

# **ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ELONGACION OSEA EN EL PERRO**

**SEGUIMIENTO CLINICO, RADIOLOGICO Y MEDIANTE  
MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION  
(BS-SEM)**

**M<sup>a</sup> PILAR LAFUENTE BAIGORRI**

**Tesis Doctoral  
Facultad de Veterinaria  
Universidad Aut3noma de Barcelona  
Bellaterra, Marzo 2004**

**D. JORDI FRANCH SERRACANTA**, Profesor Titular del Departamento de Medicina y Cirugía Animales de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona y **D. IGNACIO DURALL RIVAS**, Profesor Titular del Departamento de Medicina y Cirugía Animales de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona,

**CERTIFICAMOS:** que el trabajo titulado “*Estudio experimental de la elongación ósea en el perro. Seguimiento clínico, radiológico y mediante Microscopía Electrónica de Retrodispersión (BS-SEM)*” realizado por la licenciada **D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> PILAR LAFUENTE BAIGORRI** y dirigida por nosotros, reúne los requisitos científicos y formales necesarios para proceder a su defensa como tesis doctoral.

Y para que conste, firmamos el presente certificado en Barcelona, tres de Marzo de dos mil cuatro.

Dr. JORDI FRANCH SERRACANTA

Dr. IGNACIO DURALL RIVAS

Memoria presentada por la Licenciada en  
Veterinaria M<sup>a</sup> Pilar Lafuente Baigorri para  
optar al Grado de Doctor en Veterinaria.

Bellaterra, 4 de Marzo de 2004

A mis padres y hermana

A Jaime

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Jordi Franch, Profesor Titular del Departamento de Medicina y Cirugía Animales de la Universidad Autónoma de Barcelona por haber aceptado la codirección de esta tesis. Agradezco todo tu apoyo y paciencia durante la realización de este trabajo, así como la disposición que me has demostrado al iniciarme en un campo tan apasionante como la cirugía y traumatología de pequeños animales.

Al Dr. Ignacio Durall, Profesor Titular del Departamento de Medicina y Cirugía Animales de la Universidad Autónoma de Barcelona por haberme dado la oportunidad de realizar esta tesis y haber compartido conmigo sus extensos conocimientos sobre traumatología veterinaria.

A la Dra. M<sup>a</sup> Cristina Manzanares, Profesora Titular del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universidad de Barcelona y a todo su equipo, no sólo por su tiempo e inestimable ayuda en el procesado de las muestras, sino también por la amabilidad y simpatía que siempre me han mostrado.

A Rosa, Txema, Bernat, Ferran, Cere, Eugenia, Ana y David. Muchas gracias por vuestra inestimable ayuda “de campo”, en las intensas sesiones de quirófano y en las innumerables jornadas radiactivas. No sólo me habéis brindado vuestra colaboración sino también vuestra amistad.

A la Dra. M<sup>a</sup> Carmen Díaz-Bertrana, Profesora Ayudante del Departamento de Medicina y Cirugía Animales de la Universidad Autónoma de Barcelona por toda la ayuda que me ha prestado durante la tesis.

A todos los compañeros del Hospital Clínico Veterinario de la Universidad Autónoma de Barcelona por aguantar a mis “Pilaricas” y tener la paciencia que todo trabajo clínico necesita.

A Jorge, Encarna, Esther, Eva y Marta. Os agradezco profundamente vuestro apoyo, simpatía, consejos y buenos ratos que me habéis brindado durante todo el tiempo que he pasado aquí, en una palabra, vuestra amistad.

Al resto de compañeros de la Unidad de Cirugía que me han mostrado su ayuda y colaboración en mi formación en el campo de la cirugía veterinaria.

Al Dr. Charles Pilipili, Profesor de la Unidad de Patología y Terapéutica Dentarias de la Universidad Católica de Louvain y al Dr. Benoît Lengelé, Profesor de la Unidad de Anatomía Humana de la Universidad Católica de Louvain, por haberme permitido realizar una parte de mi trabajo en su centro.

Al Dr. Carlos López, Profesor Titular del Departamento de Anatomía de la Universidad Autónoma de Barcelona y a todos sus compañeros, por haberme ayudado y cedido desinteresadamente sus instalaciones en la preparación de las muestras de mi tesis.

Al Dr. Ramón Fontarnau del “Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido” de la Universidad de Barcelona y a todo su equipo por su inestimable apoyo durante las extensas sesiones de microscopía electrónica.

Al Dr. Dan Lewis, Catedrático del Departamento de Ciencias Clínicas en Pequeños Animales de la Universidad de Florida, y al Dr. David Bennett, Catedrático del Departamento de Ciencias Clínicas en Pequeños Animales de la Universidad de Glasgow, por darme la oportunidad de integrarme temporalmente en su equipo de trabajo y ampliar mis conocimientos en traumatología veterinaria.

A la Generalitat de Cataluña, por haberme concedido la beca predoctoral, la cual me ha permitido hacer realidad uno de mis deseos, realizar la tesis doctoral.

A todos aquellos que de una forma u otra han colaborado en la realización de esta tesis y que, aunque desearía agradecerse uno por uno, sería demasiado extenso, incluso para un trabajo de estas dimensiones.

# INDICE

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>4</b>
1. Historia de la elongación.....	5
2. Ilizarov y el principio de tensión-estrés.....	12
3. La osteogénesis por distracción.....	14
3.1. Factores que influyen en la osteogénesis por distracción.....	18
3.1.1. Período de latencia.....	18
3.1.2. Velocidad de distracción.....	19
3.1.3. Ritmo de distracción.....	19
3.1.4. Osteotomía / Corticotomía.....	20
3.1.5. Preservación del periostio / endostio.....	20
3.1.6. Localización de la osteotomía.....	21
3.1.7. Estabilidad del elongador.....	21
3.1.8. Otros.....	22
3.2. Efectos de la osteogénesis por distracción sobre los tejidos blandos.....	23
3.2.1. Vascularización.....	23
3.2.2. Tejido nervioso.....	25
3.2.3. Tejido muscular.....	26
3.3. Aplicaciones de la osteogénesis por distracción.....	28
3.3.1. Elongación ósea.....	28
3.3.2. Corrección de deformaciones angulares.....	29
3.3.3. Tratamiento de defectos óseos – Transporte óseo.....	32

3.3.4. Tratamiento de osteomielitis y no-uniones sépticas.....	34
3.3.5. Engrosamiento óseo.....	35
3.3.6. Epifisiolisis / Condrodiatasis por distracción.....	35
3.3.7. Elongación ósea a doble nivel.....	37
3.4. Complicaciones de la osteogénesis por distracción.....	39
3.4.1. Problemas del trayecto de las agujas.....	40
3.4.2. Consolidación prematura.....	42
3.4.3. Consolidación retardada.....	43
3.4.4. Refractura.....	45
3.4.5. Dolor.....	45
3.4.6. Contractura muscular.....	46
3.4.7. Problemas articulares.....	49
3.4.8. Desviación axial.....	51
3.4.9. Daño neurológico.....	52
3.4.10. Daño vascular.....	53
3.4.11. Otras complicaciones.....	55
3.5. Tipos de elongadores utilizados en la actualidad.....	57
3.5.1. Fijador externo circular.....	57
3.5.2. Distractor uniplanar.....	59
3.5.3. Distractor intramedular.....	60
3.6. Métodos de seguimiento de la formación del callo de distracción.....	63
3.6.1. Radiología.....	63
3.6.2. Tomografía Axial Computerizada (TAC).....	64
3.6.3. Ecografía.....	64
3.6.4. Otros.....	65
3.7. Métodos microscópicos de estudio del callo de distracción.....	66
3.7.1. Métodos de estudio con muestras decalcificadas.....	66
3.7.2. Métodos de estudio con muestras no decalcificadas.....	66
Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	67

<b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPOTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....</b>	<b>71</b>
1. Planteamiento del problema.....	72
2. Hipótesis de trabajo.....	75
3. Objetivos.....	75
<b>IV. MATERIAL Y METODOS.....</b>	<b>77</b>
1. Material.....	78
1.1.Elongador.....	78
1.2. Material quirúrgico.....	79
1.3. Animales y estabulario.....	79
1.3.1. Animales.....	79
1.3.2. Estabulario.....	80
1.4. Material de anestesia.....	80
1.5. Material para el estudio radiológico.....	80
1.6. Material para el procesamiento de muestras.....	81
1.6.1. Material común.....	81
1.6.2. Material para el marcaje vascular.....	81
1.6.3. Material para el estudio de muestras sin decalcificar.....	82
1.6.4. Material para el estudio de microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM).....	83
1.7. Anexo I-fotos.....	84
2. Métodos.....	85

2.1. Protocolo general.....	85
2.2. Elección y preparación del paciente.....	87
2.3. Método quirúrgico.....	88
2.3.1. Protocolo anestésico y analgésico.....	88
2.3.2. Protocolo quirúrgico.....	89
2.3.3. Tratamiento postoperatorio.....	91
2.4. Método de elongación.....	92
2.5. Método de valoración clínica.....	93
2.5.1. Valoración del bienestar animal.....	94
2.5.2. Valoración de la recuperación funcional de la extremidad.....	95
2.6. Método de valoración radiológica.....	96
2.6.1. Alineación de los segmentos óseos.....	97
2.6.2. Comparación de la elongación teórica con la elongación real.....	97
2.6.3. Tiempo de aparición de las microcolumnas de tejido calcificado y de la Zona Central de Crecimiento.....	97
2.6.4. Progresión de la calcificación y tiempo de consolidación del callo de distracción.....	98
2.6.5. Grado de reacción perióstica.....	98
2.6.6. Presencia de signos radiológicos de complicaciones.....	99
2.7. Método de inyección vascular.....	99
2.7.1. Método de inyección.....	100
2.7.2. Método de procesamiento laboratorial.....	101
2.8. Método de valoración mediante microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM).....	102
2.8.1. Método de procesamiento laboratorial.....	102
2.8.2. Método de estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión.....	104

2.9. Anexo II-fotos.....	106
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>111</b>
1. Resultados de la valoración clínica.....	112
1.1. Resultados de la valoración del bienestar animal.....	112
1.2. Resultados de la valoración de la funcionalidad de la extremidad.....	113
1.3. Anexo III-fotos.....	116
2. Resultados de la valoración radiológica.....	117
2.1. Resultados de la alineación de los segmentos óseos.....	117
2.2. Resultados de la comparación entre la elongación teórica y la real.....	119
2.3. Resultados de la valoración del tiempo de aparición de tejido calcificado y la zona central de crecimiento.....	120
2.4. Resultados de la valoración del tiempo de consolidación y de la progresión de la calcificación.....	120
2.5. Resultados de la valoración del grado de reacción perióstica.....	122
2.6. Resultados de la valoración de signos radiológicos de complicaciones.....	123
2.7. Anexo IV-fotos.....	125
3. Resultados del estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM).....	132
3.1. Descripción morfológica del callo de distracción de 1 semana de evolución.....	132
3.2. Descripción morfológica del callo de distracción de 2 semanas de evolución.....	133
3.3. Descripción morfológica del callo de distracción de 3 semanas de evolución.....	135
3.4. Descripción morfológica del callo de distracción de 4 semanas de evolución.....	138
3.5. Descripción morfológica del callo de distracción de 6 semanas de evolución.....	141

3.6. Descripción morfológica del callo de distracción de 8 semanas de evolución.....	143
3.7. Descripción morfológica del callo de distracción de 10 semanas de evolución.....	145
3.8. Descripción morfológica del callo de distracción de 12 semanas de evolución.....	147
3.9. Descripción morfológica del callo de distracción de 14 semanas de evolución.....	149
3.10. Descripción morfológica del callo de distracción de 18 semanas de evolución.....	150
3.11. Descripción morfológica del hueso control.....	153
3.12. Anexo V-fotos.....	154
4. Anexo (tablas).....	187
<b>VI. DISCUSION.....</b>	<b>190</b>
1. Discusión del procedimiento realizado.....	191
2. Discusión de los resultados clínicos.....	196
3. Discusión de los resultados radiológicos.....	202
4. Discusión de los resultados de microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM).....	209
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>221</b>
1. Conclusiones.....	222
2. Conclusions.....	223
<b>VIII. RESUMEN.....</b>	<b>224</b>
1. Resumen.....	225
2. Abstract.....	227
<b>IX. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>228</b>

# **I.- INTRODUCCION**

## **I.-INTRODUCCION**

A finales del siglo XIX aparecieron los primeros prototipos de fijadores externos. En este momento se produjo una importante revolución en el concepto de tratamiento de las fracturas óseas en los pacientes, obteniéndose porcentajes de éxito mucho más elevados que los obtenidos mediante las técnicas hasta entonces vigentes. Asimismo, los fijadores externos permitían una recuperación funcional del paciente más rápida, al mismo tiempo que reducían el riesgo de infecciones en el foco de fractura. De esta forma podemos comprender la rápida aceptación y expansión que tuvieron los fijadores externos en el campo de la traumatología.

La aparición de la fijación externa y de las ventajas que proporcionaba sirvió de base para el desarrollo de otra técnica ortopédica de gran repercusión, la elongación ósea. A pesar de que la elongación ósea había sido descrita con anterioridad, no fue hasta mediados del siglo XX cuando tuvo lugar el descubrimiento de un fenómeno biológico que revolucionó el campo de la traumatología humana: la osteogénesis por distracción. Esta técnica permitía el tratamiento de patologías óseas de difícil solución hasta entonces con los métodos habituales de la época, reduciendo de forma significativa el número y gravedad de las complicaciones generadas. Si a ello añadimos el limitado abordaje quirúrgico al foco de fractura, la necesidad de una única cirugía, la rápida recuperación funcional de la extremidad intervenida y el mínimo sufrimiento en el paciente, podemos comprender la gran repercusión que dicha técnica causó en su época y que sigue teniendo en la actualidad.

Desde la aparición de la elongación ósea hasta la actualidad, se han descrito y utilizado diferentes aparatos para este fin, pero hay que tener en cuenta el hecho de que todos ellos se basaban en dos aspectos esenciales, la realización de una osteotomía y la separación de los segmentos óseos de forma aguda o progresiva. Con el descubrimiento de la osteogénesis por distracción, no sólo se describieron nuevas técnicas y factores que influían de forma esencial en este proceso, sino que se ampliaron de forma considerable las posibilidades de aplicación de este fenómeno biológico. El interés que ha suscitado a lo largo de su corta vida, ha conducido a traumatólogos e investigadores a estudiar dicho procedimiento en numerosos aspectos: técnica quirúrgica, factores integrantes del proceso de elongación, fenómeno de neoformación ósea, modificaciones de los tejidos blandos adyacentes, etc. Dichos ensayos

han llevado a un mayor perfeccionamiento de la técnica de elongación así como a la mejora en el diseño y composición de los materiales y aparatos utilizados.

Muchas son las innovaciones técnicas que se van sucediendo en la elongación ósea en traumatología humana, desde la epifisiólisis en niños hasta el uso de distractores intramedulares automáticos o dirigidos mediante control remoto. Sin embargo, la traumatología veterinaria no puede beneficiarse de la totalidad de dichos avances debido al tipo de paciente y las limitaciones económicas con las que trabaja. Debemos partir del hecho que la traumatología veterinaria se limita casi exclusivamente a los animales de compañía, siendo los perros y gatos los pacientes que con más frecuencia llegan a la consulta de traumatología, pero sin olvidar los animales exóticos o los équidos. Esta realidad es debida por una parte a la propia naturaleza de los animales, los cuales presentan unas características anatómicas de tamaño y conformación que dificultan la técnica quirúrgica y de elongación. Asimismo, la naturaleza irracional de estos pacientes conlleva una falta de cooperación durante el proceso postoperatorio que exige la colaboración del propietario, no siempre adecuada. Por otra parte, también resulta de gran importancia las limitaciones económicas a la hora de aplicar esta técnica de elongación, no sólo por parte del propietario del animal sino también del profesional veterinario, el cual no siempre tiene la posibilidad de invertir en la compra de material nuevo y de tan variado tamaño.

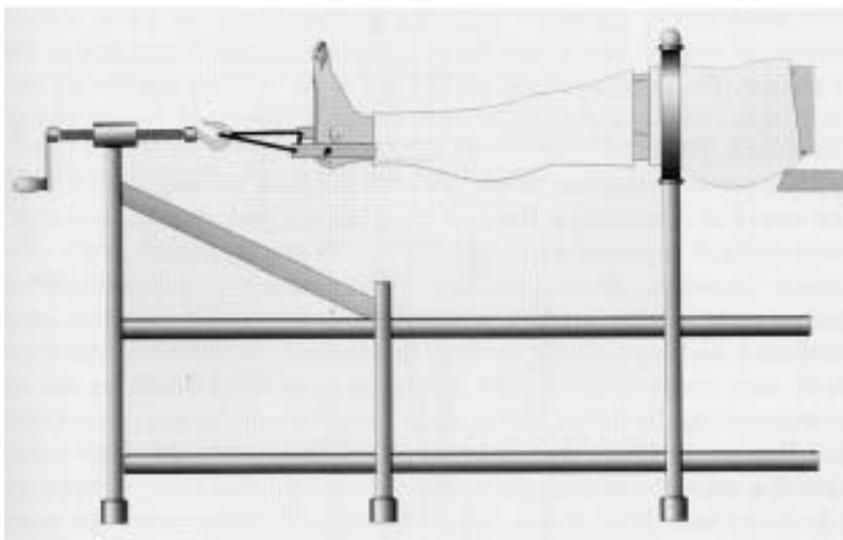
En la actualidad, el elongador más ampliamente extendido en medicina veterinaria es de tipo circular. Este aparato, ofrece un amplio abanico de aplicaciones en traumatología, pero al mismo tiempo requiere de una formación personal previa, una elevada inversión inicial y una preparación prequirúrgica del implante a colocar. Por esta razón, el objetivo de nuestro estudio no sólo incluía el análisis de los tejidos neoformados durante la elongación ósea, sino que, teniendo en consideración la situación actual de la medicina veterinaria, aspiraba a proporcionar al traumatólogo veterinario un protocolo adecuado y un nuevo aparato de elongación ósea de fácil utilización y cuya adquisición no requiriera de una gran inversión personal ni económica.

## **II.- REVISION BIBLIOGRAFICA**

## **II.- REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **II.1.- HISTORIA DE LA ELONGACION**

La mayoría de los autores coinciden en el hecho de que la elongación ósea fue descrita por primera vez en 1905 por el italiano Alessandro Codivilla (Paterson, 1990; Cech y Trc, 1993; Kenwright y White, 1993; Codivilla, 1994; Samchukov, 1998), sin embargo Wiedemann (1996) afirma que esta técnica ya había sido descubierta anteriormente por Bernhard von Langenbeck en 1869, al llevar a cabo elongaciones óseas en una única fase en animales. La técnica descrita por Codivilla se basaba en la realización, bajo anestesia, de una distracción súbita, tan intensa como permitieran los tejidos blandos adyacentes, que se repetía a intervalos. Tras la creación de una osteotomía oblicua en el fémur, se procedía a la tensión intensa y súbita de una aguja insertada en el hueso calcáneo. La elongación obtenida se mantenía mediante la colocación de una escayola que incorporaba barras metálicas, hasta la siguiente distracción forzada (Figura II.1) (Paterson, 1990; Codivilla, 1994; Wiedemann, 1996). Codivilla observó que si la fuerza aplicada durante la elongación aguda había sido excesiva, podían aparecer ataques epileptiformes en el paciente a los dos o tres días del procedimiento (Codivilla 1994). Alrededor de esta época, Steinmann desarrolló su aguja y, aplicando la técnica descrita por Codivilla, la insertó en la porción distal de la tibia en lugar de en el hueso calcáneo (Paterson, 1990).

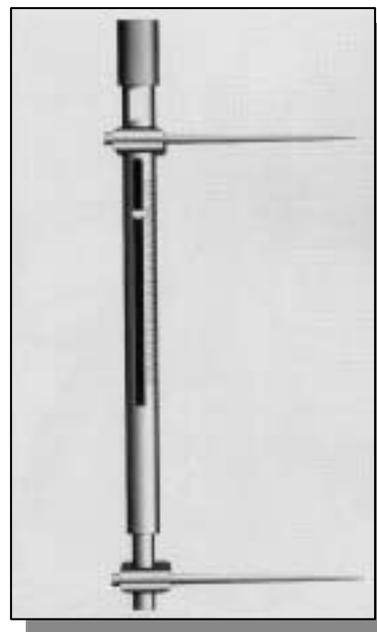


**Figura II.1:** Sistema de elongación de Alessandro Codivilla, 1905. (Samchukov, 1998)

En 1911, el francés Lambret estableció los principios de distracción y transfixión ya que utilizó un aparato compuesto por dos agujas transfixiantes en el tratamiento de fracturas (Paterson, 1990; Wiedemann, 1996). En los años siguientes, diversos autores publicaron casos de elongación ósea en los que habían aplicado la técnica de Codivilla pero introduciendo pequeñas variaciones. Freiberg en 1912, utilizó un picador de hielo esterilizado que, colocado a través del hueso calcáneo, permitía ejercer tracción sobre el hueso mediante una cuerda. Si la elongación obtenida no era suficiente, se llevaban a cabo distracciones adicionales sin anestesia (Paterson, 1990; Wiedemann, 1996). En esa época, el americano Magnuson describió 14 casos en los que realizaba una osteotomía tibial en forma de “Z” mediante la realización de numerosas perforaciones y reconoció el gran potencial biológico del periostio y endostio. Tras la distracción aguda de los fragmentos mediante pesas, introducía una cuña entre ellos para evitar que se colapsaran y los fijaba con tornillos de marfil que eran rápidamente reabsorbidos. El proceso de elongación duraba entre 20 y 30 minutos, durante los cuales los pacientes entraban en shock, llegando a morir uno de ellos. Asimismo, demostró gracias a los estudios realizados en perros, que era posible obtener una elongación de entre 5 y 7.5 cm. en una única fase sin provocar daños en los tejidos blandos (Paterson, 1990; Kenwright y White, 1993; Wiedemann, 1996). La aplicación de esta técnica en un caso de poliomielitis fue descrita por Ombredanne, quien además introdujo la idea de elongación lenta y gradual (Paterson, 1990; Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998).

Fassett, en 1913, aplicaba un método de elongación basado en la realización de una distracción ósea de 3 cm en un único paso, tras la cual insertaba pequeños fragmentos óseos y estabilizaba la osteotomía mediante una placa. Dicha técnica no se encontraba exenta de dificultades y complicaciones (Wiedemann, 1996). Tres años más tarde, Taylor describió una nueva técnica basada en sus 10 años de experiencia en la realización de elongación ósea en pacientes. Dicho método incluía la realización de una osteotomía en forma de “Z” y su estabilización mediante la colocación de una escayola. A continuación, esta escayola era cortada en dos porciones que eran separadas durante 10 días. Debido a la posterior introducción de bloques de magnesio o marfil en el espacio interfragmentario, aparecían graves infecciones óseas, de forma que se inclinó por la realización del acortamiento de la extremidad sana (Wiedemann, 1996).

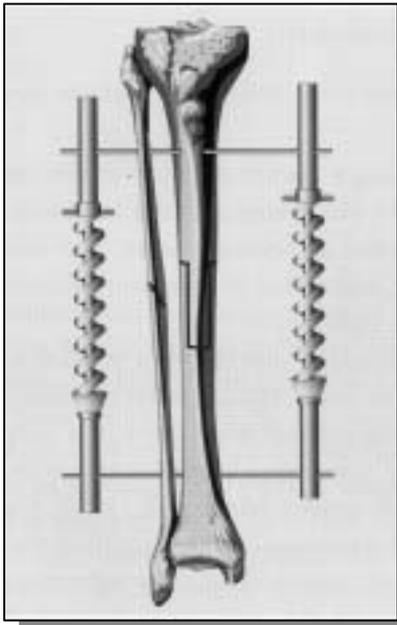
En los años 20, Vittorio Putti, alumno estrella de Codivilla, diseñó un aparato formado por dos agujas y una barra conectora para la distracción de los fragmentos óseos y que permitía controlar las fuerzas de tracción ejercidas (Figura II.2). Sin embargo, a causa de la escasa estabilidad proporcionada por dicho implante, esta técnica no fue adoptada de forma generalizada por la colectividad médica de su época. A pesar de la posterior modificación de su implante en un fijador tridimensional, Putti abandonó este método de elongación y utilizó un alambre de piano para realizar la elongación ósea. Este método se basaba en la aplicación de una tracción ósea durante un período de 18 a 21 días, hasta alcanzar la elongación deseada (6.35 a 10.16 cm) (Putti, 1990; Paterson, 1990; Wiedemann, 1996). Jones and Lovett utilizaron el distractor de Putti tras la realización de una osteotomía en forma de “Z” en el fémur. Tras la distracción, los fragmentos eran fijados con tendón de canguro (Paterson, 1990). En esa época, varios traumatólogos de medicina humana, entre los que se encuentran Klapp, Block, Herzberg o Hempel, diseñaron fijadores externos en los que utilizaban alambres sometidos a tensión en lugar de las agujas hasta ese momento aplicadas,. A pesar de que no se hace referencia a la realización de elongación ósea con ellos, dichos implantes influyeron de forma importante en el desarrollo de esta técnica (Wiedemann, 1996).



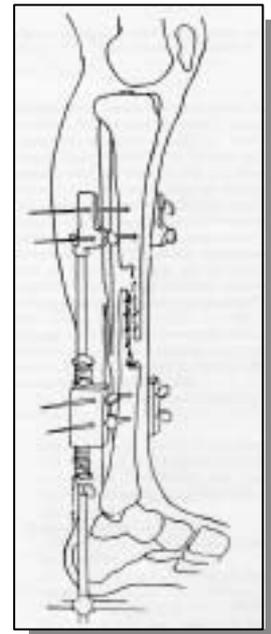
**Figura II.2:** Sistema de elongación de Vittorio Putti, 1921. (Samchukov, 1998)

Aunque hasta este momento las modificaciones introducidas se centraban en el aspecto mecánico de la elongación, algunos médicos de la época ya comenzaban a dar importancia al aspecto biológico. Uno de estos médicos fue August Bier, quien proclamaba el potencial osteogénico del hematoma fractuario, siendo el primer autor en esperar un tiempo antes de comenzar la distracción (Wiedemann, 1996). Durante la década de los años 20, Abbott introdujo un método de elongación de la tibia que se expandió por todos los Estados Unidos. En esta técnica, se introducían agujas en los extremos proximal y distal de la tibia y se unían mediante barras conectoras roscadas. A continuación, se llevaba a cabo una osteotomía en forma de “U” de este hueso, seccionando el periostio en toda la circunferencia ósea, y se aplicaba una distracción aguda de 1 ó 2 cm (Figura II. 3). Este autor sostenía la necesidad de comenzar la

elongación entre 7 y 10 días después de realizar la osteotomía, de forma que hubiera desaparecido la inflamación, para comenzar a continuación una distracción gradual de los fragmentos (1.5 a 3 mm diarios) hasta obtener la elongación deseada (Paterson, 1990; Kenwright y White, 1993; Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998). Ante las graves complicaciones surgidas con esta técnica, Abbott optó por el acortamiento de la extremidad sana en aquellos casos de dismetría (Wiedemann, 1996). Poco tiempo después, esta técnica fue modificada por Carrell, quien realizaba una osteotomía más conservadora, preservando el periostio (Wiedemann, 1996) e insertaba una tercera aguja en la cara craneal de los fragmentos con objeto de evitar la angulación craneal de éstos. Sin embargo, esta variación no tuvo éxito ya que causaba graves lesiones cutáneas (Paterson, 1990). Puesto que no se había solucionado el problema, tuvieron que ser Brockway y Fowler quienes lo hicieran, mediante la colocación de la segunda aguja ligeramente más craneal que las otras tres (Figura II.4) (Paterson, 1990).



**Figura II.3:** Técnica de osteotomía y fijador externo bilateral de Abbot, 1927. (Samchukov, 1998)



**Figura II.4:** Técnica e implante de Brockway y Fowler, 1942. (Paterson, 1990)

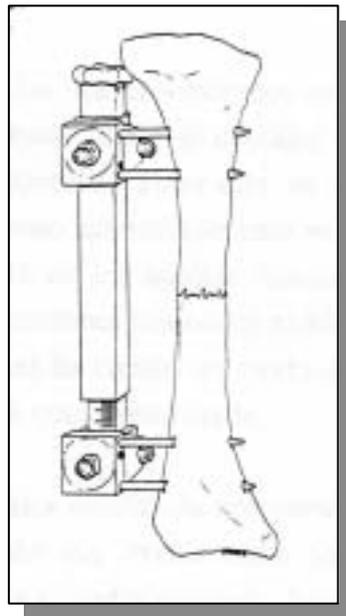
Durante los años 30, se introdujeron más modificaciones en estas técnicas, desarrollándose numerosas mejoras que se extendieron entre los cirujanos de todo el mundo. Comenzaron a aparecer los primeros resultados clínicos de autores tales como White, Dickson y Diveley, Haboush y Finkelstein, Compere o Sofield, los cuales hacían referencia a éxitos y complicaciones. Estas complicaciones incluían problemas de origen óseo, tales como consolidaciones retardadas, no-uniones, deformaciones y fracturas tras la retirada de los implantes, y problemas asociados al sobreestiramiento de

los tejidos blandos, como parálisis nerviosa y contracturas articulares. Todos estos problemas limitaron la expansión y aceptación de la elongación ósea (Paterson, 1990; Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998).

En esta década, Bitner introdujo por vez primera el uso de un fijador externo circular con agujas delgadas sometidas a tensión, en lugar de agujas más gruesas. Aquellas eran mejor toleradas por el hueso y los tejidos blandos, disminuyendo el número de complicaciones. Sin embargo, la fijación ósea mediante agujas únicamente no resultaba lo suficientemente estable para las manipulaciones requeridas durante la elongación ósea (Samchukov, 1998). En 1938, Bosworth utilizó por primera vez el término distracción ósea, e incluso sugirió la realización de una elongación a doble nivel con objeto de dividir las fuerzas de distracción entre dos puntos diferentes en el hueso (Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998). En 1948, Allan presentó buenos resultados gracias a la realización de una osteotomía oblicua y relativamente atraumática, en la que seccionaba el hueso después de cortar parcialmente el córtex opuesto con un osteotomo. En lugar de una única aguja, utilizaba agujas de Kirschner sometidas a tensión dispuestas en diferentes planos y sujetadas a una especie de estribos, proporcionando así una mayor estabilidad al fijador. Ya en este momento, Allan aplicaba una distracción continua y progresiva a un ritmo de 1.6 mm al día (Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998).

Fueron muchos los autores que modificaron estas técnicas, introduciendo variaciones tanto en el aparato distractor como en la técnica quirúrgica y de elongación. En 1952, Anderson describió la realización de la osteotomía a través de una pequeña ventana en el periostio. Esta técnica consistía en la realización de perforaciones múltiples en la cortical seguida por una osteoclasia transversal cerrada, preservando de este modo los tejidos blandos adyacentes (Samchukov, 1998). Asimismo, este autor provocaba una sinóstosis entre la tibia y el peroné antes de comenzar la distracción (Paterson, 1990). Kawamura modificó este método mediante la elevación tubular de todo el periostio a través de una pequeña incisión en la piel y la preservación de la vascularización ósea (Kawamura *et al.*, 1968; Paterson, 1990; Samchukov, 1998).

No fue hasta mediados de siglo que Ilizarov describió un fenómeno que revolucionaría la elongación ósea: la osteogénesis por distracción, que es descrita más adelante (Ilizarov, 1989a; 1992). Posteriormente, Wagner describió otra técnica de elongación ósea que tuvo numerosos seguidores dentro de la traumatología humana de Europa y Norteamérica (Kenwright y White, 1993). Este autor defendía la realización de forma abierta de una osteotomía diafisaria media junto con la disección del periostio y de la fascia contigua. Tras una separación aguda intraoperatoria de 5 mm de los fragmentos óseos, se colocaba un fijador externo monolateral con agujas roscadas y se procedía a la elongación gradual a un ritmo de 1.5 mm una o dos veces al día (Figura II.5). Una vez obtenida la elongación ósea deseada, se efectuaba una segunda intervención quirúrgica en la que se injertaba hueso esponjoso en el espacio interfragmentario, se retiraba el fijador externo y se colocaba una placa de osteosíntesis que estabilizara los fragmentos. Con el fin de obtener una correcta integración del injerto óseo, no le era permitido al paciente soportar peso sobre la extremidad intervenida durante un prolongado período de tiempo. Tras esta fase de consolidación, la placa de osteosíntesis era retirada, en una tercera cirugía, y se comenzaba el apoyo progresivo de la extremidad (Wagner, 1978; Paterson, 1990; Cech y Trc, 1993; Wiedemann, 1996).



**Figura II.5:** Elongador de Wagner (Wagner, 1978)

Una modificación de la técnica descrita por Wagner en los años 70, fue definida por Wassertein en 1988. La diferencia radicaba en la colocación de un injerto de hueso cortical en el espacio interfragmentario y la estabilización posterior de los fragmentos óseos mediante un fijador externo circular y un clavo intramedular, en lugar del hueso esponjoso y la placa ósea utilizados por el primero (Paterson, 1990). Estos dos métodos pueden denominarse “no-biológicos”, a diferencia de la técnica “biológica” descrita por Ilizarov, ya que la elongación ósea a que daban lugar no dependía de la respuesta biológica o del potencial osteoinductor del hueso, sino de la inserción de tejido óseo externo (Cech y Trc, 1993). Los métodos de Wagner y Wassertein han sido utilizados con posterioridad por otros autores, los cuales han registrado numerosas

complicaciones, tales como infecciones, refracturas, mal-uniones o no-uniones, entre otras (Guarniero y Barros, 1990; Paley, 1990).

A partir de 1970, se desarrolló una escuela de pensamiento diferente a la de Wagner, que defendía la idea de que el organismo poseía un enorme potencial de regeneración. Dicha corriente comenzó con Kawamura al que se unieron numerosos científicos que investigaron sobre los diferentes factores que influían en la osteogénesis por distracción (Kawamura *et al.*, 1968; Kenwright y White, 1993).

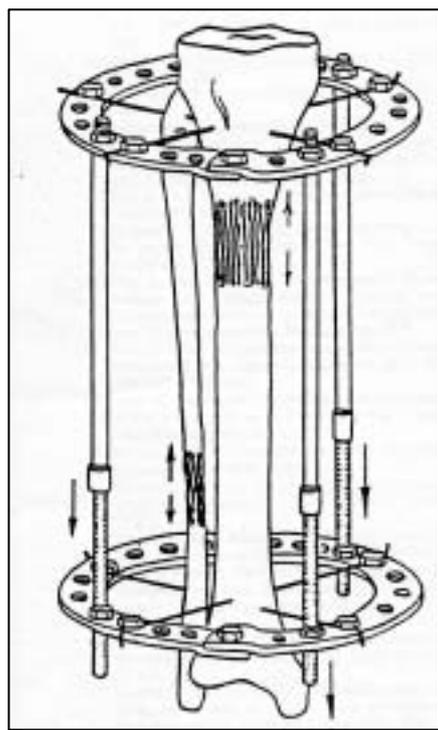
A lo largo de la historia, se han descrito otras técnicas de elongación ósea. Pais, en 1946, fue probablemente el primer cirujano en llevar a cabo la distracción a lo largo de un clavo intramedular. Otros autores, tales como Küntscher, Bertrand, Bost y Larson, o Wasserstein, utilizaron y modificaron esta técnica de elongación ósea (Wiedemann, 1996). La obtención de una elongación ósea por medio de epifisiolisis fue investigada por primera vez por Ring en 1958 (Wiedemann, 1996). Esta técnica fue descrita con posterioridad por numerosos autores (Ilizarov, 1969 en Wiedemann, 1996; Monticelli y Spinelli, 1981; DeBastiani *et al.*, 1986; Fjeld y Steen, 1988; Cañadell y De Pablos, 1992; Reichel *et al.*, 1996).

La elongación ósea no comenzó a utilizarse en veterinaria hasta que en 1984, el italiano Antonio Ferretti describió los primeros casos de aplicación del método de Ilizarov en animales de compañía (Welch y Lewis, 1999). Pronto, otros cirujanos europeos comenzaron a usar esta técnica, expandiéndose rápidamente, hasta llegar posteriormente a Norteamérica. Inicialmente, Ferretti utilizó la versión pediátrica del elongador circular de Ilizarov, aunque no tardó en desarrollar una versión más pequeña y ligera, más apropiada para los animales de compañía. Hasta la actualidad se han desarrollado numerosas variaciones del elongador circular en un intento por mejorar su tamaño, peso, coste y aplicabilidad en medicina veterinaria (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

## **II.2.- ILIZAROV Y EL PRINCIPIO DE TENSION-ESTRES**

Gavriil A. Ilizarov nació en Dagestan cerca de la cordillera Caucásica. Durante su infancia, varias personas influyeron en él infundiéndole el deseo de convertirse en médico. Realizó sus estudios de medicina en el Instituto Médico de Simferopol, aunque debido a la Segunda Guerra Mundial, tuvo que ser evacuado a Kazachstan, donde pudo finalizarlos. Posteriormente, se desplazó cerca de Kurgan donde trabajó en el Hospital para Heridos de Guerra como cirujano (Cech y Trc, 1993; Stallings *et al.*, 1998). Hasta él llegaban numerosos heridos que presentaban las consecuencias de la guerra: fracturas no unidas, osteomielitis crónica o grandes defectos óseos, entre otros. Debido a la limitación en personal y equipamiento existente en esa época, Ilizarov tuvo que hacer uso de su ingenio desarrollando un fijador externo circular que revolucionó el modo de entender la traumatología, y que en la actualidad todavía lleva su nombre. Este aparato se encontraba formado por anillos circulares, que se unían mediante barras conectoras roscadas, y que sujetaban finas agujas transfixiantes (Figura II.6) (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

Tras varios años de exitosos resultados mediante el uso de este fijador externo en fracturas, Ilizarov descubrió el fenómeno de osteogénesis por distracción de una forma puramente casual. Uno de sus pacientes accidentalmente llevó a cabo la distracción de su fractura en lugar de la compresión, debido a un error en la dirección de giro de las tuercas del fijador. De esta forma, Ilizarov pudo



**Figura II.6:** Fijador externo circular de Ilizarov y osteogénesis por distracción. (Samchukov *et al.*, 1998)

observar que en el espacio interfragmentario creado se formaba hueso nuevo (Lesser, 1998; Welch y Lewis, 1999). Este descubrimiento le condujo a la

realización de extensos estudios clínicos y experimentales con objeto de investigar más profundamente este fenómeno y mejorar el método. Su trabajo le valió prestigiosos premios de las comunidades médica y científica, pero no fue hasta 30 años más tarde

cuando su trabajo se extendió por occidente. Tras su muerte en 1992, sus investigaciones han podido continuar gracias a la Asociación para el Estudio y Aplicación de los Métodos de Ilizarov (ASAMI), fundada en Italia en 1982, Norteamérica en 1991 e internacionalmente en 1997 (Welch y Lewis, 1999).

Así pues, sus investigaciones en el campo de la traumatología le llevaron al descubrimiento de un principio biológico que regía la estimulación de la regeneración y crecimiento de los tejidos durante la distracción. Este principio fue denominado **“Ley de tensión-estrés”** que, según sus propias palabras, puede definirse como:

*“La tracción gradual sobre tejidos vivos crea un estrés que puede estimular y mantener la regeneración y el crecimiento activo de ciertas estructuras tisulares. Los tejidos sometidos a una tracción lenta y constante son activados metabólicamente, un fenómeno caracterizado por la estimulación de las funciones celulares tanto proliferativas como sintéticas. Estos procesos regenerativos dependen de una adecuada vascularización y del efecto estimulante del apoyo de peso” (Ilizarov, 1989a)*

### **II.3.- LA OSTEOGENESIS POR DISTRACCION**

Tal y como se deduce de la ley de tensión-estrés descrita por Ilizarov (1989a), la osteogénesis por distracción representa la inducción mecánica de la formación de nuevo hueso durante la separación gradual de dos segmentos óseos bien estabilizados. Este fenómeno se basa en la capacidad inherente del tejido óseo para repararse y remodelarse de acuerdo a las fuerzas mecánicas a las que es expuesto (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

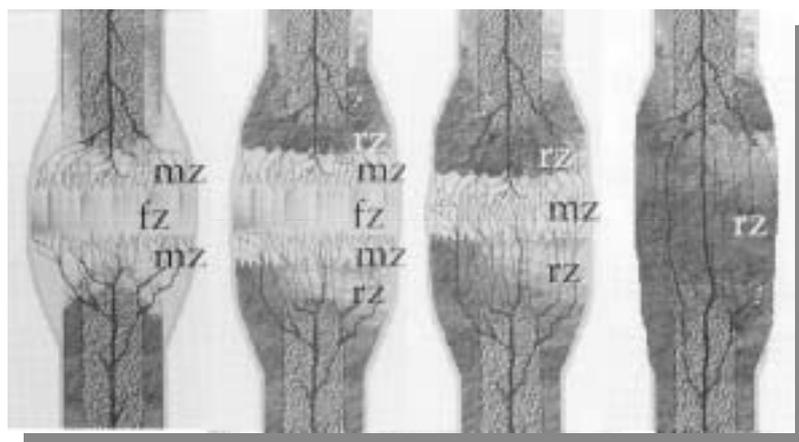
La osteogénesis por distracción comparte muchas características biológicas con los fenómenos de desarrollo esquelético y reparación de fracturas, como son los mecanismos endocondral e intramembranoso de formación ósea. Los investigadores de este fenómeno no se ponen de acuerdo respecto a cual de estos dos mecanismos de formación ósea tiene lugar predominantemente durante la elongación. Algunos autores, como Aronson y Shen (1994) o el propio Ilizarov (1989ayb), afirman que la formación del hueso se lleva a cabo mediante osificación intramembranosa, mientras que Kojimoto *et al.* (1988) y White y Kenwright (1991) son partidarios de la osificación endocondral del callo de distracción. Otros autores, sin embargo, sostienen que ambos mecanismos coexisten durante la elongación ósea, entre los que se encuentran Yasui *et al.* (1997) y Muhonen *et al.* (2002). Recientemente, algunos autores han descrito la presencia de un tercer tipo de tejido durante la osteogénesis por distracción, el tejido condroide (Yasui *et al.*, 1997; Lengelé, 1996). Independientemente del mecanismo que tenga lugar, finalmente se obtiene la formación de hueso fibrorreticular. Todo tejido neoformado se organiza en forma de columnas dispuestas longitudinalmente, siguiendo la dirección de la distracción, a diferencia de la reparación de fracturas, en la que este tejido óseo se distribuye aleatoriamente (Ilizarov, 1989a; Samchukov, 1998; Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

Durante la elongación, se crea una estructura similar a la del cartílago de crecimiento de los animales en desarrollo que, como ella, permite el crecimiento longitudinal de los huesos (Kojimoto *et al.*, 1988). Tras la osteotomía, se forma un hematoma que atrae a numerosos fibroblastos y células osteoprogenitoras. En breve espacio de tiempo, este coágulo se reorganiza formando una red fibrosa en el espacio interfragmentario. Con el inicio de la distracción, se crean fuerzas de tensión a lo largo

de dicha separación que inducen a que el colágeno sintetizado por los fibroblastos se organice en forma de fibrillas longitudinales. Rápidamente se produce la llegada de nueva vascularización procedente del periostio y endostio, y con ella la aparición de osteoblastos que sintetizan hueso fibrorreticular entre las fibrillas de colágeno (Ilizarov, 1989a; Delloye *et al.*, 1990; Welch *et al.*, 1998). Este tipo de hueso recién formado, se organiza en forma de columnas que son ya visibles radiológicamente entre los 7 y 14 días del inicio de la distracción (Delloye *et al.*, 1990; Lesser, 1998; Welch y Lewis, 1999; Preston, 2000; Hancock *et al.*, 2003). A medida que ésta continúa, se forma una zona fibrosa radiolúcida en el centro del espacio que divide el callo de distracción en dos mitades, proximal y distal. En este momento es posible diferenciar varias estructuras en el callo de distracción (Aronson *et al.*, 1990; Samchukov, 1998; Welch *et al.*, 1998):

- **Zona Central de Crecimiento (ZCC):** Como ya se ha mencionado anteriormente, se trata de un área radiolúcida, localizada en el centro del callo de distracción, contiene tejido fibroso y se encuentra mal vascularizada (Aronson *et al.*, 1990; Aronson y Shen, 1994), aunque algunos autores afirman que está formada por una red vascular (Kojimoto *et al.*, 1988; Stallings *et al.*, 1998). Mientras se está realizando la distracción, esta línea zigzagueante central presenta un grosor de entre 2 y 4 mm, aunque en el momento en que ésta cesa, se estrecha progresivamente hasta desaparecer. Este hecho se debe a la mineralización que tiene lugar durante el período de consolidación, momento en el cual también tiene lugar una rápida revascularización de esta estructura (Ilizarov, 1990; Welch y Lewis, 1999).
- **Zonas de Mineralización Proximal y Distal (ZMP y ZMD):** Se consideran cada una de las estructuras mineralizadas que conectan la ZCC proximalmente con el fragmento óseo proximal, y distalmente con el distal. Están constituidas por columnas de hueso fibrorreticular orientadas siguiendo la dirección de la distracción (Welch *et al.*, 1998). Estas zonas pueden dividirse a su vez en un “Frente primario de mineralización” y una “Zona de formación de microcolumnas” (Aronson *et al.*, 1990). Un estudio realizado por Ilizarov demostró que la

orientación de estas columnas es siempre paralelo a la dirección de la tracción, independientemente de si ésta es perpendicular al eje diafisario del hueso (Ilizarov, 1989a). Entre estas microcolumnas óseas se encuentra tejido no calcificado y vasos sanguíneos neoformados que avanzan hacia el centro del callo. La calcificación de las ZMP y ZMD tiene lugar en sentido centrípeto, es decir, desde el extremo en contacto con las corticales originales hacia la zona central no mineralizada (Ilizarov, 1989a; Aronson *et al.*, 1990; Delloye *et al.*, 1990; Stallings *et al.*, 1998). Con el tiempo, estas trabéculas longitudinales convergen entre sí y sufren una intensa remodelación ósea, sustituyendo el hueso fibrorreticular por hueso lamelar y osteonal (Welch y Lewis, 1999). Este hecho da lugar a la aparición de dos zonas adicionales en contacto con los segmentos óseos originales, las **Zonas de Remodelación Proximal y Distal (ZRP y ZRD)** (Samchukov 1998) (Figura II.6).



**Figura II.6:** Estructuras que se pueden diferenciar en el callo de distracción a lo largo del proceso de elongación ósea. (fz): Zona Central de Crecimiento, (mz): Zona de Mineralización, (rz): Zona de Remodelación. (Samchukov *et al.*, 1998)

Una vez que la línea radiolúcida central desaparece, las zonas de remodelación proximal y distal se unen, dando lugar a la consolidación del callo de distracción. Los fenómenos de remodelación ósea que dan lugar a la formación de las estructuras cortical y medular comienzan alrededor de los 2-3 meses en animales y entre los 4 y 6 meses en humanos, siendo ya visible la cavidad medular a partir de los 4 meses en animales. La remodelación del callo de distracción se considera completa hacia los 5 ó 7 meses en animales, y 12 ó 14 meses en humanos (Samchukov, 1998; Welch y Lewis, 1999). Las

propiedades de fuerza del callo de distracción aumentan con el tiempo, pero no alcanzan los niveles de control incluso a las 12 semanas de la elongación (Walsh *et al.*, 1994)

Algunos autores han descrito una serie de conceptos relacionados con la elongación ósea, cuya función es cuantificar una serie de hechos que tienen lugar durante todo este proceso regenerativo (Minty *et al.*, 1994; Tsuchiya *et al.*, 1997).

- Indice de fijación externa: Se trata del índice de consolidación, el tiempo que tarda en formarse 1 cm de hueso regenerado. Se calcula dividiendo el tiempo en días que ha transcurrido desde la osteotomía hasta la retirada del fijador externo, entre la longitud total elongada expresada en centímetros.
- Indice de distracción: Corresponde al tiempo necesario para elongar 1 cm. Se calcula dividiendo la duración de la fase de distracción en días entre la longitud total elongada, medida en centímetros.
- Indice de maduración: Concierno al tiempo que lleva la consolidación de cada centímetro de callo de distracción formado. Se calcula como la división del tiempo en días transcurrido entre el final de la distracción y la retirada del fijador externo, entre la longitud total elongada expresada en centímetros.

$$\begin{aligned} \text{Indice fijación externa} &= \frac{\text{Duración de fijación externa (d)}}{\text{Longitud elongada (cm)}} \\ \text{Indice distracción} &= \frac{\text{Duración de distracción (d)}}{\text{Longitud elongada (cm)}} \\ \text{Indice maduración} &= \frac{\text{Tiempo fin distracción-retirada fijador (d)}}{\text{Longitud elongada (cm)}} \end{aligned}$$

(Minty 1994, Tsuchiya 1997)

### **3.1.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OSTEOGENESIS POR DISTRACCION**

Existe una serie de factores clínicos que influyen de forma decisiva en la calidad y cantidad de hueso producido durante la elongación ósea y en los tejidos blandos que rodean el hueso elongado. Estas variables no sólo intervienen en el momento mismo de distracción, sino que pueden participar también en la fase quirúrgica previa o en el período de consolidación posterior.

#### **3.1.1.- Período de latencia**

Se trata del período de tiempo que transcurre desde que se realiza la osteotomía hasta que se inicia la distracción. Durante esta fase, se produce la formación y reorganización de un hematoma en la osteotomía y la aparición de una vascularización temprana en el callo fibroso (White y Kenwright, 1991; Samchukov, 1998; Welch y Lewis, 1999).

La prolongación de esta fase neutra no es idéntica en todos los pacientes, sino que depende de la capacidad de regeneración del hueso, la cual viene determinada por factores como la edad, la localización de la osteotomía, la preservación de los tejidos blandos durante la cirugía o la existencia de enfermedades concomitantes, entre otros. De esta forma, si se trata de un animal joven, la osteotomía se ha realizado a nivel metafisario o se han preservado los tejidos blandos adyacentes, la capacidad regenerativa del hueso será elevada, y por lo tanto aplicaremos un período de latencia reducido. Si por el contrario, el animal presenta una edad avanzada o padece alguna enfermedad simultáneamente, será necesario prolongar esta fase neutra, ya que el potencial osteogénico aparece disminuido. Si no se ajusta el período de latencia al paciente y éste es demasiado prolongado, puede provocarse una consolidación prematura de la osteotomía, requiriendo la realización de una nueva fractura. Si inversamente, este período es excesivamente breve, puede llevar a la formación de un callo de distracción insuficiente o incluso causar una no-uniión (Aldegheri *et al.*, 1989b; Green, 1991b; White y Kenwright, 1991; Welch y Lewis, 1999). En medicina veterinaria los períodos de latencia recomendados son de 2 ó 3 días para animales inmaduros y de 5 a 7 días para animales adultos (Welch y Lewis, 1999).

### **3.1.2.- Velocidad de distracción**

Se define como la longitud total de elongación realizada por día. Las velocidades habitualmente aplicadas en veterinaria se encuentran entre 0.75 y 2 mm diarios, dependiendo aproximadamente de los mismos factores que influían en el período de latencia (Welch y Lewis, 1999). De forma similar a lo que sucedía en el parámetro anteriormente descrito, si la velocidad de distracción es excesivamente elevada, puede producirse no sólo una no-unión de la fractura, sino contracturas musculares y subluxaciones articulares, mientras que si es demasiado reducida, es posible que ocurra una consolidación prematura de la osteotomía (Elkins *et al.*, 1993; Welch y Lewis, 1999).

### **3.1.3.- Ritmo de distracción**

Se considera como el número de incrementos de longitud que se llevan a cabo por día para una velocidad de distracción dada. Tal y como afirma Ilizarov (1989b), este parámetro influye de manera importante en la calidad y cantidad de hueso nuevo formado. Aunque sostiene que cuanto mayor es el ritmo de distracción, mejor es la calidad del callo formado, a los pacientes les resulta inviable la aplicación de ritmos tan elevados como 60 distracciones diarias. Con la aparición de autodistractores que realizan 60 elongaciones diarias o incluso distracciones constantes, era posible obtener un callo de excelente calidad regenerativa. Sin embargo, Welch *et al.* (1998) sostienen que la aplicación de diferentes ritmos de distracción no produce ninguna diferencia histomorfométrica en el hueso regenerado, cuando se ha utilizado un fijador externo circular. No obstante, aclaran que este resultado no sugiere que el ritmo de distracción no sea importante con otros tipos de fijador externo.

Debido a la escasez de recursos existente en veterinaria, los ritmos de distracción más frecuentemente utilizados en animales de compañía son 2 ó 4 veces al día (Welch y Lewis, 1999).

### **3.1.4.-Osteotomía / Corticotomía**

La diferencia entre la realización de una osteotomía o una corticotomía, radica en la preservación de la vascularización intramedular. Mientras que la primera de las técnicas causa una disrupción completa de los vasos intramedulares, la segunda los conserva. La corticotomía se realiza a través de un abordaje limitado a través del cual se cortan las caras anterior, medial y lateral del hueso mediante un osteotomo, preservando así los vasos sanguíneos intramedulares. La cara posterior del hueso es fracturada manualmente (osteoclisis) mediante la aplicación de fuerzas de torsión.

Tal y como se ha comentado anteriormente, resulta de gran importancia la formación del hematoma en el espacio interfragmentario y la llegada temprana de la vascularización, para la formación del callo de elongación. Por consiguiente, podría parecer lógico pensar que la preservación de la vascularización intramedular es fundamental para la futura formación de dicho callo. Sin embargo, esta idea ha sido cuestionada por diferentes autores, los cuales no llegan a ningún acuerdo (DeBastiani *et al.*, 1987; Kojimoto *et al.*, 1988; Ilizarov, 1989b; Delloye *et al.*, 1990; Paley y Tetsworth, 1991; Yanoff *et al.*, 1992; Aronson y Shen, 1994; Frierson *et al.*, 1994).

### **3.1.5.-Preservación del periostio / endostio**

De forma similar a lo que sucedía con el papel que jugaba la preservación o no de la vascularización intramedular, se ha cuestionado también la función ejercida por el periostio y el endostio en la formación del callo de elongación.

Algunos autores, tales como Ilizarov (1989a), Kojimoto *et al.* (1988) o Frierson *et al.* (1994), sostienen que el periostio y el endostio juegan un papel de gran importancia en la formación del callo de elongación, y abogan por la realización de una corticotomía subperióstica. No obstante, Ilizarov (1989a) y Delloye *et al.* (1990) otorgan mayor valor a la preservación de la vascularización intramedular que a la del periostio, mientras que Frierson sostiene lo contrario (Frierson *et al.*, 1994). Por otra parte, Kojimoto asegura que la preservación del periostio resulta esencial durante la elongación ósea, incluso más que la realización de una corticotomía cuidadosa, ya que de lo contrario, la formación del callo se ve marcadamente afectada. Sin embargo,

sostiene que la función del endostio en la creación del callo no es tan valiosa, puesto que su lesión no produce un efecto tan pronunciado en el hueso formado (Kojimoto *et al.*, 1988).

### **3.1.6.-Localización de la osteotomía**

Ya se ha mencionado con anterioridad que la calidad y cantidad del callo de distracción formado dependen de la capacidad regenerativa y osteoinductora del hueso. Numerosos autores defienden la idea de que la realización de la osteotomía en la metáfisis del hueso maximiza el potencial osteogénico durante la distracción ósea. Esta teoría se basa en el hecho de que la metáfisis ósea contiene abundante hueso esponjoso y rica vascularización colateral (Ilizarov, 1990; Aronson y Shen, 1994; Fischgrund *et al.*, 1994). Sin embargo, algunos autores ponen en duda las ventajas de la osteotomía metafisaria (Steen y Fjeld, 1989).

La localización metafisaria o diafisaria de la osteotomía no son los únicos factores que afectan las características del hueso formado durante la elongación. La situación proximal o distal del corte en el hueso a elongar ha demostrado también influir en la calidad del callo de distracción (Shirai *et al.*, 1997). Estos autores afirman que la práctica de la osteotomía en la diáfisis distal induce la formación de un callo de distracción pobre y de resistencia a las fuerzas de torsión disminuída, así como un retraso en el tiempo de consolidación.

Por otra parte, Fischgrund *et al.* (1994) sostienen que las características del callo de distracción también dependen del hueso en el que se esté realizando la elongación. De esta forma, afirman que las elongaciones en el fémur presentan tiempos de consolidación inferiores que en la tibia.

### **3.1.7.- Estabilidad del elongador**

La estabilidad proporcionada por el elongador resulta de gran importancia en el proceso de formación del callo de distracción, de forma similar a lo que sucede en la consolidación de fracturas (Ilizarov, 1989a, 1990, 1992). Durante la reparación de una fractura, la diferenciación de las células mesenquimatosas pluripotenciales en células

cartilagosas, condroides u óseas, depende de la vascularización y de los micromovimientos interfragmentarios, es decir, de la estabilidad. En condiciones ambientales de estabilidad reducida se formarían condroblastos, con vascularización y micromovimientos intermedios, condroidoblastos, y en condiciones de estabilidad elevada, osteoblastos. La presencia de uno u otro tejido determina el grado de consolidación ósea (Rahn, 1982). Respecto a este factor, como otros muchos, es posible establecer cierto paralelismo entre el mecanismo de consolidación de una fractura y el fenómeno de osteogénesis por distracción, ya que una vez elongado, el hueso regenerado debe consolidar para permitir la recuperación funcional de la extremidad. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, no existe un acuerdo claro entre los autores respecto al mecanismo de osificación que tiene lugar durante la formación del callo de distracción.

De esta forma, y a pesar de que Ilizarov defendía la actuación de un mecanismo de osificación intramembranoso durante la elongación ósea, pudo observar en uno de sus estudios, que la aplicación de un fijador poco estable daba lugar a la presencia de tejido cartilaginoso en el callo de distracción, hallazgo muy indicativo de no-uni6n (Ilizarov, 1989a).

### **3.1.8.- Otros**

Ilizarov (1989b) sostiene que la estimulaci6n de la hematopoyesis tendría a su vez un efecto positivo sobre la osteogénesis. Observ6 que durante la elongaci6n se producía una leve reducci6n de la hematopoyesis en la cavidad medular a nivel de la zona de la distracci6n, mientras que durante la fase de consolidaci6n, esta actividad recuperaba su ritmo normal. Esta observaci6n le llev6 a pensar que podía existir una poblaci6n com6n de células hematopoyéticas y osteogénicas que fueran estimuladas durante la distracci6n.

La realizaci6n posterior de un experimento con conejos, le dio la oportunidad de comprobar que su hip6tesis era correcta. Los conejos a los que se les había extraído un volumen de sangre correspondiente al 1% del peso corporal antes de la extirpaci6n de un fragmento óseo, presentaron una regeneraci6n ósea del defecto m6s r6pida que aquellos a los que no se les había extraído sangre alguna (Ilizarov, 1989b). Por el

contrario, otros autores desmienten la existencia de esta relación entre las células hematopoyéticas y la osteogénesis (Weigel, 1993).

### **3.2.- EFECTOS DE LA OSTEOGENESIS POR DISTRACCION SOBRE LOS TEJIDOS BLANDOS**

Aunque se ha descrito que un segmento óseo puede ser elongado de forma segura hasta el 130 ó 140% de su longitud original (Yasui *et al.*, 1991), la aplicación clínica de esta afirmación no parece viable en condiciones reales ya que este hueso no se encuentra aislado, sino que aparece rodeado por multitud de estructuras: músculos, tendones, vasos sanguíneos, nervios y articulaciones (Samchukov, 1998). Durante la distracción ósea, estos tejidos sufren modificaciones estructurales que, de forma similar a lo que ocurría durante la elongación del hueso, dependen de factores como la velocidad, el ritmo de distracción o la longitud total elongada (Ilizarov, 1989a; Lee *et al.*, 1993; Ippolito *et al.*, 1994; Mizumoto *et al.*, 1995; Simpson *et al.*, 1995; Makarov *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001; Lindsey *et al.*, 2002).

#### **3.2.1.- Vascularización**

Con referencia a la elongación total obtenida, Ippolito *et al.* (1994) sostienen que las arterias son más resistentes a la distracción que las venas, ya que comienzan a mostrar alteraciones puntuales cuando se alcanza una elongación del 20% de la longitud del hueso, mientras que las venas presentan mayores modificaciones en esta fase.

En su estudio observaron que cuando se obtenía una elongación del 8%, no se producían cambios morfológicos de estas estructuras, pero con un 20% de elongación, comenzaban a visualizarse alteraciones estructurales de los vasos. Las capas vasculares se adelgazaban, las células se afinaban y alargaban, se perdían proteínas contráctiles (actina y miosina) y comenzaba la vacuolización intracelular. Estas modificaciones se hacían más evidentes con la obtención de una elongación del 30%. En este momento se agravaba la presencia de vacuolas intracelulares y se producía la degeneración y separación de las células endoteliales respecto a la membrana basal. Respecto a las estructuras venosas, las lesiones desarrolladas daban lugar a un edema difuso,

consecuencia tanto de la insuficiencia venosa como de la alteración de los vasos linfáticos. A los dos meses, los cambios estructurales descritos habían desaparecido, pudiendo observarse tejido normal (Ippolito *et al.*, 1994).

Con referencia a los otros dos factores de la elongación que afectan a los cambios que se producen en los vasos sanguíneos, la velocidad de elongación influye de forma negativa, mientras que el ritmo de distracción lo hace de forma positiva. Un estudio experimental llevado a cabo por Ilizarov (1989a), mostraba que a medida que se aumentaba la velocidad de distracción, disminuía la actividad biosintética de las células arteriolares, mientras que cuanto mayor era el número de distracciones que se realizaban diariamente (ritmo), mayor era dicha actividad celular. Asimismo, las células musculares lisas de la pared de los vasos presentaban una actividad sintética aumentada, indicativa de crecimiento tisular (Ilizarov, 1989a).

Por otra parte, Ilizarov también pudo observar que utilizando ritmos de elongación elevados se formaba un mayor número de capilares que se anastomosaban entre ellos, es decir, tenía lugar una elevada actividad angiogénica (Ilizarov 1989a). La angiogénesis se iniciaba con la degradación de la membrana basal endotelial de los vasos originales y la migración de células endoteliales en la dirección del estímulo. Estos brotes vasculares se extendían, invadiendo y remodelando la matriz que les rodea. En ellos, se producían numerosas divisiones celulares, formando el lumen vascular, y mediante la anastomosis de todos estos brotes se permitía la circulación de la sangre (Ganey *et al.*, 1994).

Los estudios realizados por Aronson (1994) de la afectación de la vascularización durante la osteogénesis por distracción mediante técnicas de gammagrafía, mostraron que se producía un aumento de la vascularización sanguínea no sólo en la región de la distracción, sino también en zonas del hueso alejadas de la elongación. Este aumento era muy marcado durante las dos primeras semanas (10 veces) para posteriormente disminuir pero manteniéndose todavía elevado durante todo el proceso de elongación (4-5 veces). Durante la fase de consolidación del callo de distracción, la vascularización se reducía de nuevo, pero permanecía más elevada que en el hueso no elongado (2-3 veces). Las regiones del hueso alejadas del punto de distracción mostraban también un aumento del flujo sanguíneo, pero en menor

proporción que la región elongada. Aronson pudo observar que este aumento del flujo se prolongaba durante el mismo período de tiempo, 17 semanas, independientemente de la duración de la fase de distracción (Aronson, 1994).

### **3.2.2.- Tejido nervioso**

Tal y como ocurría con la vascularización, la velocidad, el ritmo y la elongación total obtenida influyen de forma marcada en el tejido nervioso (Ilizarov, 1989a; Ippolito *et al.*, 1994; Mizumoto *et al.*, 1995).

La influencia que la velocidad y el ritmo de distracción ejercían sobre los cambios estructurales que las fibras nerviosas desarrollaban durante la elongación, fue estudiada por Ilizarov (1989a). En este estudio experimental, Ilizarov pudo comprobar que el ritmo de distracción ejercía un papel más importante en las alteraciones estructurales nerviosas que los factores restantes. De esta forma, sugiere que la utilización de ritmos de distracción bajos (1 ó 2 distracciones diarias) causaba una reducción en el diámetro axonal y alteraciones intracitoplasmáticas. Por el contrario, la realización de un mayor número de distracciones diarias (4 ó el uso del autodistractor) causaba alteraciones mínimas o incluso permitía observar fibras nerviosas neoformadas en diferentes estadios de diferenciación. Cuando se usaba el autodistractor, las imágenes histológicas tomadas mostraban fenómenos típicos del desarrollo fetal de los troncos nerviosos (Ilizarov, 1989a).

Con referencia a la proporción de longitud elongada, Ippolito *et al.* (1994) pudieron observar que si la elongación obtenida correspondía al 8% de la longitud del nervio, las lesiones eran únicamente visibles a través del microscopio electrónico. En este caso, las imágenes tomadas mostraban signos de fragmentación y depósitos granulares en la vaina de mielina. A medida que se aumentaba la elongación, los cambios se hacían cada vez más evidentes. Con un 20% de distracción, las alteraciones ya eran visibles a través del microscopio óptico, pudiendo observarse el engrosamiento e inflamación de la vaina de mielina y la reducción en el grosor del axon. Estos signos eran más evidentes cuando se alcanzaba una elongación del 33% de la longitud total. De forma similar a lo descrito en los vasos sanguíneos, tras 2 meses estas estructuras

recuperaban la morfología que presentaban previamente a la elongación (Ippolito *et al.*, 1994).

La modificación de la función nerviosa durante la elongación ósea fue estudiada por Mizumoto *et al.* (1995). El procedimiento experimental que llevaron a cabo en conejos demostró que aunque la conducción nerviosa se veía retrasada a medida que aumentaba la longitud elongada, se podía reducir esta alteración mediante el uso de ritmos muy elevados de distracción. También pudo comprobar que el flujo sanguíneo intraneural disminuía conforme se aumentaba la longitud elongada pero, tal y como ocurría con la conducción nerviosa, podía reducirse este efecto mediante la distracción diaria frecuente (Mizumoto *et al.*, 1995). Sin embargo, un estudio realizado por Stefkó *et al.* (1993) no mostró signos clínicos ni histológicos de alteración nerviosa tras una elongación de 4 cms de las vertebrae lumbares en cabras.

### **3.2.3.- Tejido muscular**

La elongación ósea afecta de forma significativa no sólo la estructura y funcionalidad de los músculos, sino también las estructuras sobre las que actúan estos músculos, como son las articulaciones. Tal y como veremos más adelante, algunas de las complicaciones más frecuentes de la elongación ósea son las contracturas musculares y la anquilosis y disminución del rango de movimiento de las articulaciones adyacentes al hueso elongado. De forma similar a lo que ocurría en los casos anteriores, tanto la velocidad y ritmo de distracción como la proporción de elongación producen alteraciones musculares (Ilizarov, 1989a; Yasui *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1993; Simpson *et al.*, 1995; Makarov *et al.*, 2001; Lindsey *et al.*, 2002; Williams *et al.*, 2001).

Durante la distracción ósea, el tejido muscular se adapta a la elongación mediante la existencia simultánea de fenómenos degenerativos y regenerativos de las fibras musculares. Mientras que algunas fibras muestran necrosis y atrofia, otras presentan fenómenos de miofibrillogénesis y aumento del número de sarcómeros y mioblastos que permiten la elongación muscular (Ilizarov, 1989a; Makarov *et al.*, 2001; Williams, *et al.*, 2001; Lindsey *et al.*, 2002). Este equilibrio, y por lo tanto la capacidad de adaptación del músculo, depende de la velocidad, ritmo y distancia de elongación. De este modo, la alteración del tejido muscular es directamente proporcional a la

velocidad de distracción pero inversamente proporcional al ritmo, es decir a medida que aumenta la velocidad de distracción, se produce una mayor degeneración muscular, mientras que la realización de numerosas distracciones da lugar a un menor número de lesiones musculares (Ilizarov, 1989a; Simpson *et al.*, 1995; Mararov *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 2001). Con referencia a la distancia elongada, las alteraciones musculares se incrementan conforme aumenta la proporción de tejido elongado, sin embargo, existe un punto crítico a partir del cual el riesgo de complicaciones aumenta exponencialmente. Aunque no existe un acuerdo claro acerca de este valor, se encontraría entre el 20 y el 30% de elongación (Lee *et al.*, 1993; Makarov *et al.*, 2001; Lindsey *et al.*, 2002).

Algunos autores cuestionaban si la elongación muscular tenía lugar únicamente a nivel del músculo contiguo a la osteotomía, o si por el contrario, las fuerzas de elongación se distribuían por igual en toda la longitud del músculo. A pesar de que Yasui *et al.* (1991) comprobaron que las fuerzas de distracción se distribuían de forma homogénea a lo largo de todo el músculo, algunos autores sostienen que ésta tiene lugar principalmente a nivel de la osteotomía (Lee *et al.*, 1993; Makarov *et al.*, 2001).

### **3.3.- APLICACIONES DE LA OSTEOGENESIS POR DISTRACCION**

Hasta ahora hemos visto que la osteogénesis por distracción permite aumentar la longitud de los huesos largos, pero las posibilidades de aplicación de este fenómeno son mucho mayores. Tanto la capacidad regenerativa del tejido óseo como las variaciones que tienen lugar en los tejidos circundantes afectados por la elongación ósea, permiten ampliar el número de procesos patológicos en los que está indicada la aplicación de la osteogénesis por distracción.

#### **3.3.1.- Elongación ósea**

La finalidad por la que más frecuentemente se utiliza la osteogénesis por distracción es el aumento de la longitud de los huesos. Estos pueden aparecer más cortos de lo habitual debido a causas congénitas, tales como acondroplasia, hipoplasia congénita progresiva o cierres fisarios prematuros, entre otros, o debido a causas adquiridas, principalmente traumatismos con pérdida de masa ósea, mal-uniones o cierres fisarios prematuros de origen traumático (Ilizarov, 1990; Karger *et al.*, 1993; Cañadell, 1994; Trivella *et al.*, 1996; Preston, 2000; Hancock *et al.*, 2003).

No todas las asimetrías óseas se tratan mediante elongación ósea. Dependiendo del grado de disimetría existente entre los huesos homólogos, es posible optar por un tratamiento conservador o quirúrgico (las medidas que se comentan a continuación están referidas a seres humanos, por lo que es necesario tomar dichas indicaciones con cautela en medicina veterinaria) (Cañadell, 1994):

- En medicina humana, si la diferencia de longitud entre los huesos es menor a 1.5 cm, no es necesario realizar tratamiento correctivo alguno, ya que su repercusión funcional o estética es mínima. Los animales presentan una gran capacidad de compensación de las disimetrías, pero es necesario tener en cuenta que este acortamiento puede comprometer la funcionalidad de la extremidad en animales de reducido tamaño.

- Si la disimetría se encuentra entre 1.5 y 3 cm de longitud, puede recomendarse el uso de calzas en la extremidad afectada.
- Si la diferencia supone más de 3 cm, puede optarse por el alargamiento de la extremidad más corta o por el acortamiento de la extremidad más larga. Esta última opción se contraindica en disimetrías superiores a 4 cm, ya que el acortamiento de los tejidos blandos circundantes conllevaría importantes alteraciones funcionales.

Hay que tener en cuenta que los animales presentan una gran capacidad de adaptación a las disimetrías óseas gracias a su conformación locomotora, mediante el aumento de la angulación articular (Langley-Hobbs *et al.*, 1996).

### **3.3.2.- Corrección de deformaciones angulares**

Las deformaciones angulares más habituales de los perros se presentan en la extremidad anterior, y son debidas al crecimiento asincrónico entre el cúbito y el radio (Marcellin-Little *et al.*, 1998). El crecimiento del radio tiene lugar a nivel tanto del cartílago de crecimiento proximal (40%) como del distal (60%), mientras que en el cúbito, el responsable mayoritario de su crecimiento es el cartílago de crecimiento distal (85%). A pesar de estas diferencias, ambos huesos deben crecer de forma sincrónica para mantener una correcta conformación, funcionalidad y longitud de la extremidad. Es necesario destacar el hecho de que junto con el húmero, forman una de las articulaciones más importantes del organismo, el codo. Si el crecimiento de uno de estos dos huesos se ve comprometido o cesa prematuramente, el acortamiento de dicho hueso impide el crecimiento longitudinal normal del otro, provocando deformaciones angulares (Robertson, 1983; Lesser, 1998). Este hecho se acentúa cuando el cartílago de crecimiento afectado participa de una forma considerable en el crecimiento de dicho hueso. El cierre prematuro de los cartílagos de crecimiento de estos huesos puede ser causado por patologías congénitas, metabólicas, nutricionales o traumatismos (fracturas Salter-Harris) (Forell y Schwarz, 1993).

Dependiendo del hueso cuyo crecimiento se vea afectado, las deformaciones angulares observadas serán diferentes:

- Cierre prematuro del cartílago de crecimiento distal del cúbito

Tal y como hemos comentado anteriormente, se trata de una de las deformaciones angulares que con más frecuencia vemos en la clínica diaria. La conformación en forma de “V” del cartílago de crecimiento distal del cúbito lo hace más susceptible a sufrir traumatismos que lesionen las capas germinales de dicho cartílago y causen su cierre prematuro. Puesto que este cartílago es responsable mayoritario del crecimiento del cúbito, éste deja de crecer impidiendo el crecimiento normal del radio. Como resultado se produce una curvatura anterior del radio (“Radius curvus”), desviación lateral (“Valgus”) y rotación externa a nivel del carpo, así como subluxación carpo-radial y húmero-cubital. Con el tiempo, dichas articulaciones desarrollan fenómenos degenerativos articulares (Piermattei y Flo, 1997; Robertson 1983; Yanoff *et al.*, 1992).

- Cierre prematuro del cartílago de crecimiento distal del radio

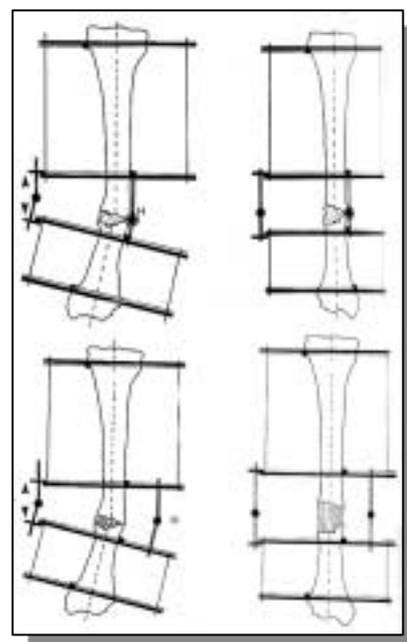
Se trata de una patología menos frecuente que la anterior, pero el mecanismo por el cual se produce la deformación angular es similar. En este caso, el acortamiento del radio debido al cierre del cartílago de crecimiento distal es menor, ya que éste es responsable únicamente del 60% del crecimiento total, y no del 85% como en el caso del cúbito. La lesión en el cartílago de crecimiento distal del radio puede ser completa o parcial (medial o lateral). Si se ha producido una lesión completa del cartílago, el radio se acorta mientras que el cúbito continúa creciendo produciéndose una subluxación humero-cubital. Asimismo, tiene lugar una desviación medial del carpo (“Varus”), y en algunos casos es posible observar una curvatura posterior de cúbito y radio. La lesión de la porción lateral del cartílago es más frecuente que la medial en las lesiones de tipo parcial. En este caso, se produce una rotación externa del carpo similar a la observada en las lesiones del cartílago de crecimiento distal del cúbito (Piermattei y Flo, 1997; Robertson, 1983; Yanoff *et al.*, 1992).

El tratamiento de las deformidades angulares puede llevarse a cabo mediante diferentes técnicas dependiendo de la edad del animal, del grado de deformación o de las posibilidades económicas del propietario de nuestro paciente. La osteogénesis por

distracción permite realizar la corrección de la angulación y la disimetría óseas simultáneamente (Lesser, 1998).

La osteotomía se realiza en el punto de mayor angulación, es decir, en el punto de intersección entre las líneas que, perpendicularmente a las articulaciones proximal y distal, recorren longitudinalmente el hueso. Una vez realizado el corte paralelo a la superficie articular, se colocan las agujas transfixiantes y el fijador externo circular, el cual ha sido preparado y ensamblado previamente a la cirugía (Lesser, 1998; Marcellin-Little *et al.*, 1998).

La corrección de la deformación angular se basa en elongar únicamente el lado hacia el que está deformado el hueso, mientras que la cortical opuesta del hueso rota sobre sí misma, gracias a la colocación de una bisagra en la barra conectora a este nivel, manteniéndose en una posición fija. Es necesario medir la distancia existente entre la barra conectora del lado a elongar y la bisagra, ya que, para un ángulo de corrección fijo, la velocidad de elongación y la elongación total obtenida en esa barra conectora variará dependiendo de esa distancia. Por otra parte, si la bisagra se encuentra a nivel de la cortical ósea fija, la elongación de la cortical opuesta únicamente dará lugar a corrección angular, mientras que si dicha articulación se encuentra alejada de la cortical fija, la elongación de



**Figura II.7:** Corrección de deformidades óseas y elongación simultánea (Lesser, 1998)

la superficie opuesta provocará una corrección angular y una leve elongación (Figura II.7) (Lesser, 1998; Marcellin-Little *et al.*, 1998). Si nuestro objetivo es corregir la deformación angular y la disimetría simultáneamente, es necesario sumar la elongación que se desea obtener a la elongación que es necesaria realizar en el lado correspondiente a la desviación. En el lado correspondiente a la bisagra, únicamente se lleva a cabo la elongación destinada a la corrección de la disimetría (Lesser, 1998; Marcellin-Little *et al.*, 1998). Una vez corregidas tanto la deformación angular como la disimetría, el elongador es mantenido en una posición fija con el fin de permitir la consolidación ósea del callo de distracción formado.

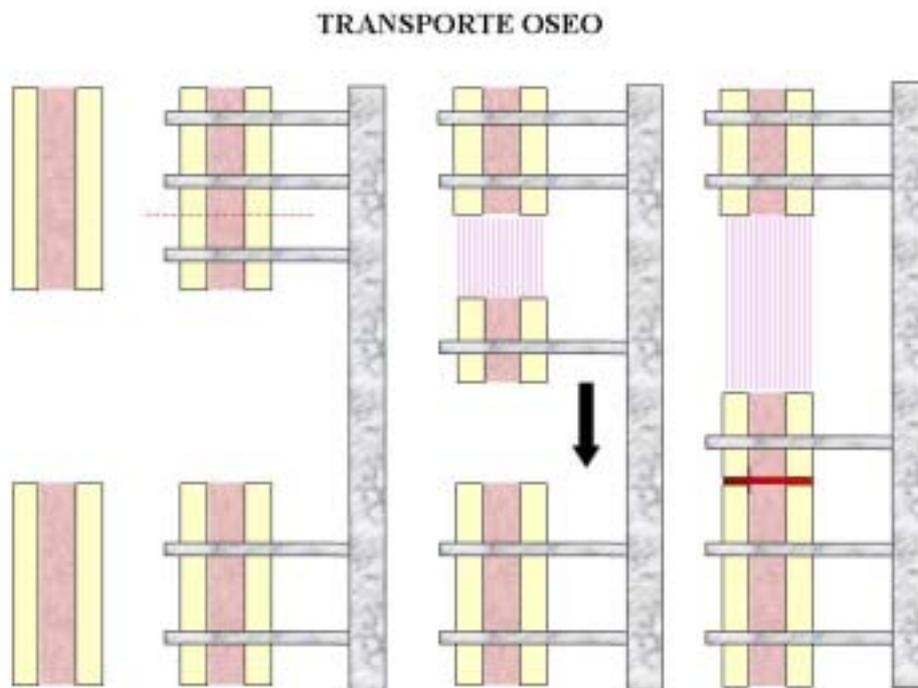
### 3.3.3.- Tratamiento de defectos óseos – Transporte óseo

Las causas más frecuentes de formación de defectos óseos son los traumatismos graves con pérdida de masa ósea y la resección quirúrgica de tumores óseos. Una de las mayores ventajas que presenta la aplicación de la osteogénesis por distracción en estos casos radica en el hecho de que permite la regeneración ósea del defecto sin necesidad de injertar elevados volúmenes de hueso esponjoso o cortical, con los inconvenientes que ello conlleva (disponibilidad limitada de injerto, morbilidad del hueso donante, fracturas del injerto) (Green, 1994). El tratamiento de estos defectos óseos mediante osteogénesis por distracción, puede llevarse a cabo de dos formas, colapsando el defecto y a continuación comenzar la distracción ósea (Meffert *et al.*, 2000; Rahal *et al.*, 2001), o realizando una técnica descrita por Ilizarov, el transporte óseo (Ilizarov, 1989b).

Si se tratara de un defecto óseo de dimensiones considerables, no sería recomendable la realización del colapso de los fragmentos óseo y la elongación ósea, ya que podrían producirse lesiones en los tejidos blandos circundantes (Meffert *et al.*, 2000; Rahal *et al.*, 2001). En estos casos sería más aconsejable la aplicación del transporte óseo.

El **transporte óseo** consiste en la formación de hueso nuevo a partir del desplazamiento a lo largo del defecto, de un segmento óseo creado mediante osteotomía de uno de los fragmentos originales. Tras la estabilización de los fragmentos óseos mediante un fijador externo y el legrado de las superficies del defecto, se realiza una osteotomía en uno de ellos creando un segmento óseo con volumen suficiente para ser estabilizado mediante una aguja transfixiante. Tras el período de latencia, se comienza la distracción de dicho segmento móvil a través del defecto óseo a una velocidad y ritmo constante. Al mismo tiempo que el fragmento transportado se desplaza a lo largo del defecto óseo, se forma un callo de distracción entre las superficies osteotomizadas del hueso original y del segmento. Una vez que éste alcanza la superficie del fragmento óseo original opuesto, se detiene la distracción y se mantiene el elongador de forma estática para permitir la consolidación del callo neoformado (Ilizarov, 1989b; Stein *et al.*, 1993; Green, 1994; Lesser, 1998; Welch y Lewis, 1999) (Figura II.8). A pesar de que las superficies de la fractura han sido legradas con anterioridad, en algunas ocasiones la unión entre el segmento móvil y el hueso original puede verse retrasada.

Para evitarlo, es posible prolongar la distracción durante un breve periodo de tiempo con objeto de comprimir las superficies de contacto entre el segmento transportado y el hueso original. Otra opción que es posible realizar, consiste en injertar una pequeña cantidad de hueso esponjoso entre ambas superficies (Green, 1994; Lesser, 1994; Stallings *et al.*, 1998) o realizar el “movimiento del acordeón”, hecho que estimularía la unión entre ellas y que se describe más adelante (Tsuchiya *et al.*, 1997).



**Figura II.8:** Técnica de transporte óseo. Tras la realización de una osteotomía en un extremo del hueso original, se estabiliza el fragmento obtenido y se desplaza a lo largo del defecto óseo, dando lugar a la formación de hueso regenerado en el espacio inicialmente vacío.

En algunas ocasiones, la disponibilidad de hueso se encuentra muy limitada, no existiendo hueso suficiente para crear un segmento transportador. La posibilidad de usar otro tipo de materiales que sustituyan el fragmento óseo está siendo investigada en la actualidad. Entre los materiales que han sido estudiados se encuentran el autoinjerto cortical fresco, el aloinjerto cortical esterilizado mediante óxido de etileno o la hidroxiapatita de coralina (Welch y Lewis, 1999). Los investigadores han podido observar que el uso del autoinjerto cortical fresco da lugar a la osteogénesis por distracción entre el fragmento óseo original y el segmento transportado. Sin embargo, el uso del resto de materiales produce un callo hipotrófico, formado únicamente a partir de

la superficie del hueso original. Si se amplía el período de latencia a 14 ó 21 días, se forma el típico callo de distracción pero, de igual forma que en el caso anterior, únicamente a partir del hueso original (Welch y Lewis, 1999).

Sin embargo, el transporte óseo también presenta algunos problemas asociados a su aplicación. Entre ellos se encuentra el fracaso de la unión entre el hueso transportado y el fragmento óseo opuesto cuando no se implanta injerto de esponjosa, o el desarrollo de contracturas musculares. Estas últimas son debidas a la tracción que ejerce el segmento óseo móvil sobre los músculos que se insertan en su superficie a medida que se va desplazando. Esta tracción muscular se transmite a las articulaciones atravesadas por dicho músculo (Green, 1994).

Aunque los elongadores más ampliamente utilizados en el transporte óseo son de tipo circular o uniplanar, recientemente algunos autores han descrito la realización de transporte óseo mediante la aplicación de clavos intramedulares (Brunner *et al.*, 1993; Raschke *et al.* 1993; Hyodo *et al.*, 1996) o en combinación con placas de osteosíntesis (Apivotthakakul y Arpornchayanon, 2002).

### **3.3.4.- Tratamiento de osteomielitis y no-uniones sépticas**

Un gran número de los pacientes tratados mediante osteogénesis por distracción por Ilizarov mostraba fracturas crónicas no unidas, muchas de las cuales presentaban simultáneamente osteomielitis. Ilizarov (1988) afirmaba que no administraba antibióticos a los pacientes a los que trataba ya que aseguraba que no era necesario, ya que “*la distracción quemaba la infección en las llamas de la regeneración*” (Aronson, 1994).

Tal y como comprobó Aronson, este fenómeno se basaba en el aumento y estimulación de la vascularización ósea que la osteogénesis por distracción causaba, no sólo a nivel del callo de distracción, sino también en el resto del hueso. Este aumento del flujo sanguíneo en la totalidad del hueso elongado era responsable del “lavado” de la infección existente en él (Aronson, 1994). Asimismo, los experimentos realizados por Ilizarov (1988) le permitieron observar la elevada actividad angiogénica que tenía lugar

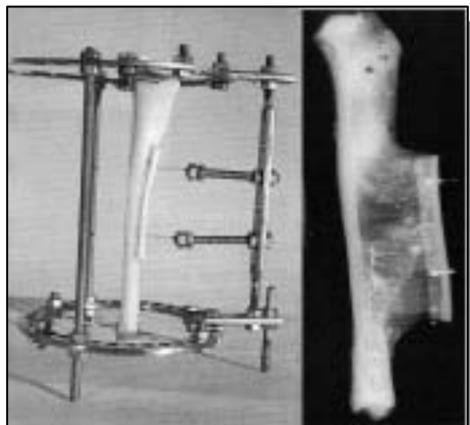
en el callo de distracción, y el desarrollo vascular que ocurría en el resto del hueso (Aronson, 1994).

Por estas razones, algunos autores sostienen que la realización de osteogénesis por distracción en una parte del hueso podría estimular la eliminación de la osteomielitis y la consolidación de una no-uni6n atr6fica situada en un punto alejado en el mismo hueso (Ilizarov, 1990; Aronson, 1994, Rahal *et al.*, 2001).

### 3.3.5.- Engrosamiento 6seo

Tanto por razones est6ticas como funcionales puede resultar necesario corregir una disminuci6n en el di6metro de un hueso, hecho que puede haber sido causado por patologías 6seas o traumatismos (Ilizarov, 1990).

Los estudios llevados a cabo por Ilizarov acerca de la elongaci6n transversal, mostraron que 6sta t6cnica era viable, podía realizarse tanto en huesos largos como en huesos planos y era posible aplicarla simultáneamente a la distracci6n longitudinal. Durante la distracci6n transversa, las trab6culas de hueso neoformado se orientaban siguiendo el eje de tracci6n, y no el eje longitudinal del hueso (Figura II.9). Tal y como pudo observar con la distracci6n longitudinal, la preservaci6n de la vascularizaci6n medular es esencial para obtener una 6ptima actividad osteogénica en la elongaci6n transversal (Ilizarov, 1989a, 1992).



**Figura II.9:** Técnica de elongaci6n 6sea transversal mediante el fijador externo de Ilizarov. (Ilizarov, 1992)

### 3.3.6.- Epifisiol6sis / Condrodiatasis por distracci6n

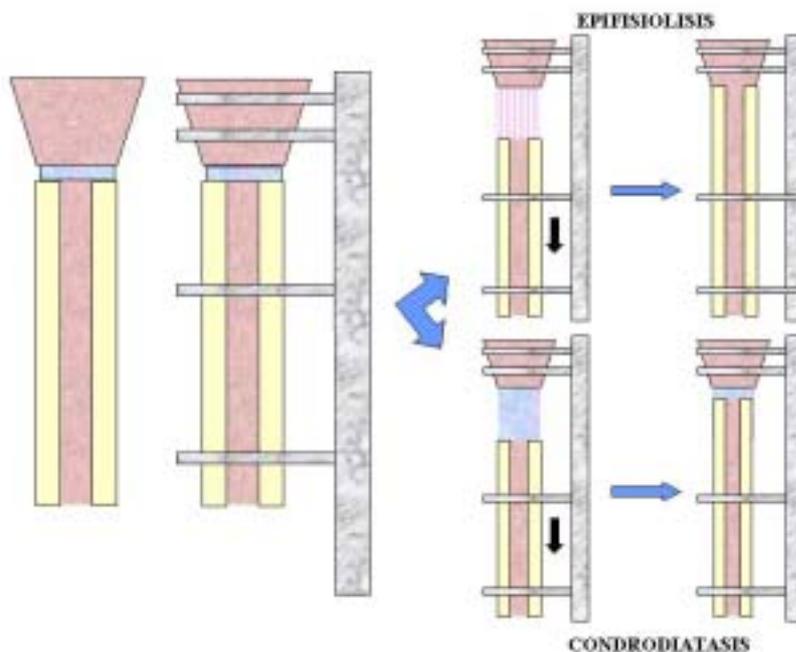
La osteogénesis por distracci6n puede realizarse tambi6n a partir de un cartílago de crecimiento abierto mediante las t6cnicas de epifisiol6sis o condrodiatasis. Ninguno de estos dos m6todos requiere de la realizaci6n de una osteotomía en el hueso, ya que la elongaci6n se realiza a trav6s del cartílago de crecimiento, pero es necesario estabilizar la epífisis y la metáfisis del hueso mediante un fijador externo, y ejercer distracci6n

entre estos dos puntos de fijación. La técnica y las consecuencias de estos dos métodos difieren entre sí (Monticelli y Spinelli, 1981; De Bastiani *et al.*, 1986).

La **epifisiolísis**, como su nombre indica, conlleva la interrupción del cartílago de crecimiento. Mediante la aplicación de una distracción a una velocidad de 1.5 a 3 mm al día, se produce la fractura del cartílago a través de la zona hipertrófica entre los 3 y 9 días del inicio de la distracción. Esta separación gradual de ambas estructuras, da lugar a la formación de hueso regenerado en el espacio creado entre la epífisis y la metáfisis. La osteogénesis tiene lugar mediante la actuación simultánea de una osificación endocondral e intramembranosa (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999). Aunque algunos autores afirman que una vez finalizada la distracción, el cartílago de crecimiento permanece activo (Reichel *et al.*, 1996), otros, ante el elevado riesgo de cierre de dicho cartílago, recomiendan la aplicación de esta técnica en individuos próximos a la madurez (Monticelli y Spinelli, 1981; Monticelli *et al.*, 1981; Fjeld y Steen, 1988; Aldegehri *et al.*, 1989a; Cañadell y De Pablos, 1992; Welch y Lewis, 1999) (Figura II.9). Aunque se trata de una técnica sencilla, que elimina la necesidad de realización de la osteotomía, puede dar lugar a infecciones óseas, artritis sépticas y lesión de estructuras articulares (Monticelli y Spinelli, 1981; Cañadell y De Pablos, 1992; Cañadell, 1994).

Por el contrario, la **condrodiatasis** no supone el cierre indefectible del cartílago de crecimiento. El uso de menores velocidades de elongación (0.5 mm cada 12 horas) estimula la actividad celular en el cartílago de crecimiento, aumentando su capacidad osteogénica. De esta forma, se obtiene un mayor crecimiento longitudinal del hueso (elongación ósea) sin que se produzca una fractura a través del cartílago de crecimiento y por lo tanto su cierre. Sin embargo, aunque teóricamente no se produce un cierre del cartílago de crecimiento, el riesgo es muy elevado (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999). De Bastiani *et al.* (1986) afirman utilizar un ritmo de distracción de 0.25 mm cada 12 horas, de forma que entre los 7 y 14 días del inicio de la distracción puede observarse un aumento de la altura del cartílago de crecimiento, pero no disminución de su diámetro, sin que se haya producido fractura alguna. A los 28 días, es posible observar fenómenos de osificación del cartílago elongado similares a los que tienen lugar en la metáfisis de un hueso en crecimiento. En este momento, el cartílago continúa hipertrofiado, mostrando signos de desorganización de la estructura en forma de

columnas, pero entre los 50 y 70 días de iniciada la distracción, el cartílago recupera su estructura habitual, encontrándose todavía activo (De Bastiani *et al.*, 1986) (Figura II.10). Stefko aplicó con éxito esta técnica durante la elongación de vertebras lumbares en cabras en crecimiento. Este científico definió un nuevo término, la vertebrodiatasis, ya que observó que la elongación vertebral se llevaba a cabo mediante condrodiatasis en las placas de crecimiento de los extremos, y mediante osteogénesis por distracción en el cuerpo vertebral (Stefko *et al.*, 1993).



**Figura II.10:** Técnicas de distracción a través del cartílago de crecimiento: epifisiólisis y condrodiatasis

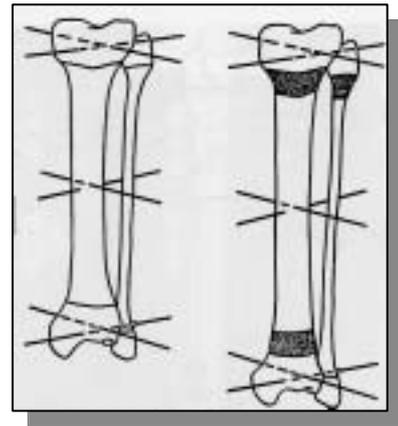
No obstante, la dificultad que conlleva la aplicación de ambas técnicas, el elevado riesgo de cierre fisario y el hecho de que la gran mayoría de deformaciones angulares en veterinaria son causadas por cierres fisarios prematuros, hacen que la distracción a través del cartílago de crecimiento no se encuentre indicada (Welch y Lewis, 1999).

### 3.3.7.- Elongación ósea a doble nivel

Como ya se ha comentado anteriormente, la elongación ósea afecta también a los tejidos blandos que rodean al hueso, tales como músculos, vasos sanguíneos o nervios, causando cambios estructurales en dichos tejidos. Cuando la elongación ósea supera el 20% de la longitud del hueso, aumenta el riesgo de aparición de complicaciones

derivadas de la afección de dichas estructuras elongación. A pesar de que la realización de fisioterapia durante la elongación puede reducir la severidad de las lesiones musculares, existen algunas técnicas cuyo fin es evitar estas complicaciones, como es el caso de la elongación a doble nivel (Welch y Lewis, 1999).

Esta técnica consiste en realizar dos osteotomías a diferente nivel del hueso de forma que se obtienen dos niveles de osteogénesis por distracción. En este caso, el fragmento óseo central se mantiene estático, unido mediante una aguja transfixiante al fijador externo, mientras que son los segmentos óseos periféricos los que son desplazados en direcciones opuestas, alejándose del fragmento central (Figura II.11). Se ha descrito que gracias a esta técnica no sólo se minimiza la tensión ejercida sobre los tejidos blandos, ya que se distribuye en toda la longitud del músculo, sino que también permite reducir el tiempo necesario para obtener una determinada elongación aproximadamente a la mitad (Shirai *et al.*, 1997; Welch y Lewis, 1999). El primero de estos autores, afirma que es necesario que el agujero nutricio por el que la arteria nutricia se introduce en el hueso, se encuentre en el fragmento óseo central con objeto de obtener una correcta revascularización intramedular (Shirai *et al.*, 1997).



**Figura II.11:** Elongación ósea a doble nivel (Ilizarov, 1992)

### **3.4.- COMPLICACIONES DE LA OSTEOGENESIS POR DISTRACCION**

La osteogénesis por distracción, es una técnica que permite la resolución de numerosas patologías ortopédicas, sin embargo, su aplicación no se encuentra exenta de complicaciones, derivadas tanto del uso de un fijador externo como de la afectación de los tejidos blandos circundantes. Como ya se ha explicado previamente, los músculos, vasos y nervios adyacentes al hueso se adaptan a la elongación que se está llevando a cabo pero, cuando dicha elongación supera el 20 ó 30% de la longitud original, se sobrepasa esa capacidad de adaptación y surgen las complicaciones (Welch y Lewis, 1999).

Con referencia a las dificultades que pueden surgir durante todo el proceso de elongación ósea, Paley (1990) estableció la clasificación que se detalla a continuación:

- **Problema:** Se define como aquella dificultad que tiene lugar durante los períodos de distracción o fijación, y que es resuelta por medios no quirúrgicos antes de la finalización del procedimiento.
- **Obstáculo:** De forma similar al parámetro anterior, se trata de una dificultad que aparece durante las fases de distracción o consolidación óseas, y que se resuelve mediante métodos operatorios.
- **Complicación:** Incluye cualquier complicación local o sistémica, intra o perioperatoria, cualquier dificultad durante las fases de distracción y fijación que permanece sin resolverse al finalizar el procedimiento. A su vez, las complicaciones pueden ser clasificadas como mayores o menores.

Aunque con nombres diferentes, esta clasificación coincide con la descrita años más tarde por Dahl *et al.* (1994). Estos autores consideran complicación a todo evento inesperado que ocurre en cualquier momento del procedimiento, y las clasifica también en tres escalas dependiendo de la gravedad. Considera complicaciones menores aquellas que no afectan el resultado final o no necesitan intervención, complicaciones serias aquellas mayores pero temporales o las complicaciones menores permanentes, y

complicaciones severas aquellas que requieren cirugía mayor no planeada o producen secuelas permanentes.

Asimismo, estos últimos autores clasifican las patologías ortopédicas susceptibles de ser elongadas en 5 tipos, dependiendo del riesgo de aparición de complicaciones, siendo el tipo 1 el menos arriesgado y el 5 el tipo de condición que ofrece mayores probabilidades de producir complicaciones durante el procedimiento de elongación (Dahl *et al.*, 1994):

- **Tipo 1:** Dismetrías inferiores al 15% de la longitud del hueso
- **Tipo 2:** Dismetrías entre 16-25% de la longitud del hueso
- **Tipo 3:** Dismetrías entre 26-35% de la longitud del hueso
- **Tipo 4:** Dismetrías entre 36-50% de la longitud del hueso
- **Tipo 5:** Dismetrías superiores al 50% de la longitud del hueso

El riesgo de aparición de complicaciones no depende únicamente de la dismetría ósea, sino también de otros factores, de forma que el tipo de severidad aumenta un nivel si existen simultáneamente tres factores de riesgo menores o si coexisten dos factores de riesgo mayores. Dichos factores incluyen las siguientes condiciones (Dahl *et al.*, 1994):

- Factores de riesgo menores: Angulación, translación, rotación, contractura, infección previa, localización anatómica (fémur, húmero o pie), edad (adultos), obesidad, malnutrición y déficit neurológico.
- Factores de riesgo mayores: Deformidad congénita, deformación de localización múltiple, numerosas cirugías previas, elongación anterior, no-unión, pérdida ósea, infección activa e inestabilidad preoperatoria.

### **3.4.1.- Problemas del trayecto de las agujas**

La aparición de problemas relativos al trayecto de las agujas está relacionada con el movimiento de la piel alrededor del implante, el volumen de tejido blando existente entre la piel y el hueso, y el diámetro de la aguja. Generalmente estos problemas se desarrollan desde el exterior hacia el interior, es decir, inicialmente se produce una

inflamación de los tejidos blandos que se transforma en infección para, finalmente, dar lugar a una infección del hueso (Green, 1983 y 1991a; Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Reichel *et al.*, 1996). De esta forma, los problemas del trayecto de las agujas se pueden clasificar en (Paley, 1990):

- Grado I: Inflamación de los tejidos blandos. En esta fase del proceso, la administración local de antisépticos o antibióticos y el ajuste adecuado de las agujas da lugar a la resolución del proceso.
- Grado II: Infección de los tejidos blandos con descarga de material purulento alrededor de las agujas. En este momento, puede inyectarse una solución de cefalexina en el trayecto de la aguja infectada, aunque es preferible la administración oral de dicho fármaco durante al menos una semana.
- Grado III: Infección del hueso. Además de la administración prolongada de antibióticos, puede ser necesario el legrado del trayecto y la retirada del implante afectado.

Por otra parte Dahl *et al.* (1994), introducen 6 niveles de gravedad para estas alteraciones (de 0 a 5) con sus correspondientes tratamientos recomendados:

- Grado 0: Normal. Requiere curas semanales de la interfase aguja-piel.
- Grado 1: Inflamado. Las curas se realizan de forma diaria.
- Grado 2: Descarga serosa. Se inicia un tratamiento antibiótico.
- Grado 3: Descarga purulenta. Se administra antibioterapia.
- Grado 4: Osteólisis. Es necesario retirar la aguja afectada.
- Grado 5: Secuestro anular. Requiere de desbridamiento de la zona afectada.

Aquellos procesos que únicamente requieren la realización de curas locales, la administración de antibióticos o incluso la retirada del implante son considerados problemas. Si además es necesaria la colocación de una nueva aguja, se define como obstáculo, mientras que cualquier infección ósea verdadera es considerada complicación

(Paley, 1990). De forma similar, Dahl *et al.* (1994) clasifica todas las infecciones como complicaciones menores excepto el secuestro óseo anular, que lo denomina como complicación seria.

A pesar de estas clasificaciones, generalmente los autores denominan los problemas surgidos durante todo el proceso de elongación ósea como complicaciones mayores y menores, dependiendo del grado de alteración y de las consecuencias en que deriven (De Bastiani *et al.*, 1987; Vade y Eissenstat, 1990; Aaron y Eilert, 1996; Trivella *et al.*, 1996; Marcellin-Little *et al.*, 1998).

### **3.4.2.- Consolidación prematura**

Esta complicación es fácilmente diagnosticada ya que puede observarse una falta de separación de los fragmentos óseos osteotomizados tras el inicio de la distracción, así como la curvatura de las agujas, cuya cara convexa apunta hacia la osteotomía. Generalmente, la consolidación prematura de la osteotomía es debida a la realización de una osteotomía incompleta o a un excesivo período de latencia, permitiendo que el callo formado bloquee la distracción de la osteotomía (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).

Con objeto de resolver este problema, se puede optar por la realización de diferentes procedimientos (Paley, 1990):

- Es posible continuar la distracción hasta que los puentes óseos que mantienen bloqueada la osteotomía se rompan. Esta fractura tiene lugar de forma súbita e inesperada, causando un dolor agudo y un sonido característico de fractura ósea. Una vez obtenida la ruptura de los puentes de unión, es necesario dar marcha atrás a la elongación obtenida y comenzar de nuevo, con objeto de aliviar el dolor producido y evitar la aparición de una no-unión o consolidación retardada del callo de distracción.

- Otra alternativa que puede llevarse a cabo consiste en la realización de una osteoclisis rotacional cerrada con el paciente sometido a una breve anestesia general.
- Si ninguno de los procedimientos descritos hasta ahora es efectivo, es necesaria la resolución quirúrgica de la unión. Con el paciente bajo anestesia general, se realiza de nuevo la osteotomía o corticotomía en el hueso a elongar. Hay que prestar especial atención a la hemorragia que puede resultar del corte a través de hueso regenerado.

Paley (1990) clasificó la consolidación prematura dependiendo del tipo de tratamiento que se requería en cada caso. Si esta unión temprana podía ser resuelta mediante procedimientos no quirúrgicos, era considerada un problema, mientras que si requería de tratamiento quirúrgico era clasificada como obstáculo. En aquellos casos en que el cirujano se veía obligado a abandonar la elongación ósea prematuramente, la consolidación prematura era considerada una complicación.

### **3.4.3.- Consolidación retardada**

La consolidación retardada del callo de distracción puede ser diagnosticada como un retraso en la aparición radiológica de hueso regenerado en el espacio interfragmentario o como la formación de una línea radiolúcida central de mayor grosor y cuya visualización radiológica se prolonga en el tiempo más de lo habitual (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).

La aparición de este problema puede ser debida tanto a factores técnicos como a factores individuales dependientes del paciente. Entre los factores técnicos, podemos destacar la realización de una osteotomía o corticotomía traumáticas, la presencia inicial de un desplazamiento entre los fragmentos óseos, inestabilidad del fijador externo y aplicación de una velocidad o ritmo de distracción excesivamente elevados. Los factores dependientes del paciente que pueden favorecer la consolidación retardada del callo de elongación incluyen procesos infecciosos, patologías metabólicas que ralenticen la regeneración ósea y malnutrición (Paley, 1990).

Con objeto de minimizar el riesgo de aparición de una consolidación retardada, Paley (1990) recomienda prestar atención tanto a los factores técnicos como a los individuales del paciente. De esta forma, es esencial reducir al máximo el daño realizado sobre el periostio y endostio durante la intervención quirúrgica, así como evitar el desplazamiento de los fragmentos óseos al final de la cirugía. Asimismo, es necesario prestar una especial atención a la estabilidad del elongador una vez colocado, ya que la inestabilidad de los implantes constituye uno de los factores más influyentes en el retraso de la maduración y consolidación del callo de distracción.

Si, a pesar de tomar todas las precauciones antes mencionadas, se produce un retraso en la consolidación del callo de distracción, puede estimularse la actividad osteogénica mediante la aplicación de la “**maniobra del acordeón**” (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Tsuchiya *et al.*, 1997). Esta técnica consiste en la realización de un breve acortamiento del callo y una distracción, una o más veces. De esta forma, se favorece que las trabéculas más retrasadas en el fenómeno de osificación alcancen a las más avanzadas, evitando que queden retrasadas y se alejen de sus correspondientes trabéculas en el callo opuesto (Aldegheri *et al.*, 1989b; Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Tsuchiya *et al.*, 1997). De igual forma, Hamanishi *et al.* (1994) afirman que el acortamiento del callo de distracción da lugar a la secreción de factores de crecimiento y a una elevada proliferación osteoblástica, estimulando así la formación de hueso regenerado.

Los pacientes adultos sometidos a elongación ósea presentan tiempos de consolidación más prolongados que los pacientes más jóvenes (Aldegheri *et al.*, 1989b; Paley, 1990; Price y Mann, 1991). Este fenómeno, de forma similar a la consolidación retardada, puede favorecer el aflojamiento de las agujas tranfixiantes y por consiguiente la inestabilización de todo el fijador externo. En ocasiones, resulta pues necesaria la retirada de los implantes desajustados y la colocación de agujas nuevas (Paley, 1990).

La consolidación retardada es considerada un problema cuando puede ser tratada de forma no quirúrgica, mientras que se describe como un obstáculo cuando es necesaria la colocación de nuevos implantes. Finalmente, si se requiere de la realización de un injerto óseo, la consolidación retardada es definida como una complicación (Paley, 1990).

#### **3.4.4.- Refractura**

La refractura a través del callo de distracción tiene lugar tras la retirada del fijador externo, y por lo tanto es siempre considerada como una complicación verdadera. Este percance no se refiere únicamente a la fractura completa del hueso, sino también a la angulación axial o al colapso del hueso regenerado tras la retirada del implante (Paley, 1990).

Esta complicación puede evitarse mediante el análisis cuidadoso y profundo de las imágenes radiológicas obtenidas del callo de distracción. Es necesario asegurarse de que el hueso neoformado presenta una consistencia suficiente, opacidad similar a la del hueso adyacente y que el 75% de la cortical ya se ha formado (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991). Una vez producida la refractura, puede tratarse mediante la colocación de un vendaje o la reimplantación del fijador externo. Se han descrito también las fracturas por estrés en puntos de hueso original. Este fenómeno es causado por la osteoporosis tan severa que se desarrolla en el hueso debido a la falta de apoyo y la respuesta hipervasculatura durante la distracción (Paley, 1990).

Como ya se ha mencionado previamente, todas las refracturas son consideradas complicaciones. Aquellas que muestran un colapso inferior a 1 cm o una angulación inferior a 5°, son consideradas complicaciones menores, mientras que si superan dichos límites se definen como complicaciones mayores (Paley, 1990).

#### **3.4.5.- Dolor**

El dolor postoperatorio es similar al que pueden sufrir los pacientes tras haber sido sometidos a una cirugía ortopédica. El nivel de dolor aumenta conforme aumenta el número de osteotomías, de forma que en elongaciones a doble nivel el dolor padecido será superior al de una elongación simple. De igual forma, la contracción muscular que se produce tras la inserción de una aguja en el músculo provoca un dolor intenso los primeros días, pero suele remitir en un breve espacio de tiempo (Paley, 1990).

A pesar de que algunos autores afirman que la elongación ósea no supone un proceso doloroso (Elkins *et al.*, 1993), Paley (1990) sostiene que la distracción causa un

dolor de tipo crónico y constante, aunque puede variar dependiendo del paciente. Las molestias son más comunes en elongaciones de grandes distancias o de doble nivel, y son causadas principalmente por la tensión y estiramiento a los que están sometidos músculos y nervios. Los pacientes humanos a los que se les ha realizado una elongación ósea, atestiguan que ese dolor se intensifica por las noches y durante la fisioterapia y los paseos (Paley, 1990; Reichel *et al.*, 1996). Estos pacientes presentan otras alteraciones relacionadas con el dolor, tales como falta de apetito, adelgazamiento y depresión (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991). Estos dos últimos autores sostienen que el dolor puede afectar de una forma negativa en el uso de la extremidad afectada, dando lugar a rigidez articular y disminución del rango de movimiento (Eldridge y Bell, 1991).

Aunque estos síntomas desaparecen espontáneamente una semana después del final de la elongación, se recomienda disminuir la velocidad de distracción o descansar un día cada 3 ó 4 semanas con objeto de reducir el dolor, si éste no es bien tolerado (Paley, 1990; Lesser, 1998).

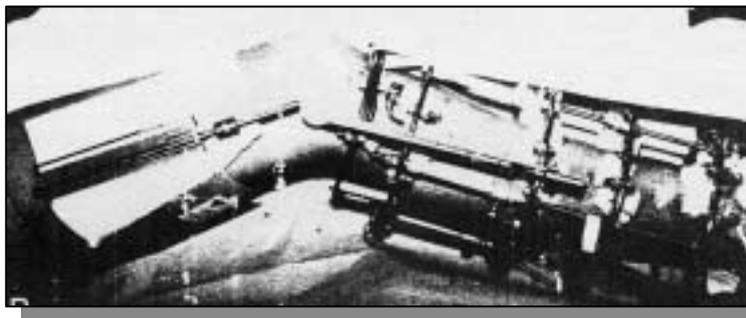
#### **3.4.6.- Contractura muscular**

Las contracturas musculares aparecen como consecuencia de la tensión a la que se encuentran sometidos los músculos durante la elongación ósea. Generalmente ocurre en los grupos musculares más poderosos, tales como los músculos gastrocnemios o el grupo de semitendinoso-semimembranoso, en elongaciones de la tibia y el fémur, respectivamente. Adicionalmente, los músculos más frecuentemente afectados son aquellos que cruzan dos articulaciones (Ilizarov, 1990; Paley, 1990; García-Cimbrelo *et al.*, 1992). Este autor sostiene que la tensión muscular es el principal factor estimulante de la regeneración muscular durante la elongación ósea. Inicialmente, las fibras musculares se adaptan a la elongación, pero se alcanza un punto en que la elongación del hueso supera la del músculo. En este momento, el músculo disminuye la tensión a la que está sometido contrayendo las articulaciones que atraviesa, como por ejemplo provocando la flexión de la rodilla o la extensión del tarso (“tarso equino”), en el caso del músculo gastrocnemio. Este fenómeno es más acusado si estas articulaciones no se han mantenido ejerciendo oposición a los músculos elongados durante la distracción (Paley, 1990; Lehman *et al.*, 1991; Lesser, 1998; Green *et al.*, 2002).

De esta forma, la prevención de la aparición de contracturas musculares es una parte esencial del proceso de elongación ósea. Se han descrito diferentes métodos para evitar esta complicación:

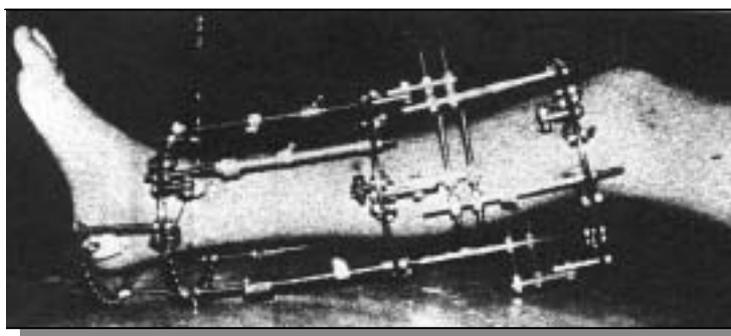
- **Fisioterapia:** Se basa en la realización de estiramientos pasivos, ejercicios activos y estimulación eléctrica de los grupos musculares más afectados. Los estiramientos musculares pasivos deben realizarse mediante la flexión o extensión de todas las articulaciones en las que participa el músculo contraído (Ilizarov, 1990; Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Lesser, 1998). Para evitar las contracturas musculares, es necesario realizar estos ejercicios el mayor tiempo posible, al menos 6 horas al día. Se cree que los ejercicios activos y la estimulación eléctrica, activan la regeneración muscular (Paley, 1990).
- **Vendajes:** Puesto que es prácticamente inviable realizar ejercicios pasivos durante al menos 6 horas diarias, pueden colocarse vendajes o implantes que mantengan las articulaciones en extensión o flexión de forma independiente (Paley, 1990; Lehman *et al.*, 1991; Eldridge y Bell, 1991; Lesser, 1998). En medicina humana, existen construcciones que mantienen la rodilla en extensión máxima y el tarso en flexión de 90° y que se aplican en pacientes sometidos a elongación tibial. Generalmente el extensor de la rodilla se mantiene durante la noche, ya que es durante este período cuando el paciente tiende a dormir con las rodillas flexionadas. Por el contrario, el flexor tarsal se lleva todo el día y toda la noche (Paley, 1990). Este autor observó una disminución en el número de casos de contractura muscular desde que comenzó a utilizar este tipo de aparatos. En aquellos pacientes que eran sometidos a elongaciones óseas mayores o que ya presentaban alguna contractura muscular, el flexor de la rodilla debía mantenerse 12 horas, causando un gran malestar. Con el fin de disminuir las molestias para el paciente, Paley (1990) recomienda el uso de un aparato que mantiene la rodilla en extensión, pero permite que el paciente flexione de forma activa dicha articulación. Cuando el enfermo relaja la extremidad, el aparato extiende cuidadosamente la rodilla hasta alcanzar la extensión completa (Figura

II.12). De forma similar, Green *et al.* (2002) desarrollaron una placa de apoyo del pie que reducía el desarrollo de contractura equina del tarso en ratas.



**Figura II.12:** Aparato que, manteniendo la rodilla en extensión para evitar contracturas musculares, permite la flexión de forma activa. (Paley, 1990)

**Figura II.13:** Colocación de una aguja transfixiante a través del calcáneo con objeto de evitar el tarso equino. (Paley, 1990)



- **Fijación externa a través de las articulaciones:** Cuando se llevan a cabo distracciones muy extensas o elongaciones a doble nivel, se hace necesario el uso de implantes transarticulares que eviten la flexión o extensión de las articulaciones adyacentes a un hueso elongado (Figura II.13). Con este sistema, además de mantener fijas las articulaciones, se evita el malestar producido por los vendajes (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Lehman *et al.*, 1991; Green *et al.*, 2002). Si la contractura ya se ha desarrollado, es posible colocar el fijador externo transarticular y aplicar distracción sobre la contractura. Si este método no tiene éxito, es necesario realizar la elongación del tendón (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).
- **Sobreelongación:** Una vez obtenida la elongación deseada, puede optarse por continuar la distracción 10 mm más, y entonces acortar 15 mm la elongación. Esta técnica produce un acortamiento real de unos 10 mm debido a la flexibilidad de las agujas. De esta forma, se disminuye la

tensión y contracturas de los músculos adyacentes al hueso elongado (Paley, 1990).

Según la clasificación descrita por Paley (1990), aquellas contracturas musculares que son resueltas mediante métodos no quirúrgicos, se denominan problemas. Si por el contrario se resuelven quirúrgicamente, son consideradas obstáculos, mientras que si la contractura se mantiene hasta el final del tratamiento se define como complicación. Las complicaciones resueltas de forma no quirúrgica se consideran menores y por el contrario, las que requieren de liberación tendinosa o capsular se denominan mayores (Paley, 1990).

### **3.4.7.- Problemas articulares**

- Anquilosis articular

Se trata de una complicación de aparición bastante tardía y que puede ser debida a una contractura persistente de la musculatura que cruza dicha articulación o al aumento de la presión que se produce sobre la superficie articular durante la elongación (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Reichel *et al.*, 1996). Karger *et al.* (1993) observaron que la reducción en el rango de movimiento articular se producía en aquellos casos que padecían alteraciones articulares preexistentes a la elongación.

Este problema puede solucionarse mediante la liberación muscular o la colocación del aparato a través de la articulación y la aplicación de una distracción de unos 5 mm (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Lehman *et al.*, 1991; Karger *et al.*, 1993). No obstante, Paley (1990) sostiene que la gravedad de esta complicación depende de la limitación funcional creada y del paciente que ha sido sometido a la elongación ósea. De esta forma, una limitación de 15° en la extensión de la rodilla no presenta las mismas consecuencias funcionales en medicina humana que en veterinaria.

Aldegheri *et al.* (1989b), recomiendan a sus pacientes la realización de un programa, durante las dos semanas anteriores al procedimiento de

elongación, basado en hidroterapia, ejercicio en bicicleta y gimnasia. Durante la fase de distracción, la aplicación de esta terapia ayuda a mantener al menos el 30% de la movilidad articular, la cual es recuperada por completo tras la retirada del fijador externo.

- Luxación articular

Durante la elongación ósea, pueden producirse luxaciones y subluxaciones de las articulaciones adyacentes al hueso elongado como consecuencia de las contracturas musculares. Un factor predisponente de la luxación articular es la existencia de una inestabilidad articular, generalmente de origen congénito, siendo la rodilla y la cadera las articulaciones más frecuentemente afectadas (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Karger *et al.*, 1993). En la rodilla, la luxación es causada por la tracción caudal que ejercen los músculos posteriores del fémur sobre la tibia, cuando la rodilla se encuentra flexionada. Sin embargo, en extensión, la tracción ejercida por dicho grupo muscular es contrarrestada por la alineación axial entre el fémur y la tibia (Paley, 1990).

Puesto que la causa principal de este problema son las contracturas musculares, su tratamiento se basa en el estiramiento de los músculos contraídos, de forma similar al tratamiento descrito para las contracturas musculares. La fisioterapia se centra en el estiramiento pasivo de los músculos contraídos, aplicable en casos leves. Otra opción por la que puede optarse se basa en la tracción del hueso desplazado, colocándolo nuevamente en su posición fisiológica. Por último, se puede elegir la colocación de un aparato de forma transarticular para posteriormente realizar una distracción de la articulación y resituarla en su posición normal. Si se diera el caso de que todos estos tratamientos fracasaran, sería necesario intervenir quirúrgicamente la articulación con objeto de liberar el tendón y la articulación (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Karger *et al.*, 1993).

Como en los apartados anteriores, Paley clasifica estas dificultades en problemas, si son resueltas antes de la finalización del tratamiento de forma

no operatoria; obstáculos, si requieren de tratamiento quirúrgico; o complicaciones, si permanecen sin ser solucionadas al final del tratamiento.

- Degeneración del cartílago articular

Algunos autores sostienen que la elongación ósea causa la lesión y degeneración del cartílago de las articulaciones adyacentes al hueso elongado (Carroll *et al.*, 1981; De Bastiani *et al.*, 1987; Stanitski, 1994; Green *et al.*, 2002). Un estudio realizado por Stanitski (1994), mostró que tras una elongación femoral, el cartílago de la articulación femorotibial mostraba signos degenerativos, tales como decoloración, fibrilación y pérdida de los componentes del cartílago, especialmente proteoglicanos. Sin embargo, este autor observó que el cartílago articular localizado por debajo de los meniscos, presentaba una estructura prácticamente normal. A pesar de que Stanitski (1994) afirmaba que la alteración del cartílago articular no era debida a la disminución en el movimiento de la articulación sino que era secundaria a la elongación ósea, Hung *et al.* (1996) sostenían que una falta de apoyo de la extremidad puede provocar la degeneración del cartílago articular.

### **3.4.8.- Desviación axial**

Durante la elongación, los fragmentos óseos presentan una tendencia a desviarse gradualmente. Este fenómeno es debido por una parte al desequilibrio existente entre la fuerza ejercida por los diferentes grupos musculares y por otra, a una inestabilidad en el fijador externo (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; García-Cimbreló *et al.*, 1992). Dependiendo de la localización de los músculos más potentes respecto al hueso, los segmentos óseos se desvían en una dirección o en otra. De esta forma, y debido a la presencia de fuertes grupos musculares en la cara lateral y posterior de la tibia, una osteotomía situada en la región proximal de la tibia puede sufrir una desviación medial de los fragmentos, y por lo tanto valgus distalmente (Paley, 1990; Caja *et al.*, 2003). Por otra parte, un fijador externo poco estable, la osteólisis, la pérdida de tensión o la debilitación de las agujas puede dar lugar a la desviación axial gradual del hueso elongado (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Caja *et al.*, 2003). Reichel *et al.* (1996)

afirman que en medicina humana es necesaria la fijación del peroné durante la distracción de la tibia con el fin de evitar deformaciones axiales.

El tratamiento de esta complicación se basa en la prevención. La colocación de las agujas transfixiantes en un ángulo de entre 5 y 10° en dirección opuesta a la desviación esperada, reduciría las probabilidades de desviación del hueso. Si la desviación axial ya se ha producido pero ha sido detectada precozmente (inferior a 5°), puede optarse por sobreelongar el lado desviado, en el caso de contar con un fijador externo circular. Si por el contrario la desviación supera los 5°, es necesario la modificación del aparato completo o la inserción de agujas con oliva (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991). En caso de utilizar un elongador unilateral, puede optarse por la colocación de un clavo intramedular conectado en uno de los fragmentos óseos al fijador externo (Lesser, 1998). Sin embargo, otros autores han observado que el recubrimiento de las agujas transfixiantes mediante hidroxapatita reduce su aflojamiento y por lo tanto el riesgo de desviación ósea (Caja *et al.*, 2003).

La desviación axial puede ser clasificada como un problema cuando es resuelta de forma no quirúrgica, o como un obstáculo si requiere de intervención quirúrgica para ser solucionada. Si al final del tratamiento la desviación axial se mantiene y consolida, es descrita como una complicación, menor si la desviación es inferior a 5°, y mayor si supera este valor (Paley, 1990).

#### **3.4.9.- Daño neurológico**

El daño neurológico puede estar relacionado tanto con la técnica quirúrgica como con la distracción (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).

Con referencia a la intervención quirúrgica, la causa más frecuente de lesión nerviosa es la colocación inadecuada de las agujas transfixiantes, tanto la localización como la técnica de inserción. Resulta de gran importancia poseer un conocimiento profundo de la anatomía transversal de la región a intervenir, ya que de esta forma es posible introducir las agujas a través de vías anatómicas seguras, evitando la lesión de estructuras nerviosas. En cuanto a la técnica de introducción de las agujas, es recomendable el uso de pistolas únicamente durante la fase de perforación del hueso y

no al atravesar los tejidos blandos. De esta forma, disminuye el riesgo de daño térmico y de que el nervio quede atrapado alrededor de la aguja, lo cual causaría una mayor lesión nerviosa que el hecho de ser atravesado por la aguja. Por otra parte, la realización de la osteotomía o corticotomía puede dar lugar también a lesiones de las estructuras nerviosas, de forma que es necesario llevar a cabo dichos procedimientos de forma cuidadosa (Green, 1983; Ilizarov, 1990; Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).

Las lesiones nerviosas originadas durante la fase de distracción suelen presentarse con menor frecuencia. Inicialmente, los pacientes manifiestan malestar local, hiperestesia y dolor, que acostumbra a ser reflejo. A continuación, puede observarse una fase de hipoestesia, disminución de la fuerza muscular y finalmente parálisis. El tratamiento de los daños neurológicos causados por la distracción incluye una intensa fisioterapia, especialmente el apoyo de peso sobre la extremidad intervenida. Adicionalmente, la velocidad de distracción puede ser disminuida, e incluso parada completamente durante unos días, para comenzar de nuevo con unos valores 0.25 ó 0.5 mm inferiores a la velocidad anteriormente utilizada. En algunas ocasiones, la lesión neurológica puede ser debida a que el nervio queda atrapado por una aguja, la cual inicialmente no le causaba ningún problema pero que al desplazarse durante la distracción ha arrastrado el nervio, lesionándolo. En este caso, es necesario retirar la aguja que está causando el problema (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Karger *et al.*, 1993).

Si el daño neurológico está causado por la distracción y se resuelve durante la fase de tratamiento, se considera un problema, mientras que si el nervio es descomprimido preventivamente, se define como un obstáculo. Si por el contrario, el daño neurológico tiene lugar durante la cirugía o persiste alguna disfunción nerviosa al final del tratamiento, es considerado una complicación (Paley, 1990).

#### **3.4.10.- Daño vascular**

De forma similar al problema anterior, el daño vascular puede producirse durante la intervención quirúrgica o durante la fase de distracción (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991).

La perforación de una arteria o vena durante la colocación de una aguja transfixiante no suele ocasionar problemas graves, aunque depende del diámetro de la aguja. La colocación de las agujas mediante pistola, puede dar lugar a lesiones térmicas en los vasos o que éstos queden enganchados alrededor del implante. La retirada de la aguja involucrada y la aplicación de presión sobre el punto sangrante son generalmente suficientes para que la hemorragia cese. En el caso de que la aguja quede muy próxima a una arteria pulsátil, puede causar una erosión tardía de la pared arterial dando lugar a una hemorragia retardada. Asimismo, la realización de la osteotomía o corticotomía puede causar también un daño vascular, el cual generalmente se resuelve mediante la aplicación de una simple compresión (Green, 1983; Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991). En medicina humana se han descrito casos de fístulas arterio-venosas, trombosis y síndromes compartimentales derivados de la lesión vascular intraoperatoria (Paley, 1990).

Se ha descrito que una de las complicaciones vasculares más frecuentes durante la elongación ósea es la formación de edema en la extremidad elongada, especialmente si el paciente es muy activo y utiliza excesivamente el miembro. Este problema generalmente se resuelve de forma espontánea tras la retirada del fijador externo. Asimismo, algunos autores afirman que la distracción de las arterias obtenida durante la fase de elongación, puede causar hipertensión en el paciente. Esta es debida principalmente a la aplicación de una elevada velocidad de distracción o la elongación ósea excesiva, de modo que se resuelve tras el cese de la distracción (Paley, 1990; Eldridge y Bell, 1991; García-Cimbrelo *et al.*, 1992; Karger *et al.*, 1993).

De acuerdo a la clasificación descrita por Paley (1990), la hipertensión y el edema son considerados problemas, mientras que los daños vasculares intraoperatorios de aparición tardía, la trombosis o el síndrome de compartimentalización son descritos como complicaciones.

Tal y como sostienen algunos autores, la prevalencia de estas complicaciones durante la elongación ósea depende en gran medida de la técnica utilizada. De esta forma, la técnica de Wagner presenta las proporciones más elevadas de las complicaciones anteriormente descritas, seguida por la callostasis mediante un fijador externo uniplanar y por último la técnica de elongación de Ilizarov. Esta última muestra

los niveles más bajos de complicaciones, con excepción de la aparición de infecciones en el trayecto de las agujas, contractura y subluxación de rodilla y lesiones nerviosas, en las que se sitúa por detrás de la técnica de Wagner. Por otro lado, la técnica de Wagner presenta la menor proporción de consolidación prematura de la osteotomía, hecho íntimamente ligado a la técnica en sí (Eldridge y Bell, 1991; Aaron y Eilert, 1996).

En medicina veterinaria, es muy importante realizar una completa exploración de la extremidad elongada con el fin de detectar prematuramente problemas neurovasculares, ya que dichos pacientes no pueden hablar. Cambios en la temperatura o en el color, o situaciones en las que el animal se lame o muerde la extremidad elongada, son signos característicos de este tipo de problemas (Lesser, 1998).

#### **3.4.11.- Otras complicaciones**

- Diferencias entre la elongación teórica y la real

La elongación teórica es el producto de la velocidad de distracción por el número de días que se ha realizado la elongación, mientras que la elongación real es el aumento radiológico de la longitud ósea que se ha obtenido una vez finalizada la distracción. Generalmente, existen discrepancias entre ambos parámetros, las cuales pueden ser debidas a diferentes factores. La tensión ejercida por los tejidos blandos durante la elongación puede producir que la elongación real sea inferior a la teórica, hecho que puede ser causado asimismo por un error del paciente en el proceso de distracción o por la elongación de una osteotomía consolidada. Por el contrario, una elongación real superior a la teórica puede ser debida a la magnificación del hueso que puede observarse en radiografías mal realizadas o a las diferentes tomas radiográficas (Yanoff *et al.*, 1992).

Con objeto de evitar que la elongación teórica sea mayor que la real, Aldegheri *et al.* (1989b) sugiere elongar el hueso 5 mm más de la longitud deseada, ya que la compresión del segmento elongado que tiene lugar durante el apoyo de peso, tiende a acortarlo varios milímetros.

- Problemas cutáneos

La piel, como otros tejidos blandos, se adapta a la distracción progresiva de sus fibras (Ilizarov, 1989a). Sin embargo, en ocasiones puede dar lugar a complicaciones que, aunque estéticas, no tienen mayor repercusión en el procedimiento de elongación ósea. Entre estos problemas podemos encontrar la formación de heridas que generalmente cicatrizan correctamente, o la invaginación de la piel. Esta última alteración se produce principalmente durante el transporte óseo. Este proceso no conlleva elongación de los tejidos, sino el transporte de un segmento óseo, estabilizado mediante una aguja transfixiante, a lo largo de un defecto óseo. Este desplazamiento óseo lleva asociado el desplazamiento de la aguja en la piel, causando un trayecto cicatricial longitudinal que puede invaginarse y que se soluciona extirpando la porción de piel afectada para posteriormente suturar el defecto (Tsuchiya *et al.*, 1997).

### **3.5.- TIPOS DE ELONGADORES UTILIZADOS EN LA ACTUALIDAD**

A pesar de que a lo largo de la historia de la elongación ósea se han aplicado diferentes técnicas y elongadores, en la actualidad existen tres grandes grupos de distractores: los fijadores externos circulares, los uniplanares y los distractores intramedulares.

#### **3.5.1.- Fijador externo circular**

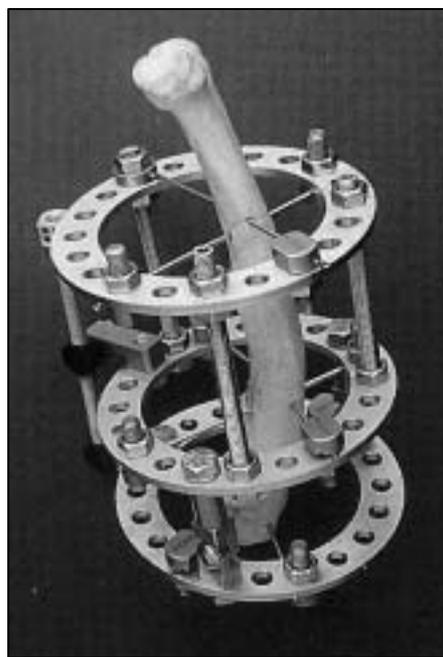
El fijador externo circular es un sistema modular cuyas piezas pueden unirse siguiendo numerosas configuraciones con el fin de tratar un determinado problema ortopédico. El sistema diseñado por Ilizarov constaba de elementos de soporte, (anillos cerrados y abiertos), de elementos conectores (barras roscadas y telescópicas, placas), de elementos de anclaje (rótulas, tuercas, arandelas) y de elementos de fijación (agujas, tensor de agujas). Debido a que este aparato se había diseñado para ser utilizado en traumatología humana, se desarrollaron variantes de menor peso y tamaño para su uso en animales de compañía. Los sistemas que se encuentran actualmente en el mercado son “The Small Bone Fixation System”, el “Ring Fixator System” y el “IMEX Circular External Skeletal Fixation System”. Cada uno de estos sistemas contiene los elementos básicos de sostén, conexión y fijación para llevar a cabo la elongación ósea y la corrección de deformidades, pero existen diferencias notables entre ellos (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

“The Small Bone Fixation System” fue desarrollado por el italiano Antonio Ferretti en los años 80. Se trata de una versión más pequeña del fijador de Ilizarov en la que los anillos son más delgados y de menor diámetro con el fin de ser utilizados en perros y gatos. Este aparato presenta además piezas de fijación de agujas más gruesas (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999).

El “Ring Fixator System” de Veterinary Instrumentations, incluye anillos cerrados y abiertos, arcos, placas conectoras, piezas conectoras roscadas, espaciadores, bisagras y tensores. A pesar de que este aparato es bastante innovador y funcional, presenta algunas limitaciones con respecto a su rigidez y a la precisión en la manipulación de las porciones dinámicas. Adicionalmente, los anillos están fabricados

en acero inoxidable y son relativamente delgados, lo que disminuye su peso pero al mismo tiempo facilita su deformación durante el uso (Stallings *et al.*, 1998).

Por otra parte, el “IMEX Circular External Skeletal Fixation System” comercializado por IMEX Veterinary Inc., ha sido desarrollado en conjunto con investigadores del Hospital Texas Scottish Rite para niños de Dallas (USA), lo que ha permitido introducir algunas novedades en dicho implante (Figura II.14). Entre estas innovaciones se encuentran las sujeciones universales para agujas finas y gruesas, el anillo accesorio en forma de “V” para los anillos abiertos, las bisagras que siguen el principio cero tolerancia - cero movimiento, y distractores angulares y telescópicos (Stallings *et al.*, 1998; Welch y Lewis, 1999). El principio de ***cero tolerancia-cero movimiento*** se refiere a la interfase que existe entre las tuercas roscadas de



**Figura II.14:** Fijador externo circular IMEX (IMEX Veterinary, Inc.)

plástico del distractor y la rosca metálica de la barra conectora. Hasta ahora, las tuercas del distractor y la barra conectora estaban construidas en metal, de forma que sus superficies no contactaban por completo entre ellas y daban lugar a una relativa inestabilidad. La nueva combinación plástico-metal de este aparato elimina dicha inestabilidad. Por otra parte, previamente se estaban utilizando anillos abiertos en las proximidades de las articulaciones con objeto de permitir una cierta libertad de movimiento articular. Sin embargo, puesto que este tipo de anillos reducían la estabilidad del fijador, se introdujeron los anillos accesorios en forma de “V” que, unidos a esos anillos abiertos, permiten la movilidad de las articulaciones sin sacrificar parte de la estabilidad del implante. Se añadieron también bisagras y distractores angulares que permiten la corrección progresiva de deformaciones angulares, las cuales cumplen a su vez el principio de cero tolerancia-cero movimiento con el fin de disminuir la morbilidad en los pacientes (Lewis *et al.*, 1999). Asimismo, se modificó el distractor, situándolo externamente de forma que su manipulación resulte más accesible y sencilla. Por último, se redujo el número de elementos necesarios para la fabricación del fijador en comparación con el aparato original de Ilizarov (Stallings *et al.*, 1998).

La característica más relevante de los fijadores externos circulares es el hecho que permiten un micromovimiento axial de la fractura u osteotomía que estimula la formación de callo en el espacio de distracción (Goodship y Kenwright, 1985; Flemming *et al.*, 1989; Ilizarov, 1990; Paley *et al.*, 1990; Lewis *et al.*, 1997, 1998). Por otra parte, las características biomecánicas de esta construcción circular respecto a las fuerzas que actúan sobre una fractura, dependen de factores extrínsecos e intrínsecos. Entre los primeros se incluyen el diámetro y material del anillo, el número de anillos y agujas, diámetro y tensión de las agujas, la orientación y el tipo de aguja así como la construcción de modelos híbridos con agujas más gruesas. Los factores intrínsecos que influyen en la rigidez del fijador externo circular son el área, longitud y elasticidad del callo regenerado, la configuración de la fractura u osteotomía o la tensión de los tejidos (Aronson *et al.*, 1988; Fleming *et al.*, 1988; Lewis *et al.*, 1998, 2001; Cross *et al.*, 2001).

### **3.5.2.- Distractor uniplanar**

Este elongador se caracteriza porque las agujas transfixiantes se sitúan en el mismo plano, tanto en un único lado (unilateral) como en ambas caras óseas (bilateral). En ellos, la barra conectora ha sido sustituida por una barra roscada u otra estructura que contiene un mecanismo elongador y que permite la separación gradual de las agujas situadas en cada fragmento óseo. Entre los elongadores uniplanares se encuentran el unilateral de Richards, el fijador Delta de Richards, el Hoffmann estándar, el delta de Hoffmann, el Ace Fischer, el aparato de Charnley, el de Wagner, el Orthofix o el de Lazo-Cañadell (Wagner, 1978; Knecht y Bloomberg, 1980; De Bastiani, *et al.*, 1987; Fjeld y Steen, 1988; Flemming *et al.*, 1989; Cañadell y De Pablos, 1992; Yanoff *et al.*, 1992; Yasui *et al.*, 1997; Cheung y Zhang, 2003).

Algunos de estos elongadores, como el aparato de Charnley, no permitían la realización de una distracción gradual, sino que para elongar el hueso, era necesario desbloquear las agujas, separarlas bruscamente una distancia y ajustarlas de nuevo. Este proceso se repetía varias veces por semana hasta obtener la longitud ósea deseada (Knecht y Bloomberg, 1980; Robertson, 1983). Por el contrario, otros aparatos incorporaban mecanismos más o menos desarrollados que permitían la realización de

una elongación gradual, tales como los elongadores de Wagner, Orthofix o el de Lazo-Cañadell (Wagner, 1978; De Bastiani, *et al.*, 1987; Cañadell, 1994).

Los elongadores uniplanares proporcionan una buena rigidez al callo de distracción al mismo tiempo que permiten una dinamización axial, especialmente el Orthofix (Figura II.15) (DeBastiani *et al.*, 1987; Aldegheri *et al.*, 1989b; Paley *et al.*, 1990; Price y Mann, 1991), la cual ha sido descrita como un fenómeno estimulante de la osteogénesis y de la corticalización del hueso regenerado (DeBastiani *et al.*, 1987; Aldegheri *et al.*, 1989, Paley *et al.*, 1990). Otras ventajas que ofrece este tipo de elongadores, son su reducido tamaño, su fácil manejo y colocación, y su capacidad de preservación del movimiento articular (DeBastiani *et al.*, 1987; Price y Mann, 1991; Yanoff *et al.*, 1992; Aaron y Eilert, 1996). A pesar de que la configuración no articular del elongador dinámico Orthofix presenta un reducido riesgo de desviación axial del callo de distracción, debido a la ausencia de piezas articuladas y su sistema de fijación de las agujas transfixiantes (De Bastiani *et al.*, 1987; Aldegheri *et al.*, 1989; Paley *et al.*, 1990; Eldridge y Bell, 1991; Price y Mann, 1991), generalmente los elongadores unilaterales muestran un mayor riesgo de deformación ósea axial que los circulares. La situación excéntrica de este tipo de elongador respecto al hueso, junto con las elevadas fuerzas de apoyo que debe soportar, pueden causar que las agujas transfixiantes se doblen o que resbale su fijación al elongador, dando lugar a la angulación del hueso a lo largo de la elongación (Paley *et al.*, 1990; Aaron y Eilert, 1996; Cole *et al.*, 2001).

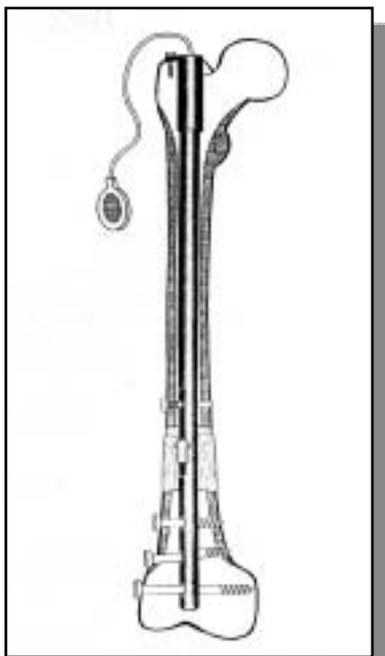


**Figura II.15:**  
Fijador externo unilateral dinámico "Orthofix".

### 3.5.3.- Distractor intramedular

Desde 1956 varios autores han descrito casos de elongación ósea con un clavo situado en el interior de la cavidad medular, sin embargo en todos los casos se requería de un elongador externo adicional, razón por lo que fue denominado "método del monorraíl" (Baumgart *et al.*, 1997; Paley *et al.*, 1997; Cole *et al.*, 2001). No fue hasta finales de los años 70 que Baumann y Harms (1977) describieron un clavo intramedular que permitía elongar el hueso de forma manual mediante un mecanismo transcutáneo.

Se realizaron estudios que confirmaron la formación de hueso nuevo alrededor del clavo intramedular. Sin embargo, debido a la comunicación entre la cavidad medular y el mecanismo exterior, el riesgo de infecciones intramedulares era muy elevado (Baumgart *et al.*, 1997). En esa época, Witt y Jäger (1978) desarrollaron el primer clavo intramedular que incorporaba un mecanismo distractor regulable mediante control remoto, pero por problemas técnicos dejó de utilizarse (Baumgart *et al.*, 1997). 20 años más tarde, en 1997, Baumgart describió un clavo intramedular que incorporaba un motor distractor programable (Baumgart *et al.*, 1997).



**Figura II.16:** Elongador intramedular (Baumgart *et al.*, 1997)

El clavo intramedular diseñado por Baumgart *et al.* (1997) estaba fabricado en acero inoxidable y contenía en su interior un motor herméticamente sellado. El implante se fijaba al fragmento óseo proximal mediante un tornillo especialmente diseñado para soportar la tensión generada durante la distracción, y mediante tres tornillos al segmento distal (Figura II.16). Inicialmente, se colocaba una batería y un componente electrónico similar a un marcapasos en el espacio subcutáneo. Dicho aparato era programado y llevaba a cabo una elongación constante durante las 24 horas del día, permitiendo que el paciente llevara una vida prácticamente normal. Posteriormente, este mecanismo fue sustituido por una antena en forma de parche, de reducido tamaño y localizada bajo la piel que se encontraba conectada al motor del clavo intramedular. Con este sistema, el paciente realizaba sus actividades habituales durante el día, y la distracción se llevaba a cabo durante la noche. El paciente se colocaba otro parche en la piel (transmisor) sobre la antena palpable, que se encontraba conectada a la unidad suministradora de energía, en la cual se programaba la distracción a realizar durante la noche (Baumgart *et al.*, 1997).

Baumgart *et al.* (1997) pudieron observar que dicho clavo resultaba estable incluso en elongaciones de 80 mm, y no presentaba tendencia a curvarse o romperse al aumentar la distancia. Debido a la conformación especial del fémur, era necesario desplazar el fragmento distal lateralmente antes de insertar el clavo, con el fin de

conseguir un eje biomecánico normal y evitar el desarrollo de valgus al final de la distracción. Una vez consolidado completamente el callo de distracción, se retiraba el implante, nunca antes de 18 meses desde la cirugía. De los 12 casos realizados, tres tuvieron que ser reoperados debido a la rotura de tornillos o a fallos en el motor, y algunos pacientes presentaron irritación de los tejidos blandos a nivel del tornillo distal, pero ninguno a la antena subcutánea.

A partir de este elongador intramedular, se han descrito otros diseños más modernos, cuyo mecanismo de elongación se basa en el movimiento rotacional de la extremidad elongada. Este movimiento, tanto manual como durante la marcha, produce la distracción del implante (Cole *et al.* 2001; Guichet *et al.*, 2003).

### **3.6.- METODOS DE SEGUIMIENTO DE LA FORMACION DEL CALLO DE DISTRACCION**

En la actualidad, además del método radiológico existen diversas técnicas diagnósticas que nos permiten controlar la evolución en la formación del hueso regenerado durante la elongación ósea. A continuación se describen brevemente otros métodos de control de la elongación ósea utilizados tanto en medicina humana como en medicina veterinaria.

#### **3.6.1.- Radiología**

Constituye el método tradicional utilizado para monitorizar el procedimiento de elongación ósea, ya que ofrece unas imágenes de elevada resolución, una amplia disponibilidad y bajo coste de adquisición (Kolbeck *et al.*, 1999). Para obtener una valoración más objetiva de las imágenes radiográficas, éstas pueden ser clasificadas en tres grupos (I a III) dependiendo del grado de unión entre los fragmentos óseos (Orbay *et al.*, 1992).

Sin embargo, este sistema de evaluación no permite observar la presencia de hueso regenerado hasta que no se ha formado un volumen considerable de callo ni cuantificar de forma eficaz la consolidación del callo de distracción, y por lo tanto, no permite predecir la fuerza de dicha estructura. Este hecho resulta de gran importancia en el momento de la retirada de los implantes, ya que una retirada prematura puede conducir a la fractura del hueso regenerado (Eyres *et al.*, 1993; Kolbeck *et al.*, 1999; Donan *et al.*, 2002; Troulis *et al.*, 2003).

La introducción de la **radiología digital** ofrece la posibilidad de cuantificar la formación de hueso regenerado en las imágenes radiográficas tomadas a lo largo del proceso de elongación ósea. Este método implica el uso de un nuevo sistema computerizado de toma radiográfica, pero su elevada capacidad de captación de detalles, su amplio rango de exposición y las posibilidades del procesado digital lo presentan como un sistema sensible para el control diario de la progresión de la consolidación del callo de distracción (Kolbeck *et al.*, 1999).

### **3.6.2.- Tomografía Axial Computerizada (TAC)**

Se trata de un sistema preciso, válido y fiable que proporciona una evaluación cuantitativa de la formación ósea durante la elongación ósea (Kolbeck *et al.*, 1999). La ventaja que ofrece el uso de este método, es que permite la visualización del calcio en el callo de distracción una semana antes que mediante la realización de radiografías y además evita las discrepancias entre la elongación real y la teórica. No obstante, no resuelve los artefactos derivados de la presencia de los implantes metálicos, haciendo necesario el uso de fijadores especiales. Asimismo, se trata de una técnica de coste elevado, radiactiva y que en veterinaria requiere de anestesia general, razones por las que no está recomendado su uso clínico rutinario (Hughes *et al.*, 1994; Kolbeck *et al.*, 1999).

### **3.6.3.- Ecografía**

Este sistema ha sido utilizado por diversos autores con el fin de controlar la evolución de la mineralización del callo de distracción (Maffulli *et al.*, 1992; Eyres *et al.*, 1993; Troulis *et al.*, 2003). Se trata de un método rápido, de fácil disponibilidad y relativamente barato, que además minimiza la exposición radiactiva. Asimismo, permite realizar medidas de precisión, monitorizar fácilmente el proceso de mineralización del callo, mostrando una buena correlación entre las imágenes obtenidas y el grado de mineralización existente. La principal ventaja de este método radica en que permite la detección de hueso regenerado de forma muy temprana, antes incluso que el método radiológico (Eyres *et al.*, 1993; Hughes *et al.*, 1994; Troulis *et al.*, 2003). Sin embargo, a medida que el callo de distracción va mineralizándose, la capacidad de penetración de las ondas disminuye, limitando su uso en estadíos tardíos de consolidación. Asimismo, la ecografía no supone un método adecuado de detección de desviaciones óseas (Maffulli *et al.*, 1992; Eyres *et al.*, 1993; Kolbeck *et al.*, 1999).

### 3.6.4.- Otros:

- **Densitometría ósea de energía dual (DEXA)**

La densitometría ósea de energía dual (DEXA) ha sido utilizada para evaluar la formación ósea durante la elongación ósea y el riesgo de fracturas por diversos autores (Eyres *et al.*, 1993; Hamanishi *et al.*, 1994; Hughes *et al.*, 1994; Maffulli *et al.*, 1999; Cheng *et al.*, 2002). Se trata de un sistema válido, preciso y fiable de cuantificación del hueso neoformado que permite la detección temprana de formación ósea durante la elongación ósea. También puede resultar de valor especialmente en las fases más tardías de la elongación ósea, mostrando una buena correlación entre imagen y características biomecánicas (Eyres *et al.*, 1993; Hughes *et al.*, 1994; Kolbeck *et al.*, 1999; Cheng *et al.*, 2002).

Sin embargo, aunque Eyres *et al.* (1993) lo consideran un método de gran utilidad en los procesos de elongación ósea, Cheng *et al.* (2002) no recomiendan su aplicación clínica ya que presenta un coste más elevado que el de las radiografías habituales, se encuentra disponible únicamente en centros especializados y, aunque la dosis de radiación producida es mínima, se trata de un método radiactivo. Adicionalmente, otros autores sostienen que este método no permite evaluar la alineación de los fragmentos, y puede pasar por alto grandes defectos óseos visibles mediante ecografía. (Hughes *et al.*, 1994; Kolbeck *et al.*, 1999).

- **Gammagrafía**

Esta técnica se basa en la administración de una sustancia radiactiva y la medición posterior de los rayos gamma que desprende el organismo procedentes de la acumulación de este fármaco en determinados órganos. En traumatología el radiofármaco utilizado es  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP, el cual se acumula en aquellas partes del hueso que presentan una mayor vascularización o un metabolismo más activo. Durante la elongación ósea, este fármaco se acumula en la zona de distracción, presentando una mayor captación en las

fases iniciales debido a la elevada actividad de remodelación que tiene lugar (Orbay *et al.*, 1992; Franch, 1994).

### **3.7.- METODOS MICROSCOPICOS DE ESTUDIO DEL CALLO DE DISTRACCION**

#### **3.7.1.- Métodos de estudio con muestras decalcificadas**

- Histología convencional

Se trata de un método utilizado por numerosos investigadores para el estudio histológico de la elongación ósea y de los tejidos blandos circundantes. La aplicación de diferentes tinciones (hematoxilina/eosina, azul de toluidina, tricómico de Masson, etc), permite la visualización de los diferentes tejidos que participan en la formación y evolución del callo de distracción (Kawamura *et al.*, 1968; Ilizarov, 1989ayb; Yasui *et al.*, 1997; Rachmiel *et al.*, 2000; Aronson *et al.*, 2001ayb; Kessler *et al.*, 2002; Muhonen *et al.*, 2002).

- Microangiografía

Este método permite la observación de la vascularización del hueso y de los tejidos blandos durante la elongación ósea. Se basa en la inyección intravascular de una sustancia radiopaca, generalmente Sulfato de Bario, y en la posterior observación mediante un microrradiógrafo, de los vasos llenos de dicho contraste (Brueton *et al.*, 1990; Rever *et al.*, 1991; Szentimrey *et al.*, 1995; Shirai *et al.*, 1997; Franch *et al.*, 1998b).

#### **3.7.2.- Métodos de estudio con muestras no decalcificadas**

- Microscopía confocal de fluorescencia

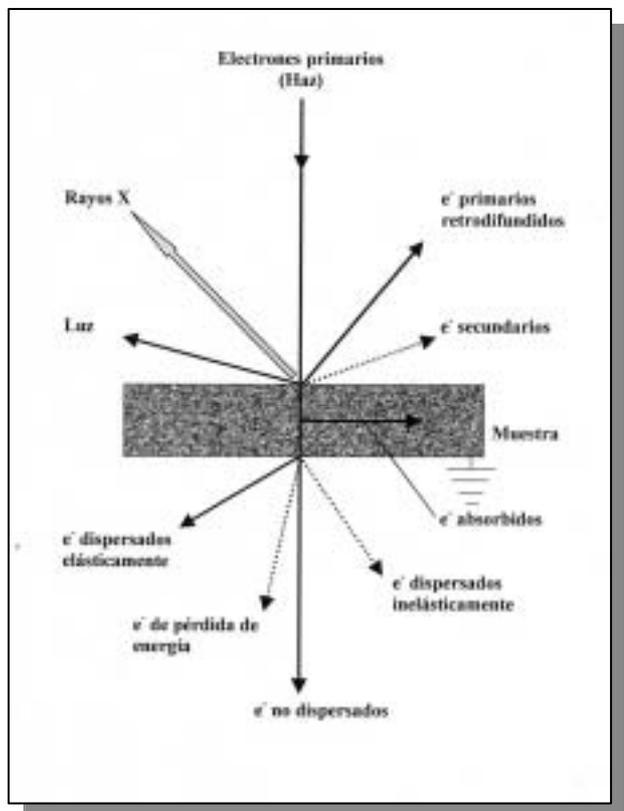
Esta técnica se basa en la administración de uno o varios marcadores óseos fluorescentes y la visualización posterior de la fluorescencia que es emitida por la

acumulación de estos fluorocromos en determinadas zonas del organismo. En traumatología los fluorocromos utilizados con mayor frecuencia son la Oxitetraciclina, la Verde Calceína y el Naranja de Xilenol ya que se unen al calcio de los huesos. Durante la elongación ósea, este fármaco se acumula en las zonas de nueva calcificación, siendo de gran utilidad para el estudio de la mineralización del callo de distracción (Slätis *et al.*, 1978; Annefeld *et al.*, 1986; Stuart y Smith, 1992; Szentimrey *et al.*, 1995; Yagishita *et al.*, 1995; Kessler *et al.*, 2002)

- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido se basa en la interacción de un haz de electrones con la muestra. Tras esta interacción se emiten numerosas señales, una de las cuales está formada por electrones retrodispersados y que son detectados mediante una sonda específica (Figura II.17). Esta señal de electrones retrodifundidos se encuentra en función de la densidad en cada punto de la muestra, de forma que, tras la lectura de los **electrones retrodifundidos** en todos los puntos de la muestra, es posible obtener una imagen con las diferentes densidades de los tejidos que la forman, principalmente los de alto peso específico (hueso, metal, bario). La imagen obtenida es similar a la de una microrradiografía,

que también distingue densidades, sin embargo, el microscopio electrónico permite obtener imágenes con mayores aumentos y realizar estudios histomorfométricos de la muestra analizada. Las imágenes obtenidas mediante la sonda de retrodispersión se diferencian de las obtenidas mediante la sonda de captación de electrones secundarios en que ésta última proporciona imágenes tridimensionales de la superficie de la muestra, y no de densidades. Estas visualizaciones se obtienen mediante la captación del haz de



**Figura II.17:** Esquema de interacción de un haz de electrones con la muestra (cortesía del Dr. R Fontarnau del Servicio de Microscopía Electrónica de la UB).

electrones secundarios emitido por la película de oro que recubre la superficie de la preparación.

La microscopía electrónica de barrido mediante sonda de lectura de electrones retrodifundidos (BS-SEM) es uno de los mejores métodos de estudio de las características morfológicas del tejido óseo. Este sistema de evaluación requiere de una técnica específica de preparación de las muestras caracterizada por la ausencia de decalcificación (Manzanares *et al.*, 1997; Goldman *et al.*, 1998, 2000). Esta técnica provoca alteraciones mínimas de la estructura y composición de las muestras, las cuales son deshidratadas y fijadas para posteriormente ser incluidas en metilmetacrilato, siguiendo el protocolo descrito por Donath en 1988 (Franch *et al.*, 1998a).

Los estudios realizados mediante microscopía electrónica de retrodispersión sobre el proceso de consolidación de las fracturas muestran la estructura y morfología de los diferentes tejidos que participan en este proceso (Franch *et al.*, 1998a).

- **Hueso lamelar:**

El hueso lamelar se encuentra formado por pequeñas células (osteocitos) rodeadas de una matriz calcificada, disponiéndose en finas capas denominadas láminas. Estas láminas pueden distribuirse siguiendo diferentes patrones: un patrón Haversiano (hueso osteonal) y un patrón trabecular (hueso trabecular). El hueso osteonal forma parte del córtex óseo, mientras que el hueso trabecular se encuentra presente en la cavidad medular y corresponde al hueso esponjoso presente en las zonas metafisarias (Franch *et al.*, 1998).

Visualizado mediante microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM), el hueso osteonal muestra una elevada densidad debido al gran contenido de sales de fosfato cálcico, lo que le otorga una coloración blanca. En un corte longitudinal, pueden observarse las lagunas celulares como espacios negros regulares, pequeños, alargados y ordenados de una forma lineal, siguiendo el eje longitudinal del hueso. En un corte transversal, la unidad osteonal (osteona) muestra una morfología circular, constituida por

una vaso sanguíneo central rodeado por capas concéntricas de láminas. Cada lámina contiene una o varias lagunas celulares, cada una de las cuales posee un osteocito. Dicho osteocito, ha producido la matriz extracelular que sigue un proceso de mineralización progresiva. Los diferentes niveles de mineralización pueden apreciarse como una serie de láminas concéntricas cuya blancura aumenta progresivamente. A lo largo del proceso de mineralización, el osteocito queda aislado del resto de células óseas excepto por unos diminutos canales denominados canalículos (Goret-Nicaise *et al.*, 1988; Manzanares *et al.*, 1988; Franch *et al.*, 1998a).

En el hueso trabecular, las láminas se organizan formando largas capas apocionadas en agrupaciones irregulares. El aspecto ultraestructural del hueso trabecular y el hueso osteonal es idéntico en los cortes longitudinales, ya que los componentes tisulares son los mismos. En algunas ocasiones, las trabéculas de mayor tamaño pueden presentar osteonas aisladas que no forman parte de ningún sistema Haversiano (Franch *et al.*, 1998a).

Generalmente, el hueso lamelar se forma sobre hueso previamente mineralizado, en la mayoría de los casos hueso fibrorreticular, aunque es posible encontrar hueso lamelar en contacto con tejido condroide o con superficies óseas osteonales (Franch *et al.*, 1998a).

- **Hueso fibrorreticular:**

El hueso fibrorreticular es un tejido mineralizado que presenta un aspecto menos organizado que el hueso previamente descrito. Las lagunas celulares son más abundantes, presentan un mayor tamaño y forma irregular. Se distribuyen siguiendo un patrón más irregular, aunque raramente confluyen entre ellas. La matriz extracelular se encuentra menos calcificada que en el hueso lamelar, mostrando un aspecto ondulante debido a la presencia de abundantes fibras de colágeno (Franch *et al.*, 1998a).

- **Tejido condroide:**

El tejido condroide se encuentra formado por numerosas lagunas celulares, las cuales confluyen entre ellas otorgándoles una forma y tamaño variables. Estas lagunas son de mayor tamaño que en los tejidos anteriormente descritos, con una forma poliédrica, bordes irregulares y suelen confluir entre ellas. El patrón de calcificación del tejido condroide es centrípeto, es decir desde el exterior hacia la célula. Estas se encuentran rodeadas por un mayor volumen de matriz extracelular que en el tejido cartilaginoso calcificado, y se caracteriza por la presencia de áreas largas y estrechas con baja intensidad al microscopio electrónico de retrodispersión, correspondientes a fibras de colágeno (Goret-Nicaise 1982; Goret-Nicaise, 1986; Lengelé, 1996; Goret-Nicaise *et al.*, 1988; Manzanares *et al.*, 1988; Franch *et al.*, 1998a).

- **Tejido cartilaginoso calcificado:**

El cartílago calcificado presenta una matriz extracelular muy escasa que junto con el gran tamaño celular, le dan un aspecto esponjiforme. Mediante el microscopio electrónico de retrodispersión pueden observarse lagunas celulares redondeadas, de gran tamaño y rodeadas por escasa matriz calcificada, que coexisten con áreas de cartílago no calcificado. Dado que se trata de un tejido en el que está teniendo lugar el proceso de mineralización, la intensidad de gris del tejido es muy variable. Dicha mineralización tiene lugar de forma centrífuga, a diferencia del tejido condroide (Goret-Nicaise 1982; Goret-Nicaise, 1986; Lengelé, 1996; Goret-Nicaise *et al.*, 1988; Manzanares *et al.*, 1988; Franch *et al.*, 1998).

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

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

### **III.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La elongación ósea ha sido objeto de numerosos estudios a lo largo de los últimos 100 años. Inicialmente, dichos estudios se centraban en el aspecto mecánico de la técnica, permitiendo la modificación y perfeccionamiento tanto de la técnica como de los aparatos utilizados (Paterson, 1990; Putti, 1990; Cech y Trc, 1993; Kenwright y White, 1993; Codivilla, 1994; Wiedemann, 1996; Samchukov, 1998). Desde la descripción de la ley de tensión-estrés por Ilizarov en los años 50 (Ilizarov, 1989a), las investigaciones se han concentrado en el aspecto biológico de la elongación. Cómo tiene lugar la osteogénesis por distracción, qué factores influyen en la cantidad y calidad del hueso regenerado o cómo se ven afectados los tejidos blandos durante la elongación ósea, han sido algunos de los temas en los que se han centrado dichos trabajos (Kojimoto *et al.*, 1988; Ilizarov, 1989a y b; Delloye *et al.*, 1990; White y Kenwright, 1991; Yanoff *et al.*, 1992; Aronson y Shen, 1994; Frierson *et al.*, 1994; Ippolito *et al.*, 1994; Lengelé, 1996; Shirai *et al.*, 1997; Yasui *et al.*, 1997; Kessler *et al.*, 2002; Muhonen *et al.*, 2002). A pesar de que dichas cuestiones han sido resueltas en gran medida, todavía existen algunos aspectos de la osteogénesis por distracción que se desconocen o respecto a los cuales no hay un acuerdo claro entre los diferentes investigadores. Una de las principales controversias acerca del fenómeno de elongación ósea apunta a la sucesión de tejidos que participan en el mecanismo de osificación del callo neoformado en el espacio interfragmentario y que indirectamente, determinan la solidez del callo de distracción y la retirada del elongador.

Como ya se ha comentado anteriormente, algunos autores afirman que durante la distracción ósea se encuentra presente un mecanismo de osificación intramembranosa de los tejidos neoformados, es decir, la formación del tejido óseo tiene lugar directamente a partir de una estructura fibrosa formada en dicho espacio (Ilizarov, 1989b; Aronson y Shen, 1994). Por el contrario, otros autores sostienen que durante la

elongación ósea los tejidos neoformados se diferencian y disponen de forma similar a un cartílago de crecimiento activo (Kojimoto *et al.*, 1988). De esta forma, la formación y crecimiento del hueso se produce mediante osificación endocondral, es decir, a partir de una base cartilaginosa. Por último, otros investigadores han observado la participación de un tercer mecanismo de osificación durante la elongación ósea, en el cual interviene un tejido intermedio entre cartílago y hueso, el tejido condroide (Lengelé, 1996; Yasui *et al.*, 1997; Kessler *et al.*, 2002; Muhonen *et al.*, 2002). Como puede observarse, resulta evidente la falta de acuerdo existente entre los investigadores con referencia al mecanismo de osificación que tiene lugar durante de la osteogénesis por distracción.

De forma similar a lo que ocurre con el mecanismo de osificación del callo de distracción, tampoco existe un acuerdo claro entre los diferentes investigadores respecto a la técnica quirúrgica, protocolo de distracción o elongador que es necesario aplicar con el fin de obtener un hueso regenerado abundante y de calidad.

Con referencia a la técnica quirúrgica, mientras que algunos autores manifiestan la necesidad de preservar la vascularización intramedular (DeBastiani *et al.*, 1987; Ilizarov, 1989b), otros afirman que no existen diferencias en el tejido regenerado tras la realización de corticotomía u osteotomía completa (Kojimoto *et al.*, 1988; Delloye *et al.*, 1990; Paley y Tetsworth, 1991; Yanoff *et al.*, 1992; Frierson *et al.*, 1994).

En cuanto a la fase de distracción, y puesto que existen varios parámetros que influyen en esta etapa, la disparidad de protocolos descritos se dispara. La necesidad de período de latencia es cuestionada por varios autores, quienes afirman que si la vascularización intramedular ha sido preservada, esta fase no es necesaria (Ilizarov, 1977, en White y Kenwright, 1991; Aronson y Shen, 1994). Sin embargo, la mayor parte de los investigadores manifiesta la necesidad de dicho período anterior a la distracción, aunque no coinciden en su duración (DeBastiani *et al.*, 1987; Aldegheri *et al.*, 1989a; Green, 1991b; White *et al.*, 1991; Elkins *et al.*, 1993; Lesser, 1994; Cruz *et al.*, 2001).

Esto mismo tiene lugar cuando se trata de la velocidad y ritmo de distracción. Los autores no se ponen de acuerdo sobre los valores más adecuados de estos

parámetros para obtener una buena formación del callo de distracción (Ilizarov, 1989b; Simpson *et al.*, 1995; Lesser, 1998; Welch *et al.*, 1998). Por otra parte, la aplicabilidad clínica de dichos valores se encuentra en ocasiones, muy limitada en medicina veterinaria. De esta forma, la aplicación de ritmos de distracción tan elevados como los sugeridos por Ilizarov (1989b) requieren de la aplicación de autodistractores, cuya disponibilidad en veterinaria es muy reducida debido a su elevado coste.

Existe además una gran variabilidad en cuanto a los aparatos utilizados durante la elongación ósea. Mientras que algunos autores abogan por la versatilidad del uso de fijadores externos circulares (Ilizarov, 1989a y b, 1990, 1992; Orbay *et al.*, 1992; Welch *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 1999; Marcellin-Little *et al.*, 1999), otros prefieren la sencillez de los elongadores uniplanares (DeBastiani *et al.*, 1987; Aldegheri *et al.*, 1989; Yanoff, 1992). Asimismo, en los últimos años, se ha descrito la aplicación con éxito de elongadores intramedulares (Baumgart *et al.*, 1997; Cole *et al.* 2001; Guichet *et al.*, 2003).

Por otra parte, aunque existe un gran número de estudios realizados sobre la elongación ósea, una elevada proporción de ellos basa la aplicación de sus resultados en la medicina humana. A pesar de que aquellos que no presentan un carácter clínico han sido realizados en animales de experimentación, su aplicabilidad a la traumatología veterinaria es cuestionable, ya que las especies utilizadas en su mayoría no corresponden a las especies que con mayor frecuencia llegan a nuestra consulta (monos, cerdos, conejos, ratas, ovejas o cabras) (Carroll *et al.*, 1981; Monticelli *et al.*, 1981; Fjeld y Steen, 1988; Steen y Fjeld, 1989; Welch *et al.*, 1998; Kolbeck *et al.*, 1999; Meffert *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 2000; Makarov *et al.*, 2001; Green *et al.*, 2002; Lindsey *et al.*, 2002; Pacicca *et al.*, 2002). Asimismo, dichos trabajos han sido realizados utilizando tanto protocolos quirúrgicos y de elongación ósea como aparatos diseñados para la especie humana. De esta forma, en ocasiones resulta complicado aplicar estos protocolos y aparatos en medicina veterinaria, no sólo debido a la propia naturaleza de los pacientes, sino también a la limitada disponibilidad de personal y menor capacidad económica para la adquisición de estos implantes.

### **III.2.- HIPOTESIS DE TRABAJO**

Las consideraciones que acabamos de realizar sobre el estado actual de los conocimientos acerca del mecanismo de osteogénesis por distracción, las variantes de los protocolos aplicados y los diferentes elongadores utilizados en la elongación ósea, revelan la existencia de opiniones contrapuestas entre determinados grupos de autores.

Por estas razones, nos planteamos el desarrollo de un trabajo que por una parte, permitiera evaluar el mecanismo de osteogénesis por distracción y por otra, que nos diera la opción de diseñar un protocolo de elongación ósea y un aparato de aplicación en medicina veterinaria. De esta forma, nos planteamos las siguientes cuestiones:

1. ¿Existe un elongador en medicina veterinaria que permita la realización de elongación ósea de una forma sencilla y que no requiera formación personal previa ni elevada inversión económica?
2. ¿Qué protocolos quirúrgico y de distracción proporcionan un método sencillo y viable de elongación ósea en veterinaria al mismo tiempo que una formación ósea adecuada?
3. ¿Cuál es la evolución en la formación y el mecanismo de osificación del callo de distracción durante la elongación ósea?

### **III.3.- OBJETIVOS**

Para poder responder a las cuestiones formuladas en nuestra hipótesis de trabajo, nos planteamos la realización de un estudio que cumpliera las características siguientes:

- Realización de una osteotomía bilateral en la diáfisis de tibia y peroné
- Colocación de un elongador unilateral
- Aplicación de un mismo protocolo quirúrgico y de distracción a todos los animales

- Obtención de muestras seriadas a lo largo de todo el proceso de distracción y consolidación ósea

De esta forma, los objetivos que pretendemos satisfacer en el estudio que aquí se presenta son:

1. Diseñar un elongador de aplicación directa a la traumatología veterinaria, que resulte fácil de utilizar, no requiera excesiva formación personal previa ni elevada inversión económica.
2. Evaluar si dicho elongador permite realizar elongaciones óseas de forma correcta y establecer las complicaciones resultantes de su aplicación.
3. Desarrollar un protocolo quirúrgico y de elongación que permita la correcta formación del callo de distracción, al mismo tiempo que resulte de aplicación sencilla en veterinaria.
4. Realizar un estudio sobre el proceso de elongación ósea y de formación del callo de distracción en los aspectos siguientes:
  - a. Evolución clínica de los animales intervenidos
  - b. Seguimiento radiológico de las tibias elongadas
  - c. Estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión del proceso de osteogénesis por distracción
5. Determinar el mecanismo de osificación del tejido neoformado durante el proceso de elongación ósea.

## **IV.- MATERIAL Y METODOS**

## **IV.-MATERIAL Y METODOS**

### **IV.1.-MATERIAL**

#### **1.1.-ELONGADOR**

El elongador utilizado en este estudio era de tipo uniplanar y unilateral, siendo una variante del diseñado por los médicos españoles Lazo y Cañadell. Constaba de las siguientes estructuras (Figuras IV.1 y 2):

- **Barra conectora**: Estaba formada a su vez por dos piezas cilíndricas, una de las cuales se introducía parcialmente en el interior de la otra, hueca y que incorporaba el mecanismo elongador. Al cilindro interno, que sobresalía proximalmente, se acoplaban las abrazaderas que a su vez fijaban las dos agujas proximales, mientras que al cilindro externo se le unían mediante otras dos piezas idénticas las agujas distales. En su extremo distal, presentaba una pieza rotatoria que era accionada por una llave Allen del número 4. Un giro de 360° en sentido contrario a las manillas del reloj producía un desplazamiento de 1mm de un cilindro respecto al otro, alejando las dos abrazaderas proximales de las distales y dando como resultado una elongación del hueso. Si este giro se realizaba en el sentido de las agujas del reloj, el desplazamiento tenía lugar en sentido contrario y se obtenía un acortamiento proporcional del hueso. Esta pieza estaba fabricada en acero inoxidable.
- **Abrazadera**: Se trataba de cada uno de los 4 bloques de aluminio que se acoplaban y ajustaban mediante tornillos a la barra conectora y que a su vez fijaban las agujas transfixiantes.
- **Arandela**: Correspondía a cada una de las piezas de acero inoxidable circulares y corrugadas que se situaban entre la aguja y la abrazadera. La función de dicha pieza era evitar que la aguja resbalara en la dirección de la elongación, hecho que se debía por una parte a la tensión ejercida por

los tejidos blandos y por otra parte a la elevada fuerza axial a la que estaban sometidas las agujas durante todo el proceso de elongación y consolidación óseas.

- Rótula: Se trataba de una pieza circular de aluminio que presentaba una muesca longitudinal en una de sus caras y donde se acoplaban las agujas. Esta pieza mantenía unidas las agujas a su correspondiente arandela y abrazadera mediante un tornillo que al ser apretado, ajustaba dichas piezas entre sí.
- Aguja-tornillo: Correspondía a una aguja de acero inoxidable de 3mm de diámetro, uno de cuyos extremos adoptaba la morfología y calibración de un tornillo de 3.5 mm de rosca y longitud variable, dependiendo del diámetro del hueso en que era colocado.

## **1.2.- MATERIAL QUIRURGICO**

El material utilizado en las intervenciones quirúrgicas llevadas a cabo en este estudio, era el propio de toda cirugía ortopédica en que es necesario realizar una osteotomía y colocar tornillos transcorticales. Es necesario mencionar que la osteotomía de tibia y peroné era realizada mediante una sierra oscilante (MAXIDRIVER®, 3M) y una hoja de corte (MAXIDRIVER BLADE L123®, 3M). Adicionalmente, se utilizaba material quirúrgico de carácter general que permitía realizar tanto el abordaje quirúrgico como su cierre, así como una correcta hemostasia.

## **1.3.- ANIMALES Y ESTABULARIO**

### **1.3.1.-Animales**

El presente estudio fue llevado a cabo en 12 perras Beagles de aproximadamente 9 a 12 kilogramos de peso, y de una edad comprendida entre los 2 y 9 años. Estos animales fueron comprados a un centro homologado y reconocido oficialmente para la

cría de animales de experimentación (ISOQUIMEN, Sant Feliu de Codines-Barcelona). Estos animales presentaron un buen estado general y nutricional, y los análisis sanguíneos realizados no mostraron alteraciones orgánicas significativas. Tres animales obtuvieron un resultado positivo a la serología de leishmania (título 1/160 en dos de ellas y 1/320 en la tercera), por lo que se les instauró un tratamiento a base de Antimoniato de N-metilglucamina (GLUCANTIME®, Merial) subcutáneo (75mg/Kg SID). Se consideró que esta patología no afectaría de forma considerable los resultados del estudio, de modo que no se eliminaron del procedimiento.

### **1.3.2.- Estabulario**

Los animales fueron ubicados en las instalaciones del Servicio de Granjas y Campos Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona que están dispuestos para este fin. La administración de la comida y la limpieza de los habitáculos eran realizadas una vez al día.

### **1.4.- MATERIAL DE ANESTESIA**

Los fármacos anestésicos utilizados durante el presente estudio quedan reflejados en el apartado de procedimiento quirúrgico, que se describe posteriormente.

### **1.5.- MATERIAL PARA EL ESTUDIO RADIOLOGICO**

Para realizar el estudio radiológico de la elongación y consolidación de los huesos intervenidos quirúrgicamente en el presente estudio, se utilizó un aparato de rayos X de la marca TOSHIBA ROTADONE™ modelo E7239X (125 Kv, 2.0/1.0 mm). Las radiografías se llevaban a cabo con chasis y película de mamografía (KODAK MAMMOGRAPHY FILM®, Kodak) ya que proporcionaban una mayor definición de las imágenes obtenidas (Figura IV.3).

El revelado de dichas películas se realizaba de forma similar al de las películas convencionales, utilizando una reveladora automática, marca KODAK M35-M X-

OMAT Processor , y como líquidos revelador y fijador Fuji Hunt Anatomix Developer replendisher (A, B, C) y Fuji Hunt X-Fix Fixer & replenisher (A, B), de Fujifilm, respectivamente.

## **1.6.- MATERIAL PARA EL PROCESAMIENTO DE MUESTRAS**

A continuación se describe el material que fue utilizado para el procesamiento de las muestras obtenidas en el presente estudio. Este procesamiento presentaba una primera fase común para todas las muestras, para posteriormente separarse en dos protocolos diferenciados: con y sin decalcificación del tejido óseo (los estudios relacionados con muestras decalcificadas no se encuentran incluidos en esta tesis).

### **1.6.1.- Material común**

Formol tamponado 10%

Alcohol 95°

Congelador

Exakt-cutting bandsaw: Sierra de banda de hoja de diamante de gran precisión y resistencia que permitía cortar materiales de gran dureza (hueso, metal). Presentaba un sistema de irrigación constante durante el proceso de corte para evitar alcanzar temperaturas elevadas que pudieran alterar la muestra, además de un sistema de sujeción automático de la muestra.

Hojas de sierra LEICA de 0.2 mm: Hojas fabricadas en acero inoxidable cuyos dientes cortantes presentaban partículas de diamante que le conferían su extrema dureza.

### **1.6.2.- Material para el marcaje vascular**

A continuación se detalla el material que se utilizó para la inyección vascular de Sulfato de Bario en las muestras:

- Productos químicos

Heparina sódica (HEPARINA LEO 5%®, Byk Leo)

Sulfato de Bario (DISPERBARIUM®, Orbi)

Suero Salino Fisiológico (Braun)

- Material y aparatos

Cánulas 20G (VASOCAN ®, B/ Braun)

Sutura (VICRYL®, Johnson & Johnson Intl.)

Jeringas (Braun)

### 1.6.3.- Material para el estudio de muestras sin decalcificar

En este apartado se describe el material que fue necesario para el procesamiento de las muestras sin decalcificar, que se utilizarían en el estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión.

- Productos químicos (Figura IV.4)

Technovit 7200 (Kulzer)

Technovit 7230 (Kulzer)

Technovit 4000 (Kulzer)

Agua destilada

Alcohol

Xilol

- Material y aparatos

Moldes plásticos

Bomba de vacío: Para mantener las piezas unidas al soporte de la micropulidora durante el pulido.

Prensa de precisión, utilizada durante el montaje de los bloques de metilmetacrilato sobre los portaobjetos de cristal.

Lámpara fotopolimerizadora (HISTOLUX®, Kulzer): Permitía una programación digital de los tiempos de exposición a los diferentes tipos de luz para conseguir una rápida polimerización y endurecimiento del metilmetacrilato.

Micropulidora (Exact): Presentaba un plato giratorio sobre el que se colocaban las hojas de lija, así como un soporte en la parte superior donde se ajustaba la muestra mediante un sistema de vacío. La presión que ejercía la muestra sobre la superficie de lija podía regularse por medio de pesas. La muestra era sometida a un movimiento de

translación que, junto con el movimiento circular de la hoja de lija, permitía la obtención de una superficie homogénea de pulido. Durante todo este proceso, se mantenía una irrigación constante sobre la superficie de la lija y la muestra para evitar las alteraciones térmicas de la muestra y asegurar un pulido “a espejo” imprescindible para el estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión.

Hojas de lija de grano de diferente grosor (Hermes 320 y 4000)

#### **1.6.4.- Material para el estudio de microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM)**

A continuación se detalla el material que se utilizó para la realización del estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión:

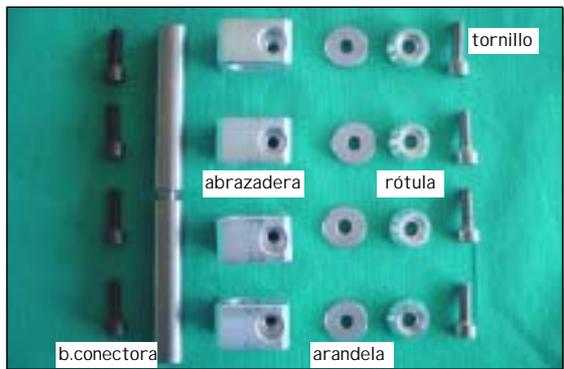
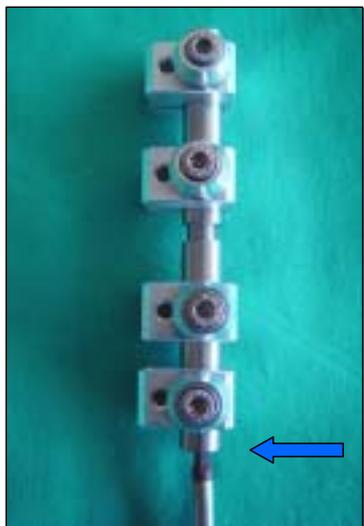
Estufa

Evaporador de carbono (Edwards High Vacuum Ltd. England)

Microscopio electrónico de Barrido. Stereoscan S360. (Leica / Cambridge Instruments. England)

Plata coloidal (ELECTRODAC 1415®, Acheson)

1.7.- ANEXO I-FOTOS



**Figura IV. 1:** Piezas que constituyen el elongador unilateral.

**Figura IV. 2:** Elongador montado. Localización y llave de giro del mecanismo distractor (flecha).



**Figura IV. 3:** Chasis y película de mamografía utilizados en el estudio radiológico de la elongación ósea.



**Figura IV. 4:** Parte del material utilizado para el procesamiento de muestras no decalcificadas.

## **IV.2.-METODOS**

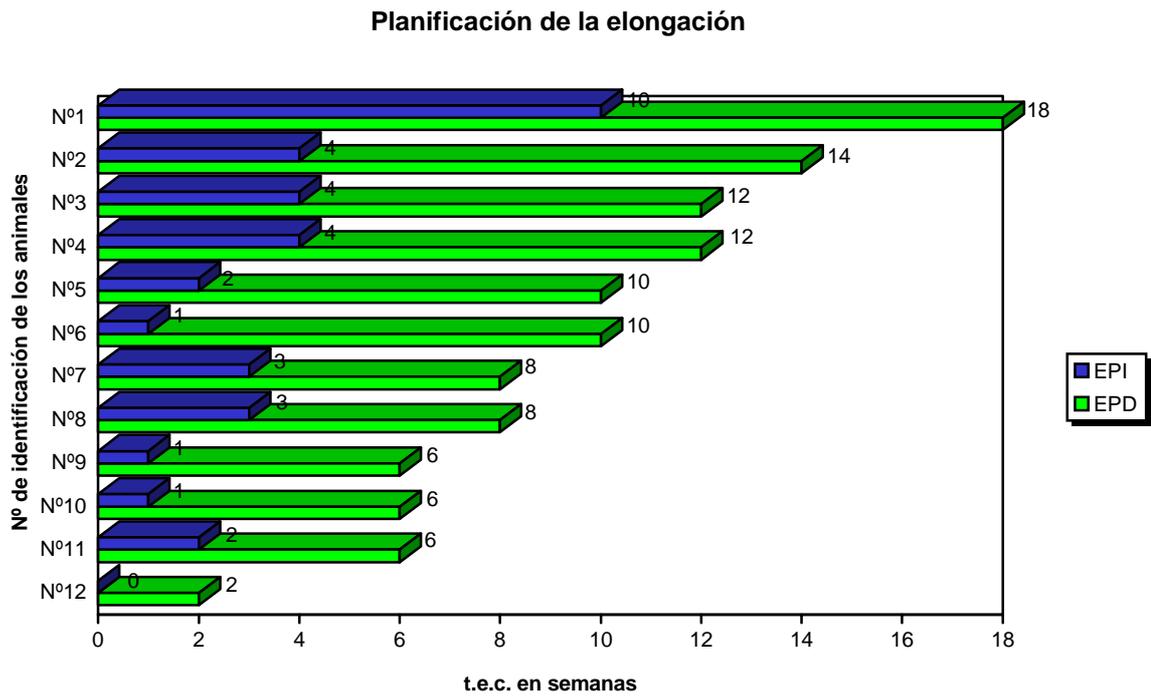
### **2.1.- PROTOCOLO GENERAL**

El estudio realizado tenía como fin la valoración de la formación y progresiva evolución del callo de distracción en el proceso de elongación y consolidación ósea, utilizando un elongador unilateral y uniplanar como sistema de distracción. El presente procedimiento experimental fue valorado y estudiado profundamente por los Comités de Ética de la Universidad Autónoma de Barcelona y de la Generalitat de Cataluña, siendo aprobado su desarrollo por ambos organismos.

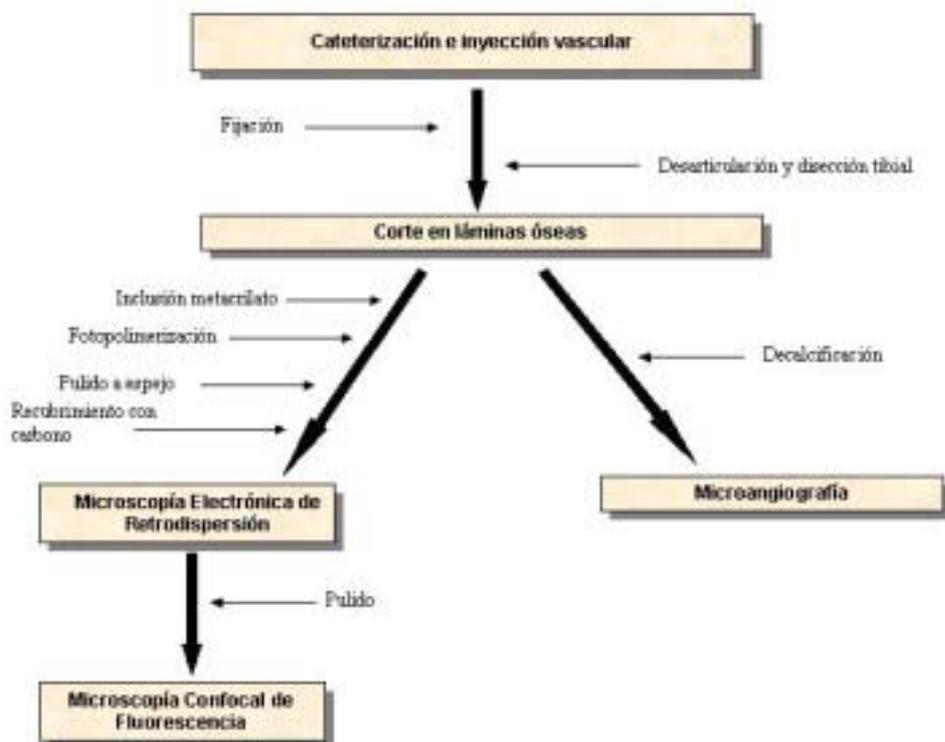
De forma general, tras la recepción y comprobación del estado clínico y sanitario de los animales, se realizó una osteotomía de tibia y peroné de forma idéntica y bilateral en todos los animales pero de forma no simultánea, interviniéndose en una primera fase la extremidad posterior derecha (EPD) y en una segunda fase, variable según la planificación del estudio descrita posteriormente, la extremidad posterior izquierda (EPI). El proceso de distracción se inició 5 días después de la cirugía y se continuó durante un período de 10 días, comenzando entonces el período de consolidación, cuya duración variaba dependiendo del grupo al que perteneciera el animal.

Los 12 animales utilizados en el presente estudio fueron agrupados según los diferentes tiempos de elongación y consolidación (t.e.c.) de cada una de las extremidades intervenidas, medidos en semanas, tal y como queda reflejado en la figura IV.5.

Además del estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM), y aunque no han sido incluidos en este trabajo, se realizaron estudios adicionales microangiográficos y microscópicos de fluorescencia. Por esta razón, las muestras obtenidas siguieron procesamientos laboratoriales diferentes dependiendo de la prueba a la que había sido asignada, como puede observarse en la figura IV.6.



**Figura IV.5.-** Distribución de los tiempos de elongación y consolidación (t.e.c.) en cada animal.



**Figura IV.6.-** Procesamiento laboral de las muestras según el estudio a realizar.

## **2.2.-ELECCION Y PREPARACION DEL PACIENTE**

Como ya se ha descrito anteriormente, el presente estudio se realizó en 12 perros Beagles, hembras, de entre 2 y 9 años de edad y entre 9 y 12 Kg. de peso. Dichos animales fueron obtenidos de un centro homologado para la cría y reproducción de animales de experimentación. A su llegada a nuestro centro, se comprobó el aspecto externo y peso, así como el estado de vacunación y desparasitación de cada uno de los animales por medio de la reseña que les acompañaba, y se puso al día en aquellos que lo requirieron (DRONTAL PLUS®, Bayer). El período de preparación de estos animales constó de un mínimo de dos semanas, durante las cuales los pacientes fueron habituados a su nueva ubicación, a los cuidadores y al sistema de control clínico que se realizaría a lo largo de todo el estudio. Asimismo, durante este período prequirúrgico, y con objeto de comprobar el estado de salud, se realizaron exámenes clínicos exhaustivos y análisis hematológicos y bioquímicos de todos los animales (Glucosa, urea, creatinina, ALT, AP, proteínas totales séricas y proteinograma). En aquellos que presentaron alguna alteración sanguínea o síntoma clínico de enfermedad se realizaron análisis serológicos (*Leishmania infantum*) y exploraciones clínicas específicas para los signos detectados, instaurándose el tratamiento más adecuado.

Durante todo el procedimiento experimental, los animales permanecieron en el animalario perteneciente al Servicio de Granjas y Campos Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Las perras fueron distribuidas por parejas, ocupando cada una de ellas un habitáculo que constaba de una caseta con calefacción y una terraza de aproximadamente 3m<sup>2</sup> que permitía una zona de paseo y el contacto visual y auditivo entre todos los animales. Una vez al día se daba un paseo externo a los animales y se realizaba la limpieza de los habitáculos y la administración de pienso preparado comercialmente (EUKANUBA® The Iams Company). La administración de agua era “ad libitum”.

## **2.3.-METODO QUIRURGICO**

### **2.3.1.-Protocolo anestésico y analgésico**

Una vez obtenido el peso exacto del paciente, se procedió a su premedicación mediante la administración intramuscular de 0.05 mg/Kg de Maleato de Acepromacina (CALMO-NEOSAN®, Pfizer) y 0.4 mg/Kg de Morfina (CLORURO MORFICO 2%®, Braun) aproximadamente 15 minutos antes de la inducción anestésica. En este momento se administró a su vez un bolo intravenoso antibiótico de 22 mg/Kg de Cefalexina (VELOCEF®, Bristol-Myers Squibb) de forma que al inicio de la cirugía los niveles sanguíneos de antibiótico fueran adecuados. Una vez obtenida una correcta sedación del animal, se procedió a su inducción anestésica mediante la administración intravenosa de un bolo de Tiopental Sódico (PENTOTAL®, Braun) a dosis de 10 mg/kg, y tras la intubación endotraqueal se conectó mediante un circuito Magill al sistema de anestesia gaseosa. El mantenimiento anestésico durante todo el procedimiento quirúrgico se realizó mediante la administración del siguiente flujo de gases: Oxígeno, 200 ml/Kg/min y Halotano (FLUOTHANE®, AstraZeneca) al 1-1.5%. Como fluidoterapia, se administró de forma intravenosa una solución cristalóide de Ringer Lactato (Braun) a dosis de mantenimiento de 10 ml/Kg/h durante todo el procedimiento quirúrgico y recuperación anestésica. Al finalizar la cirugía, se repitió la administración intramuscular de Maleato de Acepromacina y Cloruro Mórfico, de forma que el paciente se despertara de una forma progresiva, tranquila y bajo el efecto analgésico.

Con relación a la analgesia perioperatoria, además de la sedación pre y postoperatoria, los animales fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos; Los pertenecientes al grupo 1 recibieron tres dosis de Meloxicam (METACAM®, Boehringer-Ingelheim): 0.2 mg/Kg IV antes de la cirugía, 0.1mg/Kg IV a las 24 horas y 0.1mg/Kg PO a las 48 horas de la primera inyección. A los animales asignados al segundo grupo se les colocó un parche de Fentanilo de 50µg/h (DUROGESIC®, Janssen-Cilag) antes de la cirugía y que fue retirado a las 72 horas.

### **2.3.2.-Protocolo quirúrgico**

Con el animal anestesiado, se procedió a la realización de una radiografía preoperatoria de la tibia en las proyecciones medio-lateral (ML) y postero-anterior (PA) que formaría parte del estudio radiológico que se llevaría a cabo de todo el proceso de elongación ósea. Seguidamente, se rasuró la extremidad a intervenir, desde la cadera hasta la zona metatarsiana, obteniéndose así márgenes amplios para la delimitación del campo quirúrgico, y se procedió al lavado profuso de la piel con una solución jabonosa de Clorhexidina al 4% (HIBISCRUB®, Astra-Zeneca). A continuación se vendó la zona distal de la extremidad para evitar la contaminación del campo quirúrgico con el pelo remanente de esa localización.

Una vez en quirófano, se colocó el animal en decúbito lateral, derecho o izquierdo dependiendo de la extremidad operada, de forma que quedara expuesta la cara medial de la tibia. Nuevamente se procedió a la preparación aséptica de la zona a intervenir, siguiendo el protocolo habitual, consistente en sucesivas aplicaciones de solución alcohólica yodada y alcohol 96° alternativamente para posteriormente delimitar el área quirúrgica mediante paños quirúrgicos estériles. En el extremo distal de la extremidad, previamente vendada, se colocó una venda autoadhesiva estéril para facilitar el manejo del miembro intervenido durante el procedimiento operatorio (Figura IV.7a).

La cirugía comenzó con la realización de un abordaje medial a la diáfisis de la tibia. Este abordaje es relativamente sencillo debido al escaso recubrimiento muscular de la tibia a este nivel, aunque hay que prestar especial atención a la rama craneal de la Vena Safena Medial que discurre oblicuamente a lo largo de la cara interna de la tibia (Figura IV.7b). Con objeto de facilitar la realización de la osteotomía y la colocación de las agujas-tornillo, así como de minimizar el desplazamiento óseo y la lesión de los tejidos blandos circundantes, se procedió primero a la colocación de las agujas y posteriormente a la realización de la osteotomía tibial. Primero se colocaron la primera y cuarta agujas, lo más alejadas posible de la osteotomía (Figura IV.7c), y posteriormente la segunda y tercera, con la mayor proximidad posible al corte, utilizándose el elongador como guía en éstas últimas para obtener un perfecto alineamiento entre todas ellas (Figura IV.7d). Durante la implantación de la aguja

número 1, había que tener en cuenta la conformación triangular de la metáfisis tibial proximal, haciendo necesario el desplazamiento caudal del punto de inserción para obtener una mayor superficie de contacto entre el hueso y el tornillo por una mayor separación entre corticales.

El modelo de aguja utilizado en este estudio se caracterizaba por la modificación en forma de tornillo de uno de sus extremos y la presencia de tres planos en el otro. La colocación de estas agujas-tornillo se realizó siguiendo un procedimiento semejante al de los tornillos de neutralización: brocado, medición del diámetro óseo, aterrajado de ambas corticales y roscado del tornillo. El tornillo presentaba un diámetro de rosca de 3.5mm y longitud variable dependiendo de la profundidad ósea en cada punto de colocación, y el vástago de la aguja un diámetro de 3mm.

Tras la colocación de las cuatro agujas paralelas entre ellas y formando un ángulo de 90° con el eje longitudinal del hueso, se procedió a la unión de todas ellas mediante el elongador uniplanar unilateral. Seguidamente, y siempre bajo continua irrigación con suero salino fisiológico estéril, se realizó la osteotomía de tibia y peroné mediante sierra oscilante, en un punto equidistante entre la segunda y tercera aguja (Figura IV.7e). Dado que el mismo corte realizado por la hoja de la sierra formaba una separación entre los fragmentos óseos de alrededor de 1 mm (grosor de la hoja), fue necesario aproximar los segmentos proximal y distal hasta que entrasen en contacto. Esto se realizó mediante el accionamiento del mecanismo del elongador pero en el sentido opuesto, es decir, acortando el hueso.

Una vez colocado definitivamente el elongador, se comprobó tanto la correcta alineación de los segmentos óseos y las agujas como la estabilidad de toda la construcción. Asimismo, se verificó la existencia de una separación suficiente entre la piel y el fijador para evitar que, durante la fase inflamatoria postoperatoria, la piel se incrustara en el elongador pudiendo ocasionar algún tipo de molestias al animal que alteraran el estudio, y se irrigó profusamente todo el área intervenida con suero fisiológico. A continuación se cerraron los planos subcutáneos con un patrón de sutura continuo y material reabsorbible de 2/0 (VICRYL®, Johnson & Johnson Intl.), intentando cubrir la zona osteotomizada con tejido muscular, y la piel con puntos simples discontinuos de un material no reabsorbible de 2/0 (DAFILON®, Braun). En

caso necesario, se realizaron incisiones cutáneas de relajación a nivel de aquellas agujas cuya posición no coincidía con la incisión cutánea del abordaje quirúrgico realizado (Figura IV.7f).

Durante todo el acto quirúrgico, las constantes fisiológicas de los animales fueron monitorizadas de forma continua y registradas cada 10 minutos, y se colocó una manta eléctrica debajo del paciente y una aislante por encima para evitar la pérdida excesiva de temperatura corporal. Una vez concluida la intervención, se tomó una radiografía ML y PA de la extremidad operada, comprobándose la adecuada colocación de los implantes y la realización correcta de la osteotomía. A continuación se cortaron los extremos sobrantes de las agujas con una cizalla y se cubrió el elongador con gasas y vendas con objeto de evitar tanto que el animal se hiriera como que se dañara el elongador.

### **2.3.3.-Tratamiento postoperatorio**

Como ya se ha mencionado anteriormente, al finalizar la cirugía se administró a los pacientes una dosis intramuscular de 0.05 mg/Kg de Maleato de Acepromacina y 0.4 mg/Kg de Morfina y se trasladaron a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del Hospital Clínico Veterinario de la UAB, donde se inició una antibioterapia preventiva a base de Cefalexina (22mg/Kg BID 10 días). Allí permanecieron los tres primeros días tras la intervención quirúrgica con el fin de limitar sus movimientos, realizar los controles clínicos y curas de la extremidad operada y facilitar la administración de analgésicos.

Tras este período, los animales fueron trasladados a sus habitáculos en el Servicio de Granjas y Campos Experimentales de la UAB, donde permanecían un tiempo variable según el calendario del estudio. Hasta la retirada de los puntos de la piel, a los 10 días de la cirugía, se realizaban dos o tres veces al día controles clínicos y curas de las heridas mediante gasas impregnadas en una solución de Clorhexidina.

## **2.4.- METODO DE ELONGACION**

El protocolo de elongación aplicado en el estudio que aquí se describe, comenzó por un período de latencia de 5 días, iniciándose la distracción el sexto día tras la intervención quirúrgica. Este proceso se llevó a cabo a una velocidad de 1mm diario y a un ritmo de distracción de 2 elongaciones al día (0.5mm/12h) durante 10 días, con el fin de obtener una elongación teórica final de 10mm.

En cada una de las dos fases diarias de elongación, se giraba la pieza del elongador anteriormente descrita, 180° en sentido contrario a las agujas del reloj, obteniéndose así una elongación de 0.5mm (Figura IV.8). Era de gran importancia valorar la reacción del animal durante este proceso ya que, al no ser un procedimiento doloroso, la manifestación de un malestar severo podía significar que no se había realizado correctamente la osteotomía de tibia o peroné o que se había producido una consolidación prematura de la fractura. Asimismo, resultaba de gran ayuda para la detección temprana de complicaciones la comprobación visual de la separación y el paralelismo entre las agujas, así como del desplazamiento de un cilindro conector respecto al otro.

La elongación cesó a los 10 días, momento en que comenzó el período de consolidación del callo de distracción. Para ello, el elongador se mantuvo como fijador externo estático o se sustituyó por un fijador externo de tipo I, reemplazándose el elongador por una barra conectora de 4 mm de diámetro (Figura IV.9). Este período de consolidación presentó una duración variable, dependiendo del estado de calcificación requerido y de la programación del estudio.

Una vez alcanzado el grado evolutivo deseado del callo de distracción, se procedió a la eutanasia de los animales, ya que era necesaria la recuperación del hueso elongado para el desarrollo del estudio. En este momento, los animales fueron sedados con una mezcla intravenosa de 5µg/Kg de Medetomidina (DOMTOR®, Pfizer ) y 10µg/Kg de Buprenorfina (BUPREX®, Schering-Plough). A continuación, se administró una dosis de 300U/Kg IV de Heparina Sódica con el fin de heparinizar la sangre para la posterior inyección de Bario intravenoso, y se realizó el último control

radiográfico de ambas extremidades. Posteriormente, se administró una sobredosis anestésica mediante la inyección intravenosa de una dosis letal de Tiopental Sódico.

## 2.5.- METODO DE VALORACION CLINICA

Durante los tres primeros días tras la cirugía, en que los animales permanecían en la UCI, se realizaron valoraciones frecuentes de los pacientes, con objeto de detectar prematuramente cualquier signo de dolor y administrar la analgesia necesaria en cada caso, a pesar de que ya se aplicaba un protocolo analgésico durante las primeras 72 horas. Una vez trasladados al Servicio de Granjas, se procedió de la forma que a continuación se describe.

La valoración clínica de los animales se llevó a cabo dos veces al día durante el período de elongación y una vez al día tras el cese de la distracción ósea, siendo realizada por personal veterinario entrenado en el uso del sistema utilizado. Para ello, diseñamos nuestro propio protocolo de exploración clínica, reflejado en las hojas de control semanal que fueron completadas en cada observación (Figura IV.10). En estos controles se valoró por una parte el bienestar de los animales, mediante parámetros fisiológicos y de comportamiento, y por otra parte la recuperación funcional de la extremidad intervenida, según el tiempo y grado de apoyo de dicho miembro.

SEMANA ( 1ª ) .....		GRUPO .....		PERRO .....		PESO .....	
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
↓Peso							
E. herida							
Actividad							
Aspecto							
↓Apetito							
Alt. heces							
Vocaliz.							
Agnes.							
Sign. Fisiol.							
Reac. local							
Punt.							
Antibiot.							
Otros							
G. cojera							
Rx							

Figura IV.10: Hoja de seguimiento semanal de los animales del estudio

### 2.5.1.-Valoración del bienestar animal

En cada uno de los controles realizados, se valoraron 10 parámetros cuya presentación se encontraba escalada según el grado de alteración que mostraba el animal en cada uno de ellos. A cada grado de alteración se le asignó un valor numérico de 0 a 3, excepto en los valores fisiológicos que variaba de 0 a 4, siendo 0 la no alteración del parámetro observado y 3 (ó 4) la alteración máxima (Tabla IV.1).

PARAMETRO VALORADO	ESCALA	VALOR
<b>Actividad</b>	Normal	0
	Menor	1
	Nula, sí reacciona a estímulos externos	2
	Nula, no reacciona a estímulos externos	3
<b>Pérdida de peso:</b>	No hay	0
	< 10%	1
	10-20%	2
	>20%	3
<b>Apetito</b>	Come y bebe	0
	Come menos y bebe	1
	No come y bebe	2
	No come y no bebe	3
<b>Heces</b>	Normales	0
	Sin forma	1
	Diarrea	2
	Líquidas	3
<b>Aspecto pelaje / secreciones / postura antiálgida</b>	Ninguna de ellas	0
	Alterada 1 de ellas	1
	Alteradas 2 de ellas	2
	Alteradas 3 de ellas	3
<b>Vocalizaciones</b>	No	0
	Sí	3
<b>Agresividad</b>	No	0
	Rehuye el contacto	1
	Agresivo al contacto	2
	Agresivo sin contacto	3
<b>Signos fisiológicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taquicardia y taquipnea</li> <li>▪ Jadeo y salivación</li> <li>▪ Midriasis</li> <li>▪ Alteración de la temperatura</li> </ul>	Ninguna alteración	0
	Alterado 1 de ellos	1
	Alterados 2 de ellos	2
	Alterados 3 de ellos	3

	Alterados 4 de ellos	4
<b>Reactividad local</b>	Ninguna	0
	Dolor leve a la manipulación	1
	Dolor severo a la manipulación	2
	Se lame o muerde	3
<b>Estado de la herida</b>	Normal	0
	Supura ligeramente	1
	Supura y falta algún punto	2
	Dehiscencia sutura	3

**Tabla IV.1.-** Escala de valoración del dolor diseñada para este estudio

Una vez asignado un valor numérico a cada parámetro, se obtuvo la Puntuación Total (PT) como suma de todos ellos. Esta puntuación global teóricamente se correspondía con el grado de dolor que los animales podían estar padeciendo, y nos permitió instaurar el tratamiento adecuado en cada momento y para cada uno de los animales:

-PT de 0 a 8 (Normal): Ausencia de necesidad de medidas adicionales.

-PT de 9 a 16 (Posible sufrimiento): Planteamiento de la administración adicional de analgésicos.

-PT de 17 a 24 (Sufrimiento moderado): Administración de analgésicos y planteamiento de una posible eutanasia del animal.

-PT de 25 a 31 (Sufrimiento intenso): Eutanasia del animal.

### **2.5.2.-Valoración de la recuperación funcional de la extremidad**

El control de la funcionalidad de la extremidad intervenida quirúrgicamente se realizó mediante la observación del grado de cojera que presentaba el animal en dicho miembro durante la marcha. Esta valoración se llevó a cabo al principio de cada control clínico con el fin de evitar que cualquier manipulación del animal pudiera interferir o alterar la correcta valoración de la cojera. Puesto que el uso de la extremidad podía variar dependiendo del nivel de marcha del perro, las observaciones fueron realizadas siempre con el animal al trote y con correa. El grado de cojera observado por el cuidador fue clasificado en cinco grados, tal y como describieron Forell y Schwarz (1993), siendo el grado 0 una marcha clínicamente normal y el grado 5 la cojera máxima (Tabla IV.2)

<b>GRADO DE COJERA</b>	<b>SIGNOS CLINICOS</b>
• <b>Grado 0</b>	Clínicamente normal
• <b>Grado I</b>	Ligera cojera sólo visible tras el ejercicio
• <b>Grado II</b>	Ligera cojera visible sin ejercicio
• <b>Grado III</b>	Cojera moderada con apoyo
• <b>Grado IV</b>	Cojera severa con apoyo intermitente
• <b>Grado V</b>	Cojera sin apoyo

**Tabla IV.2.-** Escala de valoración del grado de cojera. Forell y Schwarz (1993)

Además de la simple observación, se realizaban grabaciones de la marcha de los animales cada dos semanas. Este hecho permitía obtener registros de la evolución de la funcionalidad de la extremidad intervenida que pudieran ser revisualizados en cualquier momento.

## **2.6.-METODO DE VALORACION RADIOLOGICA**

Los controles radiológicos realizados consistieron en la toma de radiografías de la tibia operada cada 2 semanas, en las proyecciones mediolateral (ML) y posteroanterior (PA). La proyección ML se tomó ligeramente oblicua para permitir la correcta visualización del callo de distracción, que de otra forma aparecería solapado con el elongador. Además de los controles radiológicos quincenales, se realizaron radiografías preoperatorias y postoperatorias. Las primeras permitían descartar la presencia de alguna patología ósea, además de visualizar el tamaño de la tibia para la inmediata cirugía, mientras que las segundas permitían comprobar la morfología y localización de la osteotomía realizada y la correcta colocación de las agujas.

Con objeto de facilitar la visualización radiológica de todo el proceso de elongación, las radiografías fueron realizadas con una película y un chasis de mamografía ya que aportaban una mayor definición y mejor contraste que la imagen obtenida con las películas radiográficas estándar. Para evitar el aumento de la intensidad que requiere este tipo de películas, nuestras radiografías fueron tomadas colocando el chasis sobre la mesa del aparato de radiología, utilizando unos valores de intensidad de 5mAs y de kilovoltaje de 48 y 50Kv en las proyecciones ML y PA respectivamente

(Figura IV.11). Con objeto de estandarizar las imágenes radiográficas realizadas, se establecieron las articulaciones de la rodilla y del tarso como los límites anatómicos a los que se colimaba el haz de rayos X (Figura IV.12).

Con excepción de las radiografías pre y postoperatorias, que fueron tomadas con los animales bajo anestesia general, el resto de controles radiológicos fueron realizados con las perras despiertas ya que se trataba de animales tranquilos y buenos colaboradores con el cuidador.

La valoración radiológica del hueso sometido a distracción se centraba en diferentes aspectos:

### **2.6.1.-Alineación de los segmentos óseos**

Se valoró la correcta alineación interfragmentaria y el grado de desplazamiento oblicuo de un fragmento óseo respecto al otro, tanto en el plano mediolateral como en el posteroanterior.

### **2.6.2.-Comparación de la elongación teórica con la elongación real**

Se comparó la elongación real obtenida con la elongación que teóricamente se debía obtener. En nuestro estudio, puesto que el ritmo de distracción era de 1mm diario durante 10 días, la elongación ósea teórica era de 10mm en todos los animales, excepto aquellos con un período de supervivencia de 1 semana, en los que únicamente se había realizado la distracción durante 2 días. Para medir la elongación real sobre la radiografía, se tomó la medida existente entre un punto en el centro de la cavidad medular a nivel de la superficie de corte del fragmento proximal, y el mismo punto pero en la superficie osteotomizada del fragmento distal. Esta distancia se midió en mm.

### **2.6.3.-Tiempo de aparición de las microcolumnas de tejido calcificado y de la Zona Central de Crecimiento**

El momento de aparición de las microcolumnas de tejido calcificado se consideró aquel control radiográfico en que podía apreciarse por primera vez tejido

osificado en el espacio interfragmentario, orientado paralelamente al eje de distracción y correspondiente al callo de distracción. El tiempo de aparición de la Zona Central de Crecimiento (ZCC) se consideró aquel control en que podía apreciarse claramente una línea radiolúcida central de entre 2 y 3mm de espesor y perpendicular al eje de distracción.

#### **2.6.4.-Progresión de la calcificación y tiempo de consolidación del callo de distracción**

El tiempo de consolidación del callo de elongación es un factor de gran importancia en la elongación ósea, ya que supone el éxito y el cumplimiento del principal objetivo del procedimiento realizado. El momento de este hecho se consideró aquel control radiográfico en el que podía observarse una continuidad radiológica de al menos tres de las cuatro corticales óseas.

#### **2.6.5.-Grado de reacción perióstica**

Se estudió el grado de reacción perióstica en dos localizaciones, alrededor de las agujas transfixiantes y a nivel de la osteotomía en las corticales originales distal y proximal de los fragmentos proximal y distal, respectivamente.

Para cuantificarlo, se utilizó el sistema descrito por Franch en 1994 en el que se comparaba el grosor de dicha reacción con el espesor de las corticales originales a ese nivel, eliminando de esta forma la variabilidad de tamaño entre los individuos utilizados en el estudio. Se establecieron tres grados de reactividad perióstica, pudiéndose asignar graduaciones intermedias si las mediciones así lo requerían:

-Grado 0: No existe reacción perióstica.

-Grado 1: El grosor de la reacción perióstica es igual al espesor de la cortical ósea adyacente.

-Grado 2: El grosor de la reacción perióstica es doble al espesor de la cortical ósea adyacente.

### **2.6.6.-Presencia de signos radiológicos de complicaciones**

En cada uno de estos controles radiográficos realizados a lo largo de todo el estudio se valoró también la presencia de signos radiológicos compatibles con patologías propias de toda cirugía ortopédica. Los problemas encontrados se clasificaron siguiendo la nomenclatura descrita por Paley en 1990 en:

- **Problema:** Se consideraron aquellos que tenían lugar durante los períodos de distracción o fijación, y que eran resueltos por medios no quirúrgicos antes de la finalización del procedimiento que se resolvían. Podían considerarse de este grupo las cojeras resueltas mediante la administración de antiinflamatorios o antibióticos.
- **Obstáculo:** Se calificó aquel suceso que aparecía durante las fases de distracción o consolidación óseas, y que se resolvía mediante métodos operatorios. Un ejemplo de obstáculo es la rotura de alguna aguja transfixiante que requiere su retirada y colocación de una nueva.
- **Complicación:** Incluyó cualquier complicación local o sistémica, intra o perioperatoria, cualquier dificultad durante las fases de distracción y fijación que permanecía sin resolverse al finalizar el procedimiento. Puede considerarse una complicación la desviación axial de la elongación.

### **2.7.- METODO DE INYECCION VASCULAR**

La inyección vascular de Sulfato de Bario se realizó siguiendo la técnica descrita por Rhinelander *et al.* (1979) (Franch *et al.*, 1998b), pero en nuestro caso se llevó a cabo a nivel de los grandes vasos abdominales, y no a nivel de los vasos femorales tal y como él describe. Nuestra variante permitió la inyección simultánea e idéntica de ambas extremidades posteriores, minimizando así el tiempo transcurrido entre el sacrificio y la inyección vascular.

### **2.7.1.-Método de inyección**

Los animales fueron heparinizados unos 5-10 minutos antes de su eutanasia, mediante la inyección intravenosa de 300U/Kg de Heparina, con objeto de evitar la formación de coágulos intravasculares que impidiesen una adecuada repleción vascular del contraste, con la posterior inyección vascular de Bario. Tras la inyección letal, se procedió al rasurado de la región ventral abdominal y se realizó un abordaje a dicha cavidad a través de la línea alba.

Una vez independizada una longitud de unos 5 cm de la Aorta Abdominal y la Vena Cava Caudal, cranealmente a su bifurcación en los vasos iliacos (Figura IV.13a), se colocó en cada uno de estos vasos tres ligaduras sin ajustar de seda trenzada del 0 (SILKAM®, Braun). Posteriormente, se ligó la más craneal y se mantuvo en tensión la ligadura caudal, dejando así un espacio exangüe suficientemente amplio entre ellas que permitiese la realización de una incisión en la pared vascular, sin la consiguiente hemorragia (Figura IV.13b). Se realizó una incisión biselada en la pared del vaso sanguíneo, entre las ligaduras craneal e intermedia, se introdujo un catéter en dirección caudal, alrededor del cual se ajustó la ligadura intermedia, y se relajó finalmente la ligadura más caudal. Este mismo procedimiento fue realizado en la Vena Cava Caudal.

A continuación, se procedió a la administración de una disolución al 30% de Sulfato de Bario en Suero Salino Fisiológico a través del catéter situado en el vaso arterial. Esta inyección se realizó mediante presión manual, y se mantuvo hasta que la solución de Bario fluyó a través del catéter venoso (Figura IV.13c). En este momento, la solución inyectada fue sustituida por una disolución al 30% de Sulfato de Bario en Formaldehído Tamponado al 10%. Una vez que esta última solución comenzó a fluir a través de la cánula venosa, hecho que se constató por el característico olor a formol fácilmente detectable, se detuvo la inyección. Seguidamente, y simultáneamente a la retirada de ambas cánulas mediante la sección de la ligadura intermedia que las fijaba, se ligó la sutura caudal para evitar la pérdida del contraste de Bario inyectado intravascularmente.

Tras el cierre de la cavidad abdominal, se comprobó radiográficamente la correcta repleción vascular con Bario (Figura IV.13d), y se colocó un fuerte torniquete

metálico en la zona más proximal de cada una de las extremidades inyectadas para evitar la pérdida del contraste por la manipulación posterior de dichos miembros. Finalmente, se procedió a la amputación de ambas extremidades posteriores mediante desarticulación coxofemoral, prestando especial atención a la incisión de los tejidos blandos que debía ser lo más proximal posible para evitar el desprendimiento de dicho torniquete.

### **2.7.2.-Método de procesamiento laboratorial**

Una vez recuperadas las extremidades, se sumergieron durante 24 horas en una mezcla de Alcohol 95° y Formaldehído Tamponado al 10% en proporción 2:1. Tras estas primeras 24 horas, se retiró la piel de toda la extremidad y se sumergieron de nuevo en la misma mezcla durante un período de 24 a 48 horas. Tras este tiempo, la mezcla alcohólica fue sustituida por una única solución de Formaldehído Tamponado al 10%, en la cual permanecieron durante 5 ó 6 días. Posteriormente, se individualizó la región tibial mediante desarticulación a nivel de la rodilla y el tarso, (Figura IV.14) y se sumergieron en una solución de Formaldehído Tamponado al 10% durante un período de 2 ó 3 días para posteriormente ser congeladas.

Cuando las muestras estuvieron suficientemente congeladas, en aquellas que todavía presentaban el elongador, éste fue sustituido por un fijador externo para evitar el riesgo de que se produjera un colapso del callo de distracción causado por la tensión ejercida por los tejidos blandos (Figura IV.15). Adicionalmente, la rigidez obtenida por la congelación de los tejidos blandos facilitaba tanto el corte de las muestras como la sujeción de los fragmentos óseos, especialmente en aquellas muestras en que el callo de elongación estaba insuficientemente consolidado.

El corte de cada muestra se llevó a cabo mediante una sierra de banda de filo de diamante, característica que le permitía cortar materiales de gran dureza como el hueso o el metal. Tras eliminar los extremos proximal y distal del hueso, con objeto de delimitar el área de interés (Figura IV.16), se realizaron cortes longitudinales de unos 2 mm de grosor en el plano antero-posterior, utilizándose el fijador externo situado en la cara medial como punto de sujeción de las mordazas de la sierra. El desplazamiento de la muestra durante el corte se realizó de forma automática por medio de un sistema de

contrapesos, evitando así el riesgo que suponía desplazar manualmente dicha muestra. De cada pieza, se obtuvieron alrededor de 5 ó 6 láminas que contuvieran tejido óseo y que fueron etiquetadas conforme se fueron obteniendo de lateral a medial. Una vez adquiridas todas las láminas de una misma muestra, se fotografiaron individual y conjuntamente para evaluar de forma seriada la evolución del callo de distracción (Figura IV.17). Posteriormente, aproximadamente la mitad de las láminas obtenidas y de forma alternativa, fueron destinadas al estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión. El resto fueron designadas para la realización de otros estudios.

## **2.8.- METODO DE VALORACION MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE RETRODISPERSION (BS-SEM)**

Las láminas destinadas al estudio de la elongación ósea mediante microscopía electrónica de retrodispersión fueron procesadas según la técnica descrita por Donath (1988) para la preparación de muestras óseas sin decalcificar y que se describe a continuación (Franch *et al.*, 1988a).

### **2.8.1.-Método de procesamiento laboratorial**

- Las muestras fueron deshidratadas mediante baños en disoluciones crecientes de alcohol:
  - Baño 30% de alcohol en agua destilada durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 60% de alcohol en agua destilada durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 80% de alcohol en agua destilada durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 96% de alcohol en agua destilada durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 100% de alcohol durante 48 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 100% de Xilol durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 100% de Technovit 7200 durante 24 horas, en un recipiente opaco.
  - Baño 100% de Technovit 7200 durante 14 días, en un recipiente opaco.

- Se adhirió la lámina de muestra al suelo de un molde plástico con Technovit 7230, evitando la formación de burbujas de aire mediante presión uniforme.
- Una vez pegada, se rellenó el molde plástico con Technovit 7200 hasta cubrir completamente la muestra (Figura IV.18a).
- Se polimerizó el plástico mediante la colocación del molde con la lámina en un polimerizador de luz. Tras una exposición a luz blanca de 2 horas (fotopolimerización rápida) y a luz azul de 6 horas (fotopolimerización lenta) (Figura IV.18b), el plástico se endureció permitiendo separar el bloque de la muestra del molde (Figura IV.18c).
- La cara sin interés del bloque plástico fue pegada a un portaobjetos de cristal mediante el pegamento obtenido de la mezcla de varios componentes del Technovit 4000 (2 Jarabe I : 1 Jarabe II + polvo) (Figura IV.18dye).
- Con objeto de conseguir una correcta adhesión, fue necesario aplicar presión uniforme entre ambas estructuras mediante un sistema de bomba de vacío.
- El montaje porta-muestra fue colocado en el soporte de la micropulidora y sujetado mediante un sistema de vacío. Utilizando papel de lija de grano cada vez más fino, y mediante un sistema de movimiento circular, se fue puliendo el bloque plástico hasta que aflorase la muestra a la superficie.
- Una vez visible la porción de muestra de nuestro interés, se procedió al pulido a espejo, que se realizó con el papel de lija de grano más fino. El reducido tamaño del grano de lija de este último pulido minimizaba los artefactos por pulido que pudieran interferir con el estudio mediante microscopio electrónico de retrodispersión (Figura IV.18f).
- Una vez pulidas a espejo, se introdujeron en una estufa a unos 37°C durante 12 horas para eliminar cualquier resto de humedad que quedase remanente. Seguidamente se retiró el portaobjetos y se colocó un sistema de anclaje con plata coloidal. Resultaba de gran importancia que dicha plata coloidal entrara en

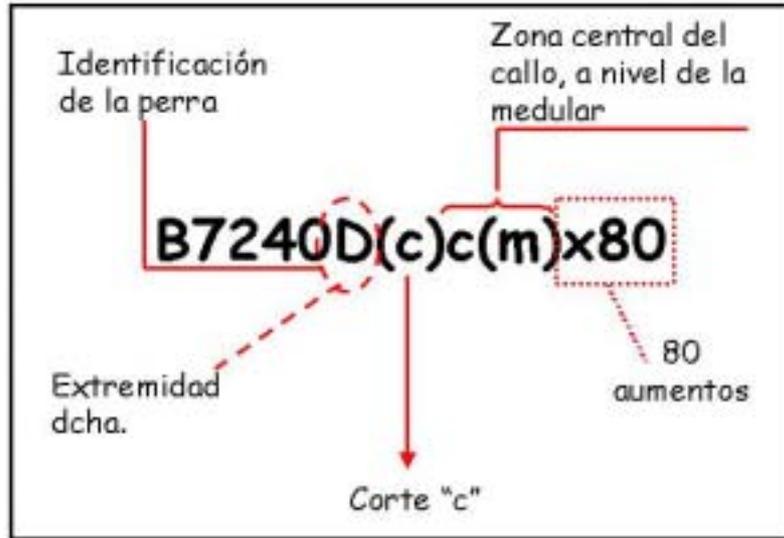
contacto con la lámina ósea, y no sólo con el bloque plástico, para conductivizarla adecuadamente y obtener unas imágenes de mejor calidad. Posteriormente, se recubrió la superficie pulida con carbono. De esta forma, las muestras estaban preparadas para visualizarlas al microscopio electrónico de retrodispersión.

### **2.8.2.-Método de estudio mediante microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM)**

Tal y como hemos comentado en el apartado de “Revisión bibliográfica”, durante el estudio mediante microscopía electrónica de barrido hacíamos uso únicamente de la sonda de lectura de electrones retrodifundidos. A pesar de que el término estrictamente correcto que denominaría esta técnica sería el de microscopía electrónica de barrido (SEM) con sonda de lectura de electrones retrodifundidos, para facilitar la nomenclatura lo denominaremos microscopía electrónica de retrodispersión (BS-SEM).

Tras colocar la muestra dentro de la cámara del microscopio y ajustarla adecuadamente en el soporte, se realizó el vacío del aire en dicha cavidad. A continuación, se centró y ajustó la intensidad del filamento emisor de electrones y se enfocó el sistema de lentes del microscopio. Mediante diferentes comandos situados en la mesa de control, fue posible localizar las zonas de interés de la muestra así como graduar los aumentos, el brillo o el contraste de las imágenes obtenidas y visualizarlas en los monitores. Con objeto de mantener una uniformidad en la captación de las imágenes, las muestras fueron siempre orientadas de la misma forma, se aplicaron los mismos aumentos y se utilizaron valores idénticos de potencia (20 Kv) e intensidad (1nAm). Disminuyendo la velocidad de lectura de los electrones emitidos por la muestra se obtenían imágenes con una mayor definición, razón por la que se utilizaron velocidades bajas en el momento de grabación de las imágenes. El sistema utilizado para guardar las imágenes visualizadas en las pantallas del microscopio, consistía en un programa informático que captaba dichas imágenes y las almacenaba en formato TIFF.

La nomenclatura aplicada a las imágenes permitió que, simplemente con el nombre, se supiera a qué perra, extremidad y corte pertenecía, así como la zona de la muestra a la que correspondía y los aumentos a los que había sido tomada (Figura IV.19). Posteriormente, y para facilitar la lectura del trabajo, la numeración identificativa propia de cada animal fue sustituida por una enumeración simple (Tabla IV.3).

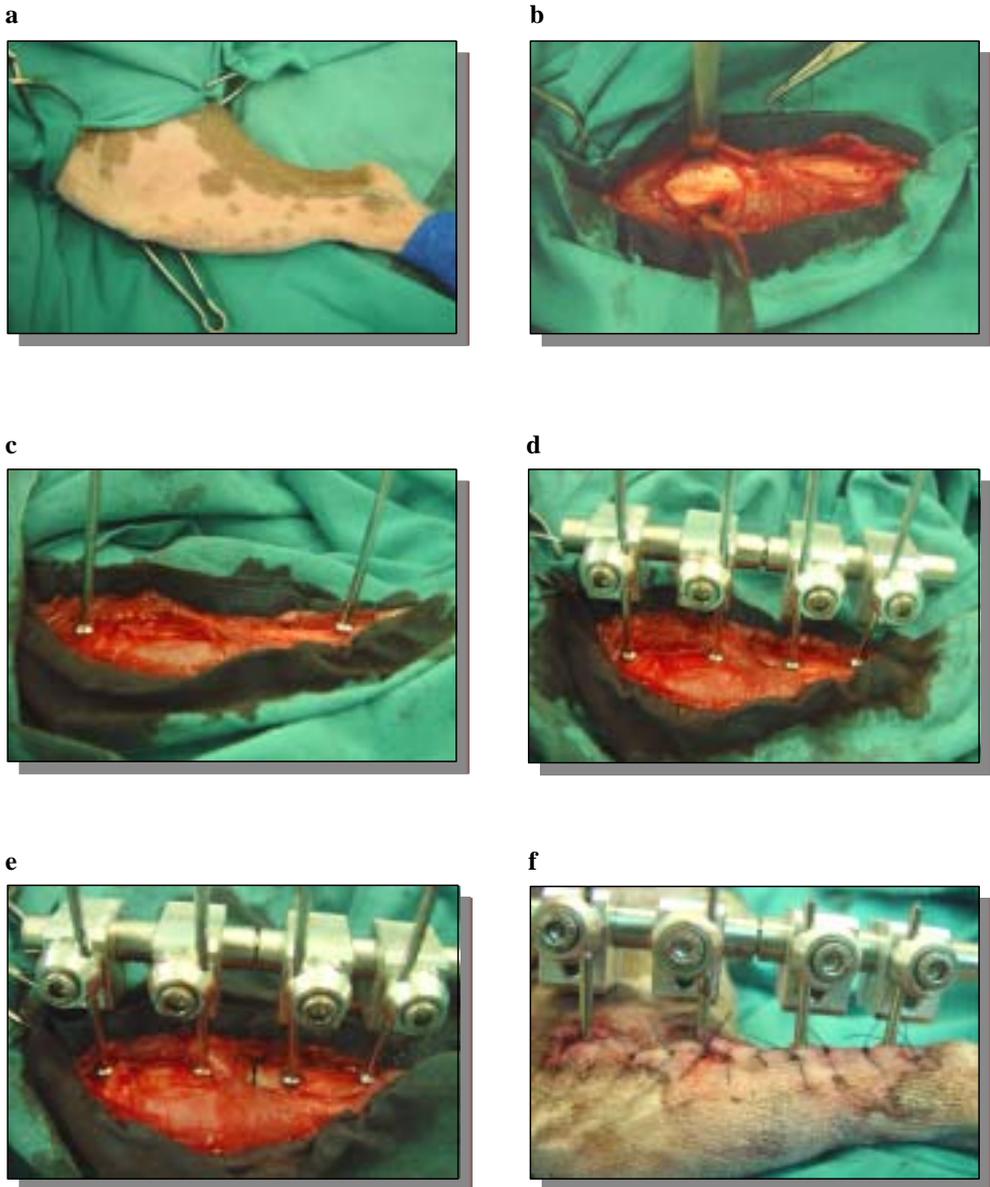


**Figura IV.19:** Ejemplo de identificación de las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de retrodispersión.

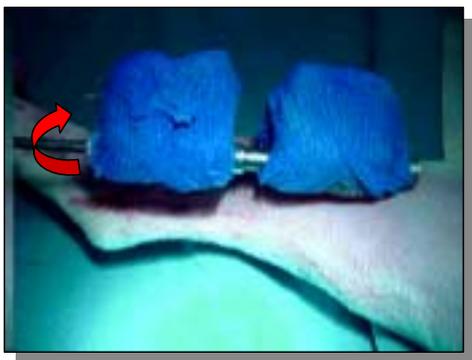
IDENTIFICACION ANIMAL	NUMERACION ASIGNADA	IDENTIFICACION ANIMAL	NUMERACION ASIGNADA
B-7636	Nº 1	B-7722	Nº 7
B-7554	Nº 2	B-7638	Nº 8
B-6710	Nº 3	B-7462	Nº 9
B-7662	Nº 4	B-7368	Nº 10
B-7654	Nº 5	B-7240	Nº 11
B-7188	Nº 6	B-7598	Nº 12

**Tabla IV.3.-** Correspondencia de la identificación propia de cada animal con la nomenclatura asignada durante el estudio.

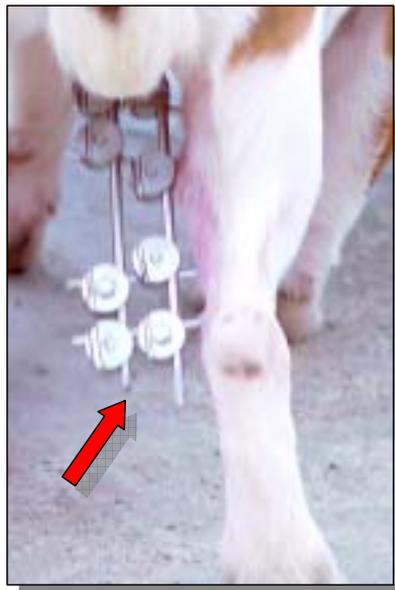
2.9.- ANEXO II-FOTOS



**Figura IV. 7 a-f:** Protocolo quirúrgico. (a) Preparación aséptica del campo quirúrgico, (b) abordaje medial a la tibia, (c) colocación de la 1ª y 4ª agujas mediante brocado y aterrajado de la rosca, (d) colocación de la 2ª y 3ª agujas utilizando el elongador como guía, (e) realización de la osteotomía mediante una sierra oscilante, (f) cierre habitual de las capas.



**Figura IV. 8:** Giro de 180° del mecanismo distractor con una llave Allen del número 4 (flecha).



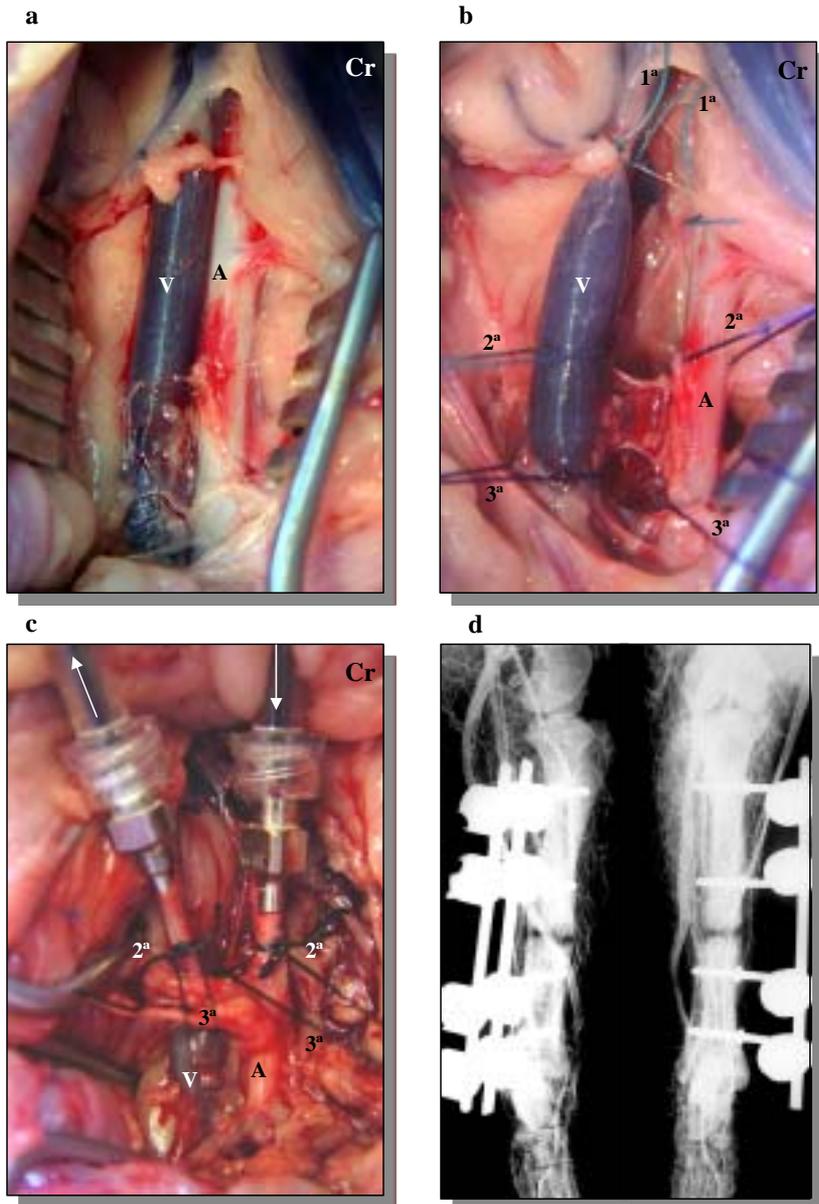
**Figura IV. 9:** Sustitución del elongador por un fijador externo tipo I de Meinard (flecha).

**Figura IV. 11:** Colocación de la película y el chasis de mamografía sobre la mesa para la realización del estudio radiológico del proceso de elongación ósea.



**Figura IV. 12:** RX ML y PA del animal N° 9-EPD. Límites anatómicos tomados para la realización de radiografías de la tibia elongada. La rodilla y el tarso (elipse) deben verse por completo en la imagen radiológica.



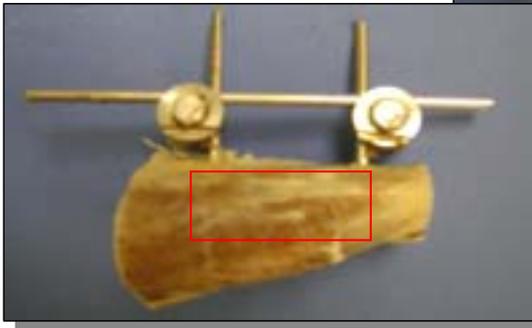


**Figura IV. 13 a-d:** Método de inyección vascular de Sulfato de Bario. **(a)** Visualización de la Vena Cava Caudal (V) y de la Aorta Abdominal (A); **(b)** colocación de las suturas craneales (1ª), intermedias (2ª) y caudales (3ª), y ligadura de las craneales; **(c)** incisión biselada de los vasos e introducción de las cánulas. La sutura intermedia es ajustada alrededor del catéter y se inyecta el contraste baritado a través de la cánula de la arteria hasta que salga por la venosa (flechas). **(d)** Rx ML y PA de la extremidad tras la inyección intravenosa de Sulfato de Bario.



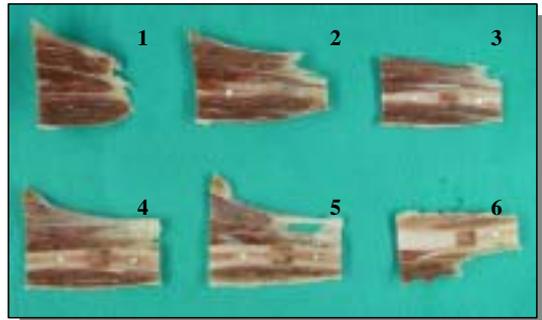
**Figura IV. 14:** Fijación de la extremidad elongada en formaldehído tamponado al 10% y desarticulación a nivel de la rodilla y tarso.

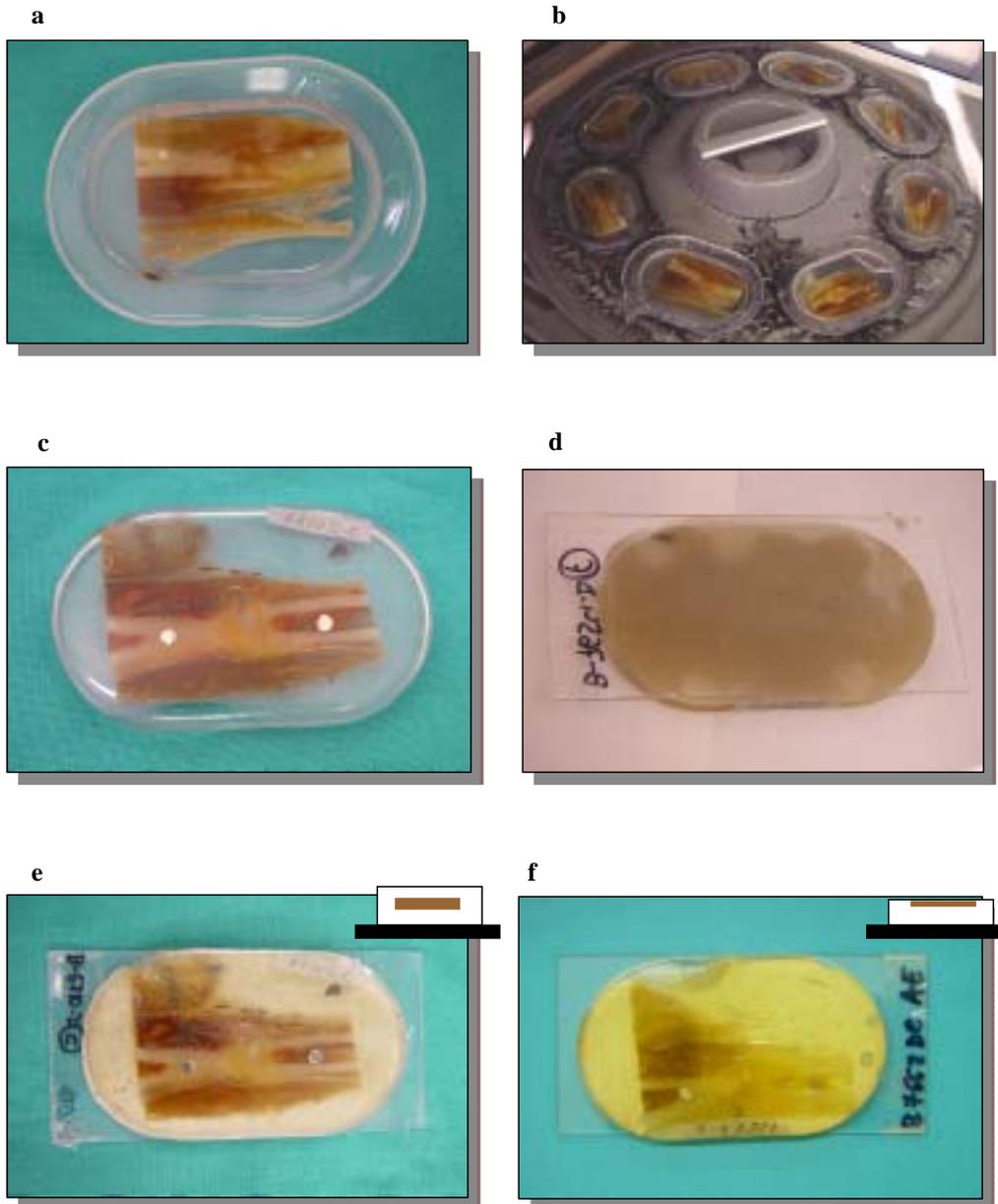
**Figura IV. 15:** Congelación de la región tibia y retirada del elongador.



**Figura IV. 16:** Corte de los extremos proximal y distal del hueso y delimitación del área de interés (rectángulo).

**Figura IV. 17:** Cortes longitudinales de la muestra de 2 mm de espesor, desde la cara lateral a la medial (1-6).





**Figura IV. 18 a-f:** Procesamiento de las muestras sin decalcificar. **(a)** Adhesión de la lámina a un molde plástico y relleno con metilmetacrilato, **(b)** fotopolimerización rápida y lenta, **(c)** formación del bloque endurecido con la muestra en su interior, **(d)** adhesión del bloque a un portaobjetos de cristal mediante un cemento especial, **(e)** obtención de la muestra preparada para ser pulida, **(f)** pulido a espejo de la superficie del bloque.

## **V.- RESULTADOS**

## **V.-RESULTADOS**

### **V.1.- RESULTADOS DE LA VALORACION CLINICA**

Los resultados clínicos obtenidos, se basan en los registros diarios anotados por los cuidadores en las “hojas de seguimiento”. (Figura IV.10). El método de valoración clínica de los animales del estudio incluía tanto la valoración del bienestar animal como la funcionalidad de la extremidad intervenida quirúrgicamente, y por consiguiente los resultados que se obtuvieron de dichas valoraciones incluían ambas categorías.

#### **1.1.- RESULTADOS DE LA VALORACION DEL BIENESTAR ANIMAL**

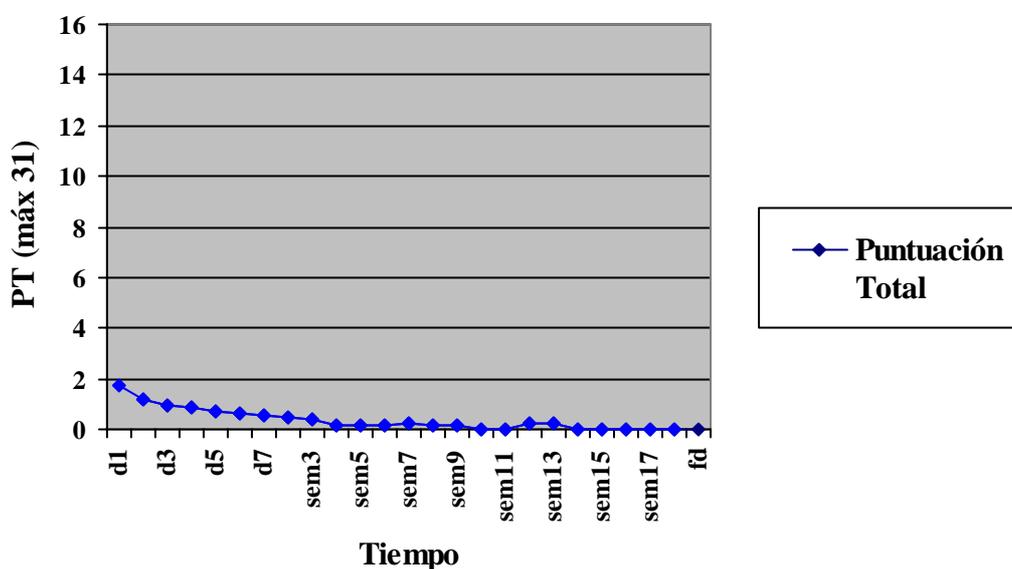
Inicialmente, esta valoración se realizó únicamente con objeto de establecer, de una forma relativamente objetiva, el grado de malestar que podían estar padeciendo los animales durante el desarrollo del estudio, para así poder instaurar el tratamiento analgésico más adecuado a cada uno de ellos, tal y como se ha descrito con anterioridad. Posteriormente, y a pesar de que no se realizó ningún estudio estadístico de los valores numéricos obtenidos para cada parámetro, se obtuvieron diversas observaciones de los parámetros fisiológicos y comportamentales relacionados con el estado de bienestar de los animales durante el estudio.

- Uno de los animales del estudio (Nº 4) presentó una elongación dolorosa, que posteriormente se comprobó que era debida a una realización incompleta de la osteotomía del peroné. Ninguno de los animales restantes mostró molestias durante el proceso de elongación, e incluso se puede destacar el hecho de que algunos individuos adquirían por sí mismos la postura requerida para llevar a cabo las curas y el giro del mecanismo elongador, no siendo necesaria una restricción mecánica.
- Ninguna de las perras presentó una Puntuación Total (PT) superior a 8 puntos, de forma que no fue necesaria la administración de analgesia de rescate.

- No se observó ningún animal, ni en el período postoperatorio inmediato ni durante el resto del estudio, que mostrara agresividad hacia los cuidadores o que emitiera vocalizaciones relacionadas con dolor.

A continuación se muestran los valores medios de la puntuación total obtenidos diariamente durante la primera semana, y semanalmente hasta el final del estudio (Gráfica V.1). La tabla con los valores medios y de desviación estándar de la puntuación total registrados durante el estudio se muestra en el apartado V.4.- Anexo (Tabla V.1).

### **Evolución temporal de Puntuación Total (PT)**



**Gráfica V.1:** Evolución de la puntuación total (PT) obtenida a lo largo del estudio.

## **1.2.- RESULTADOS DE LA VALORACION DE LA FUNCIONALIDAD DE LA EXTREMIDAD**

Tal y como se ha descrito en el apartado de “Material y Métodos”, la funcionalidad de la extremidad elongada se valoraba mediante la observación y asignación de un valor numérico al grado de cojera de dicha extremidad.

Tras la recuperación anestésica de la cirugía, los animales comenzaban a apoyar la extremidad intervenida dentro de las primeras 24 horas postoperatorias (Figura V.1), y llegaban a incorporarse con las extremidades posteriores a los 2 días de la cirugía (animales N° 4-EPI, 7-EPDeI, 8-EPD, 10-EPI, 11-EPI y 12-EPD) (Figura V.2). Se registró un apoyo constante de la extremidad durante todo el proceso de distracción y

una recuperación excelente al final de dicha fase en gran parte de los animales del estudio (Figura V.3).

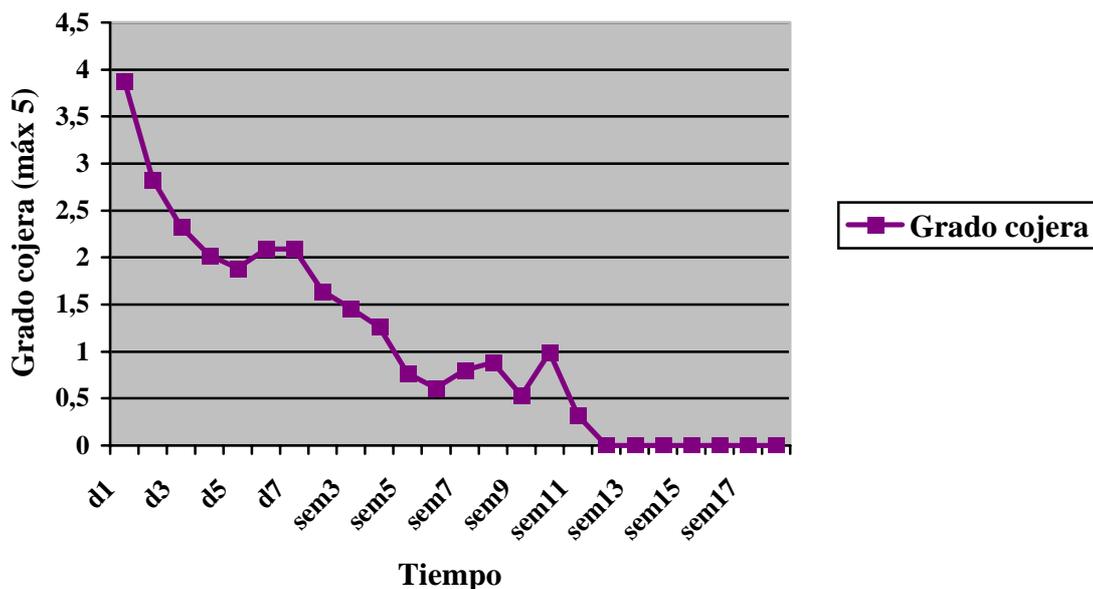
Durante el período postoperatorio, algunos animales mostraron esporádicamente un empeoramiento del grado de cojera, que por lo general remitía a las 24 ó 48 horas. Estos casos se atribuyeron a pequeños traumatismos sobre el elongador y que se transmitían al hueso a través de las agujas transfixiantes. Si esta cojera no remitía espontáneamente en dicho período, se realizaban radiografías de la extremidad con el fin de descartar complicaciones en el proceso de elongación, tales como fracturas óseas, rotura de los implantes o infecciones, entre otras. Si la exploración radiológica no evidenciaba un proceso grave, se administraba un antiinflamatorio no esteroideo (Meloxicam: 0.1mg/Kg SID PO, 4 ó 5 días) o un antibiótico (i.e.: Cefalexina: 22mg/Kg BID PO, 1 semana), dependiendo de si se sospechaba de un traumatismo óseo mayor o infección del trayecto de las agujas, respectivamente. A continuación, únicamente se reflejan aquellos animales que necesitaron la administración de antiinflamatorios o antibióticos para la resolución de la cojera:

- **Perra N° 1:** Presentó una cojera moderada con apoyo de la EPD a los 24 días de la cirugía. Ante la presencia de una secreción seromucosa en el interfase piel-aguja y la ausencia de alteraciones radiológicas se sospechó de infección del trayecto de las agujas razón por la cual se instauró un tratamiento antibiótico durante 29 días (Enrofloxacin: 1mg/Kg SID PO). Debido a la recuperación total de la funcionalidad de la extremidad se cesó dicho tratamiento.
- **Perra N° 6:** Este animal presentó una cojera sin apoyo de la extremidad posterior derecha (EPD) desde el día 19 postquirúrgico. Ante la no remisión del proceso con antiinflamatorios no esteroideos, se inició un tratamiento antibiótico basado en Enrofloxacin (1mg/Kg SID PO ) el cual fue mantenido durante 30 días. Tras este período, se obtuvo una mejoría de la cojera, de forma que se optó por la retirada del tratamiento antibiótico pero, ante la reaparición de los síntomas 11 días después, se repitió el tratamiento dos semanas más, ya que coincidió con la intervención quirúrgica de la otra extremidad.

Dos de los animales del estudio requirieron de la administración de medicamentos por cuestiones ajenas al estudio. El primero de ellos (Nº 2) presentó una queratoconjuntivitis seca unilateral con meibomitis bilateral de modo que, además del tratamiento ocular tópico, se administraron antibióticos (Cefalexina: 22mg/Kg BID PO) durante 6 semanas. El segundo animal (Nº 3) presentó una cojera aguda de la extremidad anterior izquierda por lo que se le administró un antiinflamatorio no esteroideo (Meloxicam: 0.1mg/Kg SID PO) durante 3 días. Tras este tiempo, la cojera remitió completamente.

Puesto que se realizó un registro diario del grado de cojera de todos los animales incluidos en el estudio, se muestra a continuación la evolución de la media de los valores obtenidos durante todo el procedimiento experimental (Gráfica V.2). Como ya se ha comentado anteriormente, se obtenía una recuperación funcional aceptable de la extremidad intervenida dentro de la primera semana tras la operación y una recuperación completa a las 12 semanas. Por esta razón, se muestran los valores medios diarios durante esta primera semana postoperatoria y los valores medios semanales hasta el período de supervivencia de cada animal. La tabla con los valores medios y de desviación estándar del grado de cojera registrados durante el estudio se muestra en el apartado V.4.- Anexo (Tabla V.2).

### Evolución grado cojera



Gráfica V.2: Evolución del grado de cojera a lo largo del estudio.

### 1.3.- ANEXO III-FOTOS

**Figura V.1:** Animales N°7 y 8 mostrando un apoyo bilateral de las extremidades intervenidas. La extremidad derecha se encuentra en las 5 semanas de evolución, mientras que la izquierda fue operada 2 días antes.



**a**



**Figura V.2:** (a) Animal N°7 incorporándose sobre el tercio posterior. La extremidad derecha se encuentra en las 5 semanas de evolución mientras que la izquierda fue operada 2 días antes. (b) Detalle de dicho apoyo.



**b**



**Figura V.3:** Animal N°3 mostrando un buen apoyo de la extremidad elongada (6 semanas de evolución) al retirar la extremidad contralateral.

## **V.2.- RESULTADOS DE LA VALORACION RADIOLOGICA**

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del estudio radiológico realizado con referencia a la alineación de los segmentos óseos, la comparación entre la elongación teórica y la real, el tiempo de aparición del callo de distracción y la Zona Central de Crecimiento (ZCC), el tiempo de consolidación de dicho callo, el grado de reacción perióstica y la presencia de complicaciones.

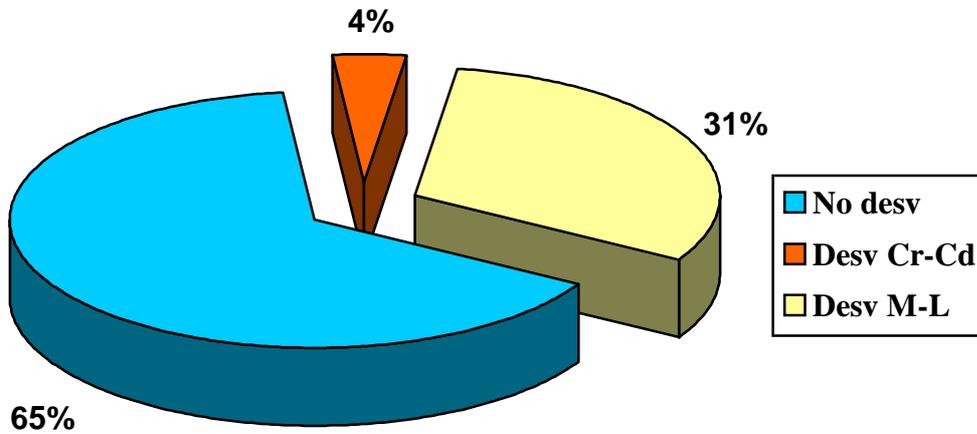
### **2.1.- RESULTADOS DE LA ALINEACION DE LOS SEGMENTOS OSEOS**

En la mayor parte de los animales del estudio se obtuvo una correcta alineación de los fragmentos óseos durante las fases de elongación ósea y consolidación del callo de distracción. Algunos animales mostraron una desviación de esa alineación, tanto en el plano medio-lateral como cráneo-caudal, siendo más frecuente el primero de ellos (Figuras V.4 y V.5).

A continuación se relacionan tanto los animales y la extremidad afectados, como el plano, el sentido y el grado de dichas desviaciones (Gráficas V.3 y V.4). La relación de los animales afectados de desviación axial de la osteotomía, así como el plano y valor numéricos del grado de desviación se reflejan en el apartado V.4.-Anexo (Tabla V.3). La desviación ósea se establecía tanto en el plano cráneo-caudal (Cr-Cd) como en el medio-lateral (M-L), mientras que el sentido de la desviación se consideraba como la orientación que seguía distalmente el fragmento proximal de la tibia osteotomizada en el plano anteriormente descrito.

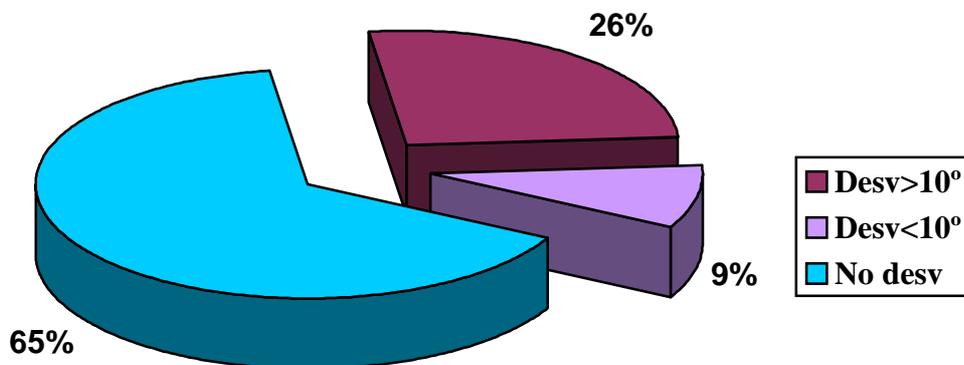
Como puede apreciarse en estas gráficas, el 35% de las extremidades elongadas presentó una desviación ósea axial durante la elongación, correspondiendo el 31% a las que se produjeron en el plano medio-lateral. De esa proporción, todas presentaron una orientación medial de los fragmentos.

### Plano de desviación axial



**Gráfica V.3:** Proporción y plano de desviación de las extremidades elongadas que presentan una ausencia de alineación ósea.

### Grado de desviación axial



**Gráfica V.4:** Proporción y grado de desviación de las extremidades elongadas que presentan una ausencia de alineación ósea.

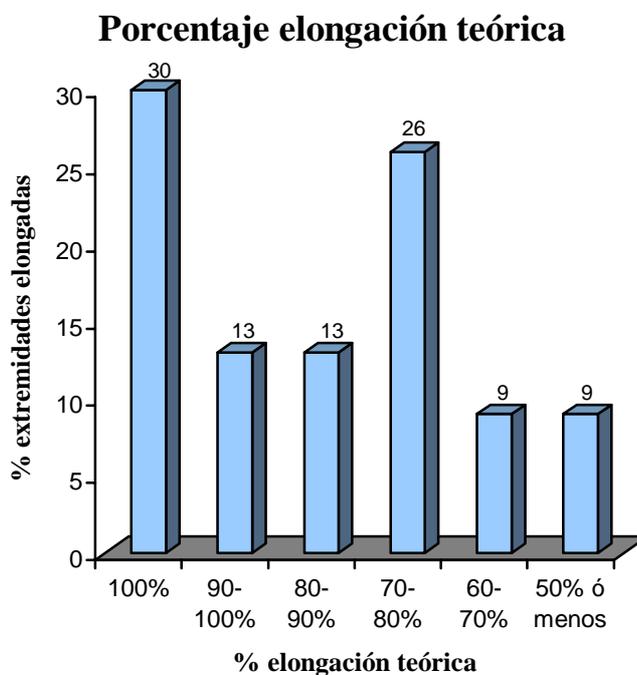
El resto de las osteotomías practicadas (n=15, 65%) en el estudio no mostró alteración alguna en la alineación de los segmentos óseos, obteniéndose un callo de distracción en un plano de continuidad con las corticales originales.

## **2.2.- RESULTADOS DE LA COMPARACION ENTRE LA ELONGACION TEORICA Y LA REAL**

En nuestro estudio, la elongación de la tibia se llevaba a cabo a una velocidad de 1mm diario durante un período de 10 días, de forma que la elongación teórica que se debería obtener en la tibia era de 10mm en todos los casos. Por el contrario, la elongación real se obtenía midiendo la longitud del callo de distracción sobre las radiografías tomadas al finalizar la fase de elongación, la cual no siempre coincidía con la teórica (Figuras V.6 y V.7).

En la tabla V.4 del apartado V.4.-Anexo se detallan los resultados obtenidos para la medición de la elongación real en todos los animales del estudio. Asimismo, se adjunta el porcentaje de la elongación teórica que constituye la elongación real registrada.

Con respecto al porcentaje de elongación teórica obtenida, y agrupando los resultados mostrados en la tabla V.4, podemos decir que el número de animales que obtuvo las diversas proporciones de distracción es el siguiente (Gráfica V.5):



**Gráfica V.5:** Relación entre las extremidades elongadas y la proporción de elongación teórica obtenida.

### **2.3.- RESULTADOS DE LA VALORACION DEL TIEMPO DE APARICION DE TEJIDO CALCIFICADO Y LA ZONA CENTRAL DE CRECIMIENTO**

La tabla V.5 muestra los resultados obtenidos correspondientes a los tiempos de aparición de las columnas de tejido nuevo calcificado y de la Zona Central de Crecimiento (ZCC). Tal y como queda reflejado en el apartado de “Material y Métodos”, estos tiempos eran considerados como el primer control radiográfico en el que era posible observar macroscópicamente la presencia de calcificación en el callo de distracción y de una línea central radiolúcida de entre 2 y 3 mm de grosor. Las casillas sombreadas corresponden a aquellos animales con tiempos de supervivencia tan cortos (1 semana) que no era posible valorar la presencia de las estructuras anteriormente descritas.

### **2.4.-RESULTADOS DE LA VALORACION DEL TIEMPO DE CONSOLIDACION Y DE LA PROGRESION DE LA CALCIFICACION**

Se consideraba que el callo de distracción había consolidado cuando se cumplían las características descritas en el apartado correspondiente de “Material y Métodos” (página 98). Este tiempo resulta de gran importancia ya que permite la retirada de los implantes y la completa recuperación funcional de la extremidad elongada, alcanzándose la finalidad última por la que se había realizado la elongación ósea. Los resultados de esta valoración radiográfica quedan reflejados en la tabla V.5. Las casillas sombreadas corresponden a aquellos animales con tiempos de supervivencia no suficientemente largos para obtener una consolidación del callo de distracción, la cual tiene lugar en tiempos bastante avanzados.

<b>Animal</b>	<b>Extremidad</b>	<b>t.e.c</b>	<b>T° calcif</b>	<b>T° ZCC</b>	<b>T° consolid</b>
N° 1	EPD	18 sem	4 semanas	4 semanas	14 semanas
N° 1	EPI	10 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 2	EPD	14 sem	2 semanas	4 semanas	14 semanas
N° 2	EPI	4 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 3	EPD	12 sem	2 semanas	6 semanas	
N° 3	EPI	4 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 4	EPD	12 sem	4 semanas	4 semanas	
N° 4	EPI	4 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 5	EPD	10 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 5	EPI	2 sem	-		
N° 6	EPD	10 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 6	EPI	1 sem			
N° 7	EPD	8 sem	4 semanas	6 semanas	
N° 7	EPI	3 sem	2 semanas	3 semanas	
N° 8	EPD	8 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 8	EPI	3 sem	2 semanas	3 semanas	
N° 9	EPD	6 sem	4 semanas	-	
N° 9	EPI	1 sem			
N° 10	EPD	6 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 10	EPI	1 sem			
N° 11	EPD	6 sem	2 semanas	4 semanas	
N° 11	EPI	2 sem	2 semanas		
N° 12	EPD	2 sem	2 semanas		

**Tabla V.5:** Tiempos de observación radiológica de tejido calcificado neoformado y de la zona central de crecimiento, así como tiempos de consolidación del callo de distracción en cada uno de los animales del estudio.

Con respecto a la progresión en la calcificación del callo de distracción, los controles radiológicos secuenciales realizados a todos los animales del estudio, permitieron observar que la calcificación de dicha estructura comenzaba a las dos semanas de la cirugía, momento en que finalizaba la fase de distracción ósea. Inicialmente, se visualizaba una estructura columniforme y estrecha, situada en la zona

correspondiente a la cavidad medular de los segmentos óseos originales y que con el tiempo iba aumentando de grosor hasta alcanzar el diámetro del hueso original. Simultáneamente, el depósito de calcio en el callo de distracción tenía lugar también de forma centrípeta, es decir, desde las corticales originales hacia el centro del callo, hasta formar una línea central radiolúcida de 2 ó 3 mm de espesor, correspondiente a la ZCC, aproximadamente a las 4 semanas de la cirugía. Una vez obtenida esta conformación característica, la calcificación del callo continuaba a lo largo de la fase de consolidación de forma que, radiológicamente se observaba un aumento progresivo en la densidad y solidez de dicha estructura (Figura V.8, a-e; figura V.9 a-f). A medida que esto ocurría, la ZCC disminuía progresivamente en grosor hasta desaparecer radiológicamente, momento en que tenía lugar la consolidación del callo de elongación (Figura V.10, a-c; figura V.11, a-d).

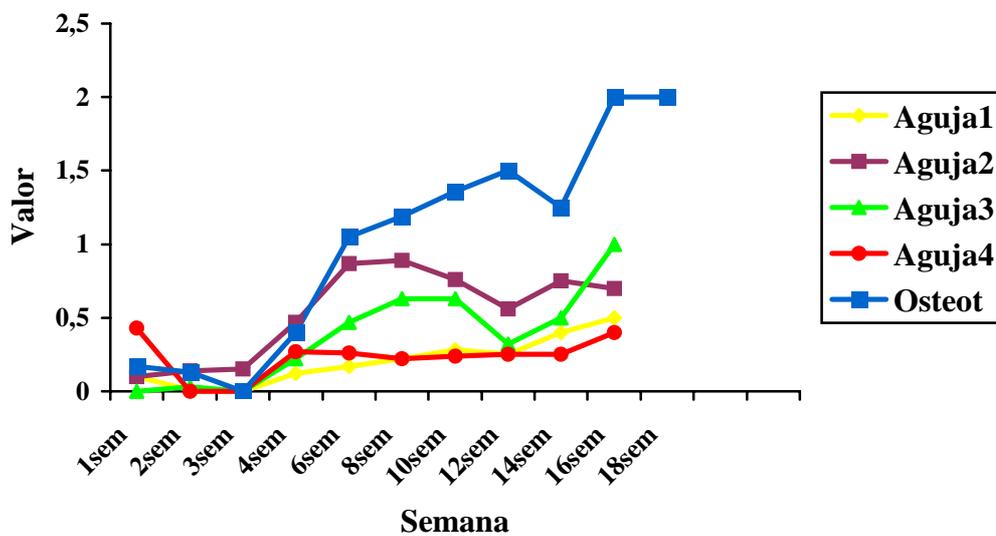
Gracias a la realización de dos proyecciones radiológicas en cada control (ML y PA), pudo observarse que la línea central radiolúcida desaparecía con anterioridad en la proyección PA que en la ML. Este fenómeno era debido a la superposición del callo de elongación proximal sobre el distal en la proyección PA, ya que en la otra proyección, podía observarse la presencia de una línea radiolúcida central no perfectamente perpendicular a la dirección de la distracción, sino que recorría el callo en dirección cráneo-distal. De esta forma, se visualizaba un callo proximal de mayor longitud en su parte craneal que en la caudal y un callo distal de mayor longitud caudalmente que cranealmente (Figura V.12, a-d).

## **2.5.-RESULTADOS DE LA VALORACION DEL GRADO DE REACCION PERIOSTICA**

Los resultados se presentan en forma de media obtenida para cada una de las cuatro agujas del elongador y la osteotomía realizada en cada control radiográfico, siguiendo el patrón descrito en “Material y Métodos”, tal y como puede observarse en la gráfica V.6. Puesto que el tiempo de supervivencia es diferente para cada animal, el número de imágenes radiográficas obtenidas en cada control disminuye conforme nos desplazamos en el tiempo, y por lo tanto también se ve reducido de forma progresiva el tamaño de muestra en cada control radiográfico. En el apartado V.4.-Anexo (Tabla V.6)

quedan reflejados los valores medios y de desviación estándar obtenidos de la reacción perióstica a nivel de las agujas y de la osteotomía. Las casillas sombreadas corresponden al resultado de un control radiológico en el que ya se habían retirado las agujas transcorticales, de forma que no es posible valorar la reacción perióstica a este nivel. Como puede observarse, la reacción perióstica a nivel de la interfase hueso-aguja es mayor en la segunda y tercera agujas transfixiantes (Figuras V.6-9, 12).

### Evolución de la reacción perióstica



**Gráfica V.6:** Evolución en el grado de reacción perióstica a nivel de las agujas transfixiantes y de la osteotomía durante el procedimiento experimental

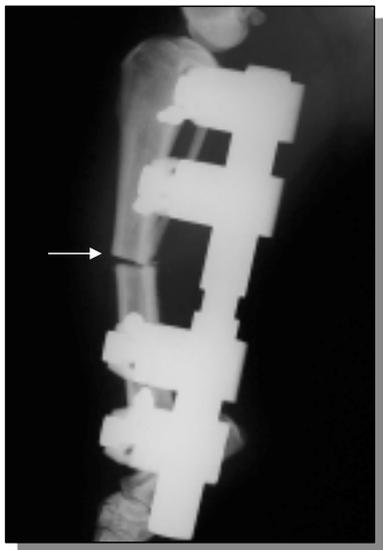
## **2.6.-RESULTADOS DE LA VALORACION DE SIGNOS RADIOLOGICOS DE COMPLICACIONES**

Los resultados de la valoración de signos radiológicos de complicaciones, siguiendo la clasificación realizada en el apartado de “Material y Métodos”, se muestran a continuación:

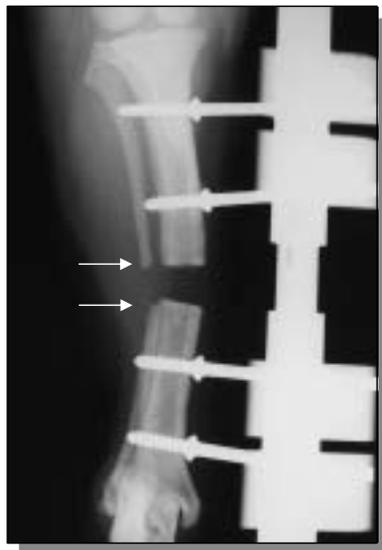
- Complicaciones:
  - Algunos animales (Nº 1-EPD, 3-EPD, 4-EPD e I, 5-EPD e I, 6-EPI, 11-EPD) presentaron una desviación axial de la osteotomía que permaneció hasta el final del estudio.

- En tres de las extremidades elongadas (N° 2-EPD, 3-EPD y 4-EPD) se produjo un colapso de aproximadamente 1 mm del callo de distracción en el momento en que el elongador fue sustituido por una barra conectora. Puesto que no se resolvió, se considera una complicación.

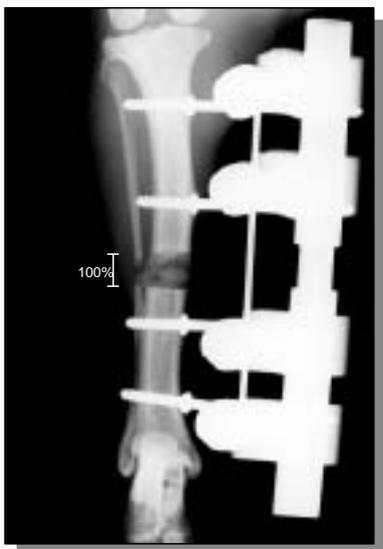
2.7.- ANEXO IV-FOTOS



**Figura V.4:** Rx ML del animal N° 6-EPI de 1 semana de evolución que muestra la desviación craneal de la osteotomía (flecha).



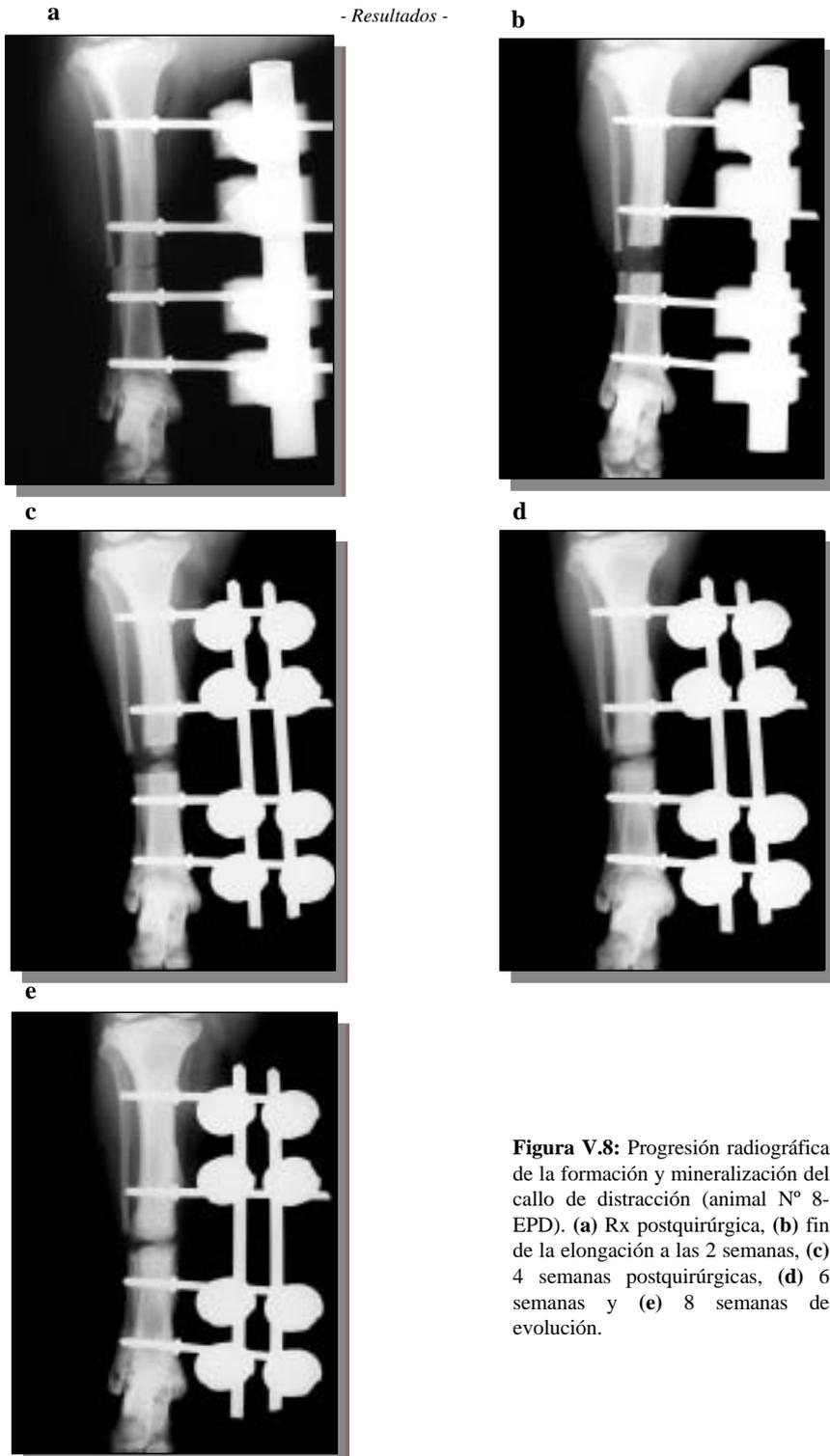
**Figura V.5:** Rx PA del animal N° 4-EPD de 2 semanas de evolución que muestra la desviación medial de la osteotomía (flechas).



**Figura V.6:** Rx PA (animal N° 10-EPD) de 6 semanas de evolución que muestra una elongación real del 100% respecto a la teórica.



**Figura V.7:** Rx PA (animal N° 7-EPD) de 6 semanas de evolución que muestra una elongación real del 70% respecto a la teórica.



**Figura V.8:** Progresión radiográfica de la formación y mineralización del callo de distracción (animal N° 8-EPD). (a) Rx postquirúrgica, (b) fin de la elongación a las 2 semanas, (c) 4 semanas postquirúrgicas, (d) 6 semanas y (e) 8 semanas de evolución.



**Figura V.9:** Progresión radiográfica de la formación y mineralización del callo de distracción (animal N° 1-EPI). (a) Rx postquirúrgica, (b) fin de la elongación a las 2 semanas y (c) 4 semanas de evolución.

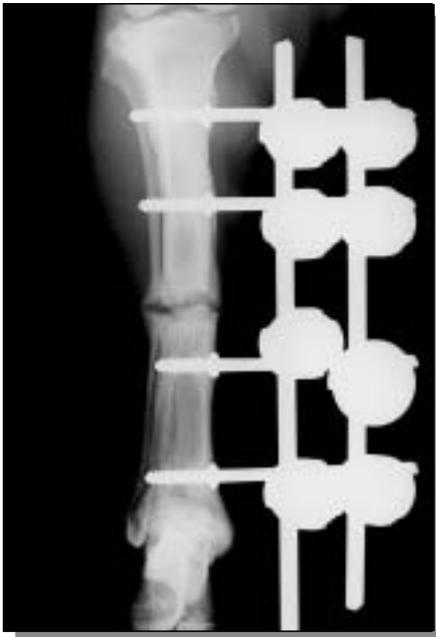
**d**



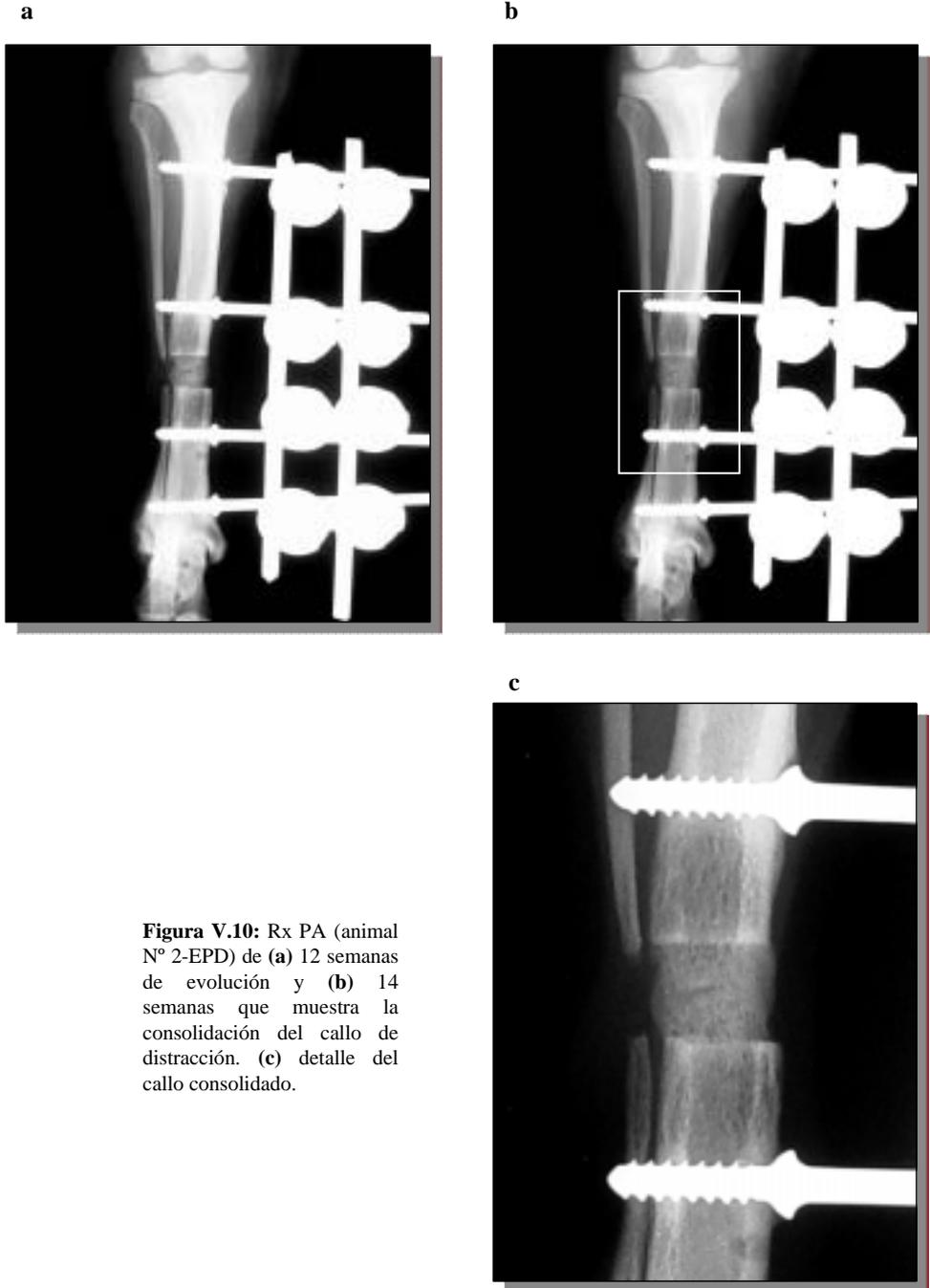
**e**



**f**

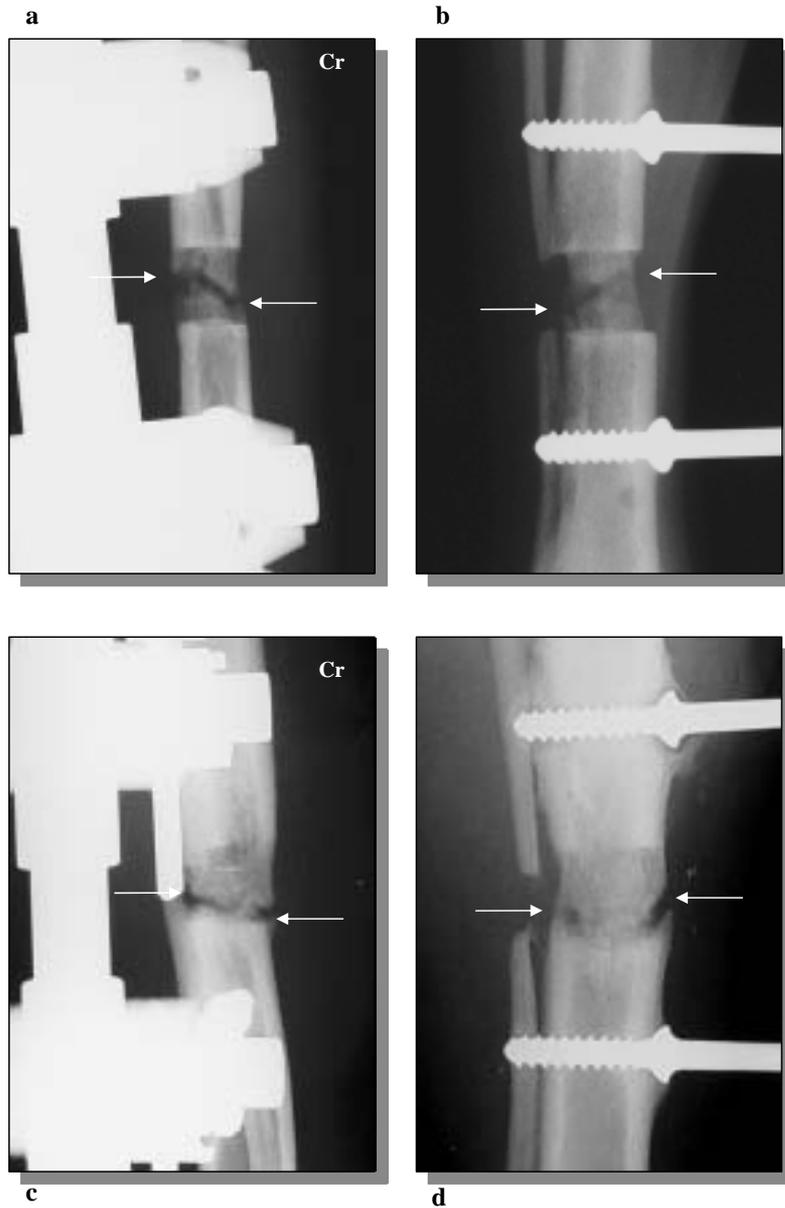


**Figura V.9:** Continuación de las imágenes anteriores. **(d)** Rx a las 6 semanas, **(e)** 8 semanas y **(f)** 10 semanas de evolución.





**Figura V.11:** Rx PA (animal N° 1-EPD) (a) consolidación del callo de 14 semanas de evolución (b) retirada del fijador externo a las 16 semanas. Se observa el hueco de los tornillos (flechas finas) y una fina línea radiolúcida (flecha gruesa), (c) aspecto del hueso elongado a las 18 semanas postquirúrgicas, (d) detalle del callo de distracción de 18 semanas de evolución.



**Figura V.12:** Aspecto oblicuo de la línea radiolúcida correspondiente a la zona central de crecimiento del callo de distracción (flechas). (a) y (b) Rx ML y PA del callo de distracción a las 8 semanas de evolución (animal N° 2-EPD), (c) y (d) Rx ML y PA del callo de distracción a las 10 semanas de evolución (animal N° 6-EPD).