Fig. 66

Hueso denso entre los dos extremos, con grandes islotes de médula ósea neoformada.

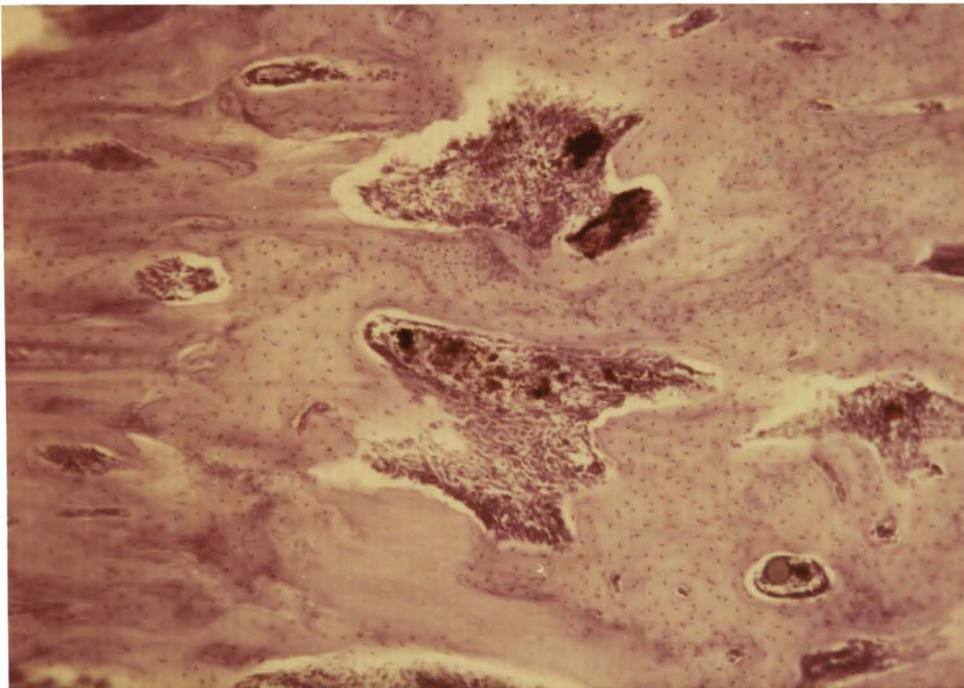


Fig. 67

Idem a gran aumento.

En las cuatro siguientes semanas se va a producir la resorción de la mayor parte del callo y la recanalización del espacio medular.

El periostio ofrece un aspecto normal.

El callo fracturario resulta mecánica y biológicamente unitivo.

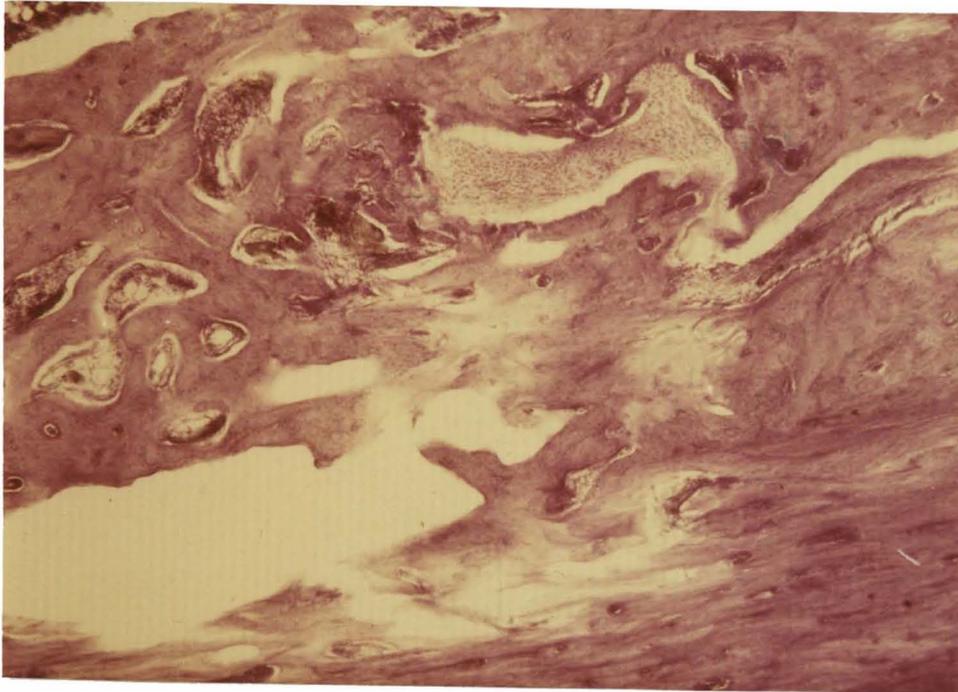


Fig. 68

Hueso trabecular denso (44 días de la fractura)

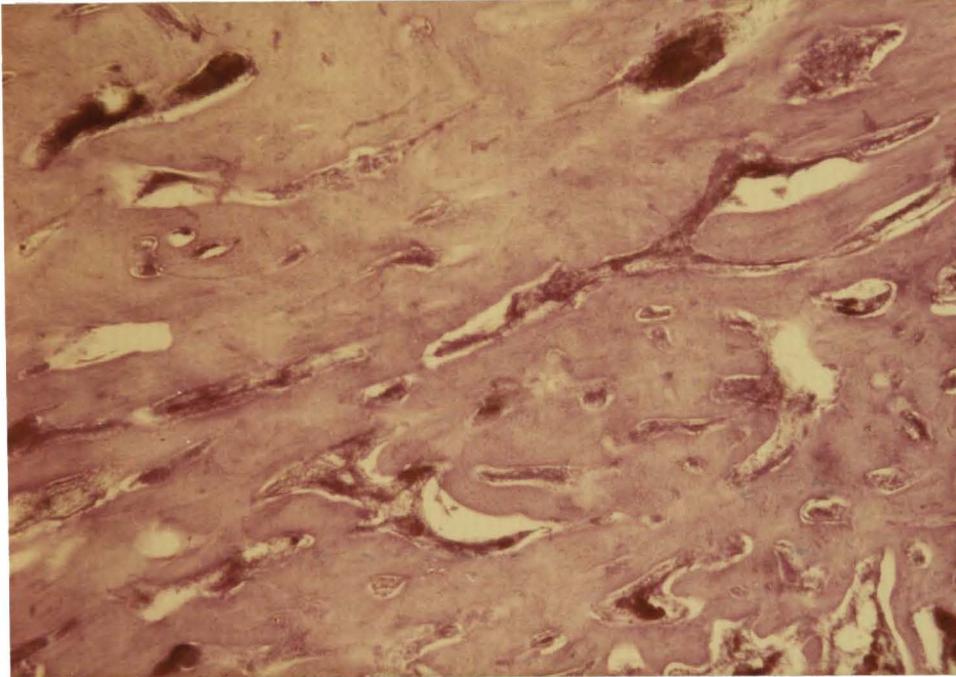


Fig. 69

Idem a los 52 días

El callo perióstico desaparece entre la 6ª y 9ª semana y la línea de osteotomía también desaparece, generalmente en menos de 7 semanas.

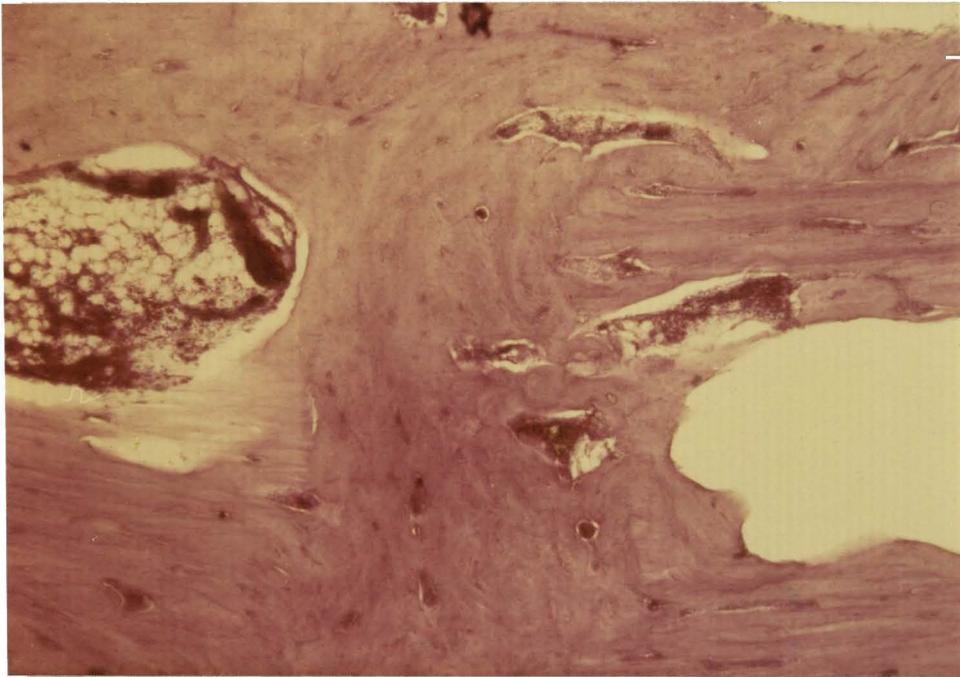


Fig. 70

Hueso muy densificado. El callo perióstico se presenta osificado (59 días de la fractura)

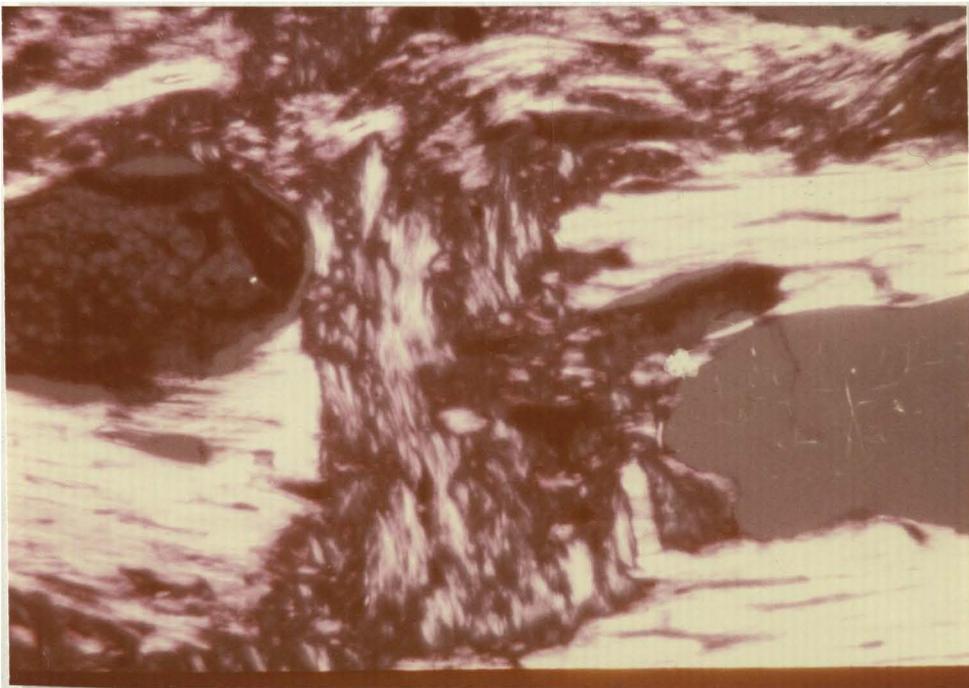


Fig. 71

Idem. Observado con microscopía de luz polarizada.

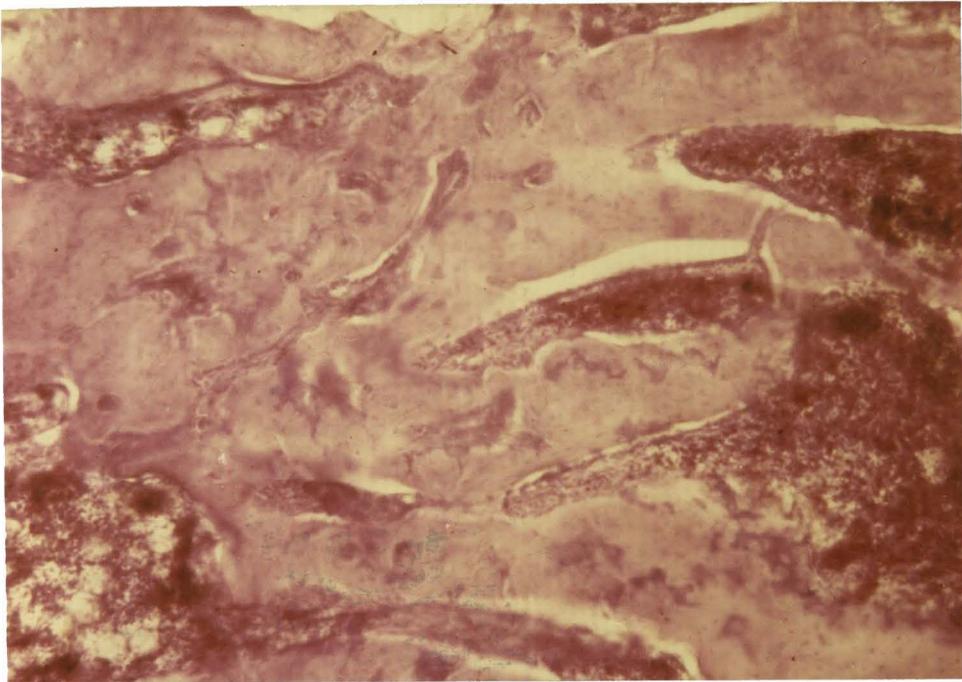


Fig. 72

Hueso denso con focos de cartílago calcificado. La aparición de cartílago se debe a que corresponde a una lesión de osteotomía-fractura más resección (59 días de la lesión).

A las 10 semanas después de la fractura el aspecto del hueso manipulado es prácticamente igual al del hueso no fracturado. El remodelamiento se manifiesta histológicamente durante 8 o más meses.

Histología de las pseudoartrosis.

En el estudio histológico de una pseudoartrosis se observa una zona avascular muy poco celular, en el foco se aprecia una reacción de hipervascularización envolvente.

La medular aparece ocluida por un tapón osteotrabecular que destaca por su densidad.