

## La "Elongación interna" en el tratamiento de las grandes pérdidas segmentarias de sustancia ósea. Estudio experimental

J. de Pablos\* / J. Cañadell\*

### RESUMEN

La idea de Ilizarov de tratar defectos óseos segmentarios masivos (DOSM) mediante el transporte óseo a lo largo del defecto es extremadamente interesante. Sin embargo, el distractor externo circular usado para ello, a diferencia de los montajes monolaterales, es aparatoso, de difícil colocación y manejo postoperatorio y además, transfixiante. En nuestro centro de cirugía experimental se ha llevado a cabo un proyecto de investigación con el objetivo de valorar la aptitud de montajes monolaterales para el tratamiento de los DOSM siguiendo la idea de Ilizarov. Se han utilizado 5 perros de edad entre 6 y 12 meses, 5 corderos de 6 meses de edad y 4 corderos de 1 año (esqueléticamente maduros), todos machos. El experimento consistía en intentar la reconstrucción, mediante transporte óseo, de una pérdida de sustancia ósea (4-5 cm) de la diáfisis femoral. La valoración de los resultados se ha realizado mediante radiología, histología ósea y muscular y medición de los especímenes.

Tras los resultados obtenidos podemos concluir que el tratamiento de los DOSM, mediante la técnica de Ilizarov puede conseguirse utilizando montajes monolaterales. Con estos últimos se minimizan claramente varios de los más importantes inconvenientes del aparato circular de Ilizarov, manteniendo al mismo tiempo las ventajas de su idea original.

### Introducción

Los métodos más utilizados actualmente para conseguir la reconstrucción de los defectos óseos segmentarios masivos (DOSM) debidos a trauma, infección, resección tumoral, etc., son los auto y aloinjertos. Ilizarov<sup>5</sup>, como alternativa a estos tratamientos propuso el desprendimiento de un pequeño fragmento óseo de uno de los extremos del defecto óseo seguido de un lento transporte longitudinal de este fragmento hasta el otro extremo, al mismo tiempo que se va formando nuevo hueso en la zona de distracción. Esto se consigue con un fijador-distractor externo de tipo circular también diseñado por el mismo autor. Este concepto goza de importantes ventajas con respecto a otros métodos mencionados, como son el tratarse de un tratamiento "conservativo", la consecución habitual de una buena consolidación ósea sin necesidad de aporte de injerto óseo, el hecho de que el hueso neoformado sea de muy buena calidad y el no requerir medios de fijación interna. Sin embargo, a pesar de estas ventajas del método como tal, el aparato circular utilizado por el mismo autor presenta en nuestra opinión una serie de inconvenientes importantes, como son principalmente su aparatosis, dificultad de coloca-

ción y manejo postoperatorio y el hecho de que se trate de un sistema transfixiante.

En el laboratorio de experimentación animal de nuestro Centro hemos experimentado esta idea en animales, utilizando montajes monolaterales (en vez de circulares) con los cuales, al disminuir la aparatosis, simplificar su colocación y manejo y no necesitar la transfixión de los tornillos tratamos de minimizar los mayores inconvenientes del aparato de Ilizarov manteniendo al mismo tiempo las ventajas del concepto ideado por este autor.

Nuestros principales objetivos con este experimento fueron, en primer lugar, constatar la efectividad del concepto del *transporte óseo* en el tratamiento de los DOSM, y en segundo lugar valorar la idoneidad de los montajes *monolaterales* para este cometido.

### Material y métodos

Para este experimento hemos utilizado cinco perros machos de raza desconocida de entre 6 y 12 meses de edad y nueve corderos machos de raza merina, cinco de ellos de 6 meses de edad y los cuatro restantes de 12 meses (esqueléticamente maduros).

En todos los casos, el experimento ha consistido en intentar reconstruir una pérdida de sustancia ósea segmentaria de entre 4 y 5 cm realizada quirúrgicamente en una de las diáfisis

\* Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Universidad de Navarra. Pamplona.

femorales del animal, siguiendo el concepto de Ilizarov pero utilizando aparatos de distracción-compresión monolaterales (Fig. 1). Concretamente, nada más extirpado el segmento diafisario femoral mencionado se procedía a la inserción de 3 pares de tornillos en el fémur, realizándose seguidamente una osteotomía percutánea entre el par de tornillos proximales y el par medio, con lo que se desprendía un pequeño fragmento del segmento óseo proximal femoral. Acto seguido se procedía a colocar y a ajustar el cuerpo del aparato monolateral.

La operación se realizaba siempre en el quirófano experimental de nuestra Facultad, con los animales convenientemente anestesiados y utilizando siempre control radiológico con intensificador de imágenes.

Al día siguiente de la intervención se comenzaba la distracción entre la porción proximal del fémur, y el pequeño fragmento óseo desprendido, a razón de 1 mm/día (2 x 0,5 mm/día). En todo momento, durante la fase de distracción, se mantenía la longitud femoral inicial mediante el bloqueo de movimientos entre los pares de tornillos proximal y distal que permitía el aparato. Una vez que el fragmento óseo transportado llegaba a la porción distal femoral seguíamos haciendo distracción a razón de aproximadamente 0,25 mm/día durante 7-10 días, con lo que conseguimos un efecto de compresión entre el fragmento transportado y el fémur distal. El aparato fue retirado en todos los animales, excepto en los que se sacrificaban antes, aproximadamente 1,5 meses después de que el fragmento óseo transportado contactara con el fémur distal.

Se han empleado dos tipos de implantes, siempre monolaterales, que tenían en común la posibilidad de permitir la colocación de 3 pares de tornillos y la movilización independiente de cada par de tornillos con respecto a los otros dos en sentido longitudinal. El primero de los aparatos, empleado en los cinco perros, era un dispositivo diseñado y fabricado por nosotros mismos que funcionaba ensamblado a un aparato tipo Wagner (Fig. 2a) y el segundo, utilizado en los nueve corderos, era también un diseño nuestro ensamblando distintas partes de los fijadores tubulares roscado y liso a los que habíamos introducido varias modificaciones (Fig. 2b). Los tornillos utilizados en el primero de los aparatos eran de 4 mm de diámetro y los empleados en el segundo eran de 4,5 mm.

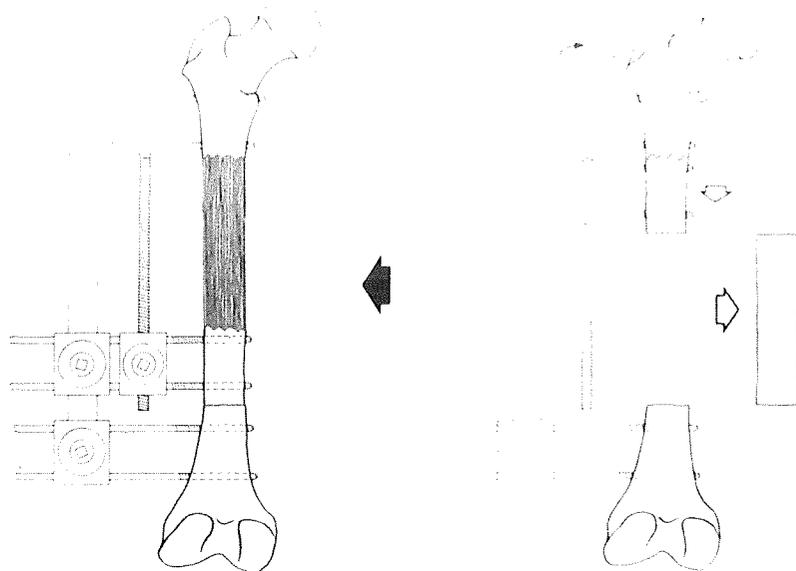


Fig. 1.—Representación esquemática del modelo experimental utilizado en este trabajo.

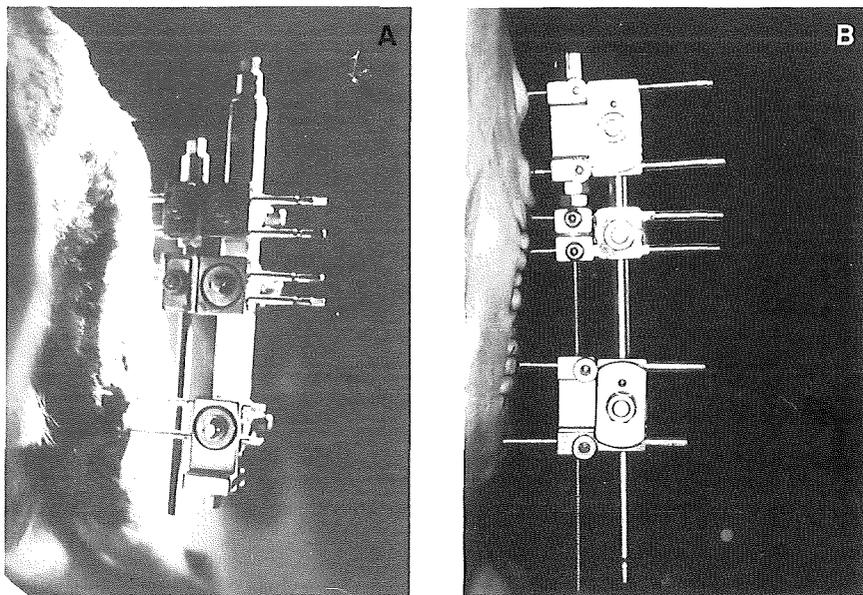


Fig. 2.—Imágenes de los dos montajes monolaterales empleados. a) Ensamblaje con distractor tipo Wagner. b) Montaje tubular.

La agrupación de los animales se realizó dependiendo del momento del sacrificio de los mismos según el esquema presentado en la tabla I.

La valoración de los resultados se realizó mediante:

a) *Estudio radiológico*: Se efectuó sobre el fémur intervenido en el postoperatorio inmediato, después se realizó cada 7 días durante la fase de distracción y cada 15 días posterior-

mente hasta el sacrificio, momento en que, desprovisto de partes blandas se realizaba el estudio post mortem. Tanto en este último momento como en el preoperatorio inmediato se realizó el estudio comparativo de longitudes sobre ambos fémures.

Se ha efectuado también estudio mediante TAC (Tomografía Axial Computarizada) en dos corderos justo al finalizar la distracción.

**Tabla I. AGRUPACION DE LOS ANIMALES**

SACRIFICIO	ANIMALES		
	Perros (n = 5)	Corderos 6 meses (n = 5)	Corderos 1 año (n = 5)
20 días postop.	1	1	—
Fin distracción	2	2	1
4 meses postop.	2	2	4
TOTAL	15 animales		

b) *Estudio histológico óseo*: Se ha realizado en cada fémur intervenido, inmediatamente después del sacrificio mediante las tinciones de hematoxilina-eosina y tricrómico de Masson. De cada fémur se estudiaban tres zonas: zona de distracción, zona de compresión y fragmento óseo transportado.

c) *Estudio histológico muscular*: Se ha realizado con el fin de valorar el comportamiento de las partes blandas, concretamente músculos y nervios, en la zona de distracción durante la fase de transporte óseo, utilizando tinciones de hematoxilina-eosina, tricrómico de Masson y PAS. Para valorar lesiones musculares en la zona de distracción, hemos estudiado cortes tomados de la zona media anterolateral del cuádriceps y para estudiar las posibles lesiones nerviosas a ese nivel hemos estudiado cortes de la porción media anterior de la muscu-

latura tibial anterior de la misma extremidad.

## Resultados

### Observaciones clínicas

Clínicamente, la fase de distracción no ha planteado problemas mencionables. En concreto, la tuerca del aparato con que se controlaba la distracción ha podido ser girada siempre con facilidad, consiguiéndose el transporte óseo a razón de 1 mm/día sin interrupciones hasta el punto final. La piel no ha supuesto un impedimento signifi-

cativo a la progresiva separación de los tornillos proximales y medios. Hemos podido observar como, en su avance, los tornillos insertados en el fragmento transportado iban "cortando" la piel produciendo una herida longitudinal que iba cicatrizando proximalmente según dichos tornillos se desplazaban distalmente (Fig. 3).

Los aparatos han sido tolerados aceptablemente por los animales, aunque los perros los mordisqueaban frecuentemente deteriorando algunas de sus piezas de aluminio, y no nos hemos visto obligados en ningún caso a retirarlos antes del tiempo previsto.

Aunque durante el transporte óseo

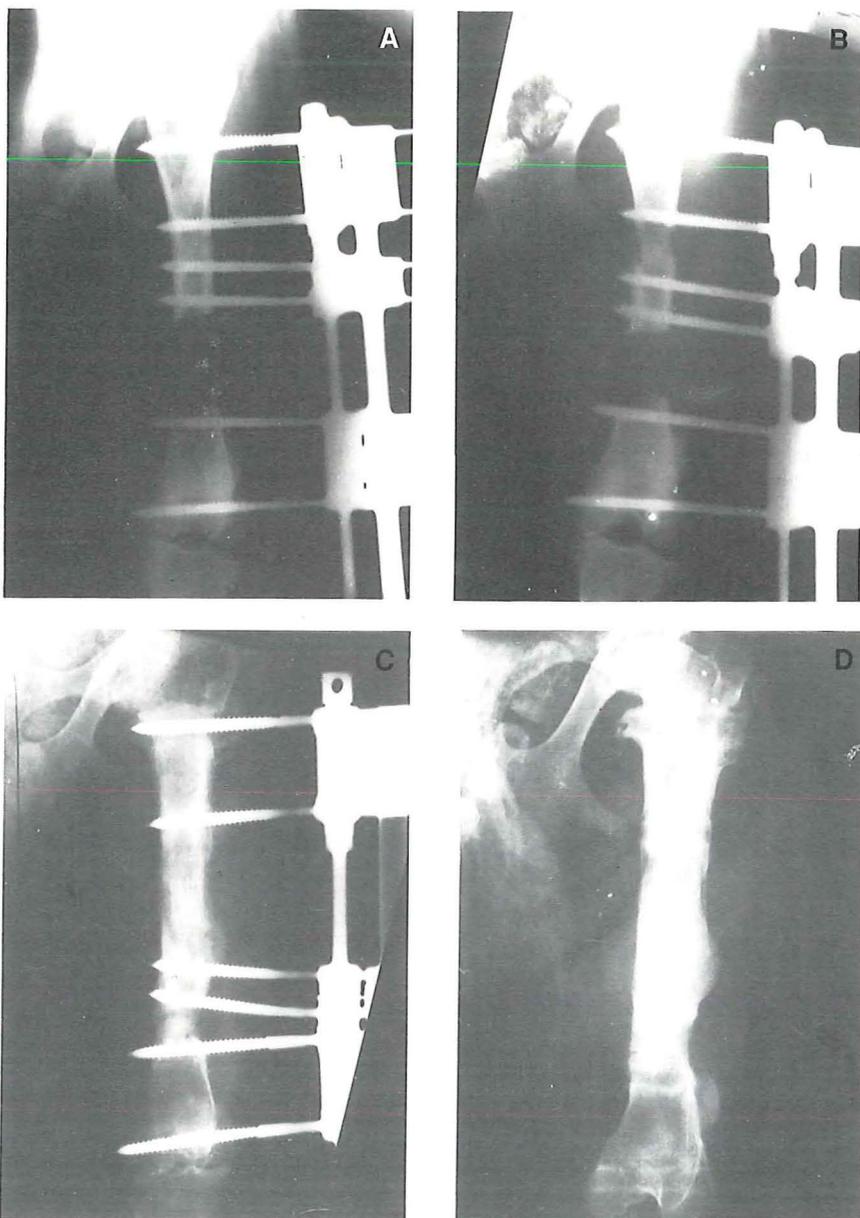


Fig. 4.—Serie radiológica de la evolución postoperatoria de uno de los corderos de 6 meses de edad. a) Postoperatorio inmediato. b) 10 días postop. c) 50 días postop. d) 4 meses postop.

y hasta retirar el aparato, el muslo de la extremidad intervenida presentaba moderados signos de atrofia muscular con respecto al contralateral, ésta era muy discreta a los 4 meses del postoperatorio. Funcionalmente, la movilidad de rodilla y cadera de la extremidad intervenida estaba discretamente limitada durante el tiempo en que el animal tenía colocado el fijador y era normal a los 4 meses del postoperatorio, momento en que los animales, sin excepción, presentaban una marcha y carrera que podían considerarse como normales. De hecho, tras extraer ambos fémures del animal después del sacrificio hemos observado una situación macroscópica normal de tanto la rodilla como la cadera del lado intervenido.

### Radiología

El estudio radiológico ha permitido comprobar cómo, desde las primeras fases de distracción, el espacio que se producía y aumentaba progresivamente entre el segmento femoral proximal y el fragmento transportado iba siendo ocupado por un tejido calcificado cada vez más denso. Efectivamente, a partir de los 10-15 días de distracción comenzaba a observarse una opacificación tenue y sin una organización definida en el espacio de distracción. Desde aproximadamente los 25-30 días de postoperatorio esta opacificación se apreciaba en forma de líneas agrupadas más o menos or-

denadamente en el sentido de la distracción. Esta disposición, algunas veces ligeramente interrumpida en la zona central, se mantenía al menos hasta varias semanas después de finalizar la distracción, fase en la que este tejido calcificado comenzaba a homogeneizarse. A los 4 meses del postoperatorio este espacio estaba ocupado por un tejido óseo neoformado que, aunque no presentaba una textura exacta al de hueso diafisario normal, era de un aspecto muy satisfactorio (Fig. 4). En cuanto a la forma, la "neodíafisis" podía observarse como una estructura cilíndrica regular de diámetro similar al del resto de la diáfisis. Aunque estas observaciones son válidas para ambos grupos de animales, en los corderos el proceso de reparación ha sido aparentemente algo más rápido que en los perros.

Para valorar la arquitectura de este tejido óseo neoformado en el plano transversal, se ha realizado estudio tomográfico axial computarizado en dos fémures de corderos intervenidos. En ellos se observa cómo, ya desde el final de la distracción el tejido calcificado mencionado recuerda en sus extremos al hueso diafisario normal, por su disposición circular periférica con una zona interior radiotransparente. De todos modos, en su porción central este tejido calcificado aparece en los cortes tomográficos como un cilindro macizo.

En lo que respecta al aspecto radiológico del fragmento óseo transportado, no se han apreciado fenómenos

notorios de reabsorción ni signos de necrosis tanto durante el proceso de distracción como en las fases ulteriores.

En cuanto a la zona en que se realizaba compresión una vez finalizado la fase de transporte, es decir, la zona de contacto entre el fragmento transportado y la porción femoral distal, a los cuatro meses del postoperatorio se había conseguido consolidación radiológica en 7 animales (6 corderos y 1 perro) mientras que en el perro restante permanecía una situación de no-unión.

También hay que mencionar el hecho de que en todo momento durante el experimento, y dada la no existencia de desplazamiento longitudinal de los fragmentos proximal y distal femorales, las longitudes de ambos fémures en cada animal se han mantenido esencialmente iguales.

### Histología ósea

Histológicamente, la reparación del espacio producido durante la distracción sigue un patrón similar al observado en las elongaciones óseas mediante osteotomía percutánea diafisaria<sup>2</sup>. A los 20 días de iniciada la distracción este espacio se hallaba ocupado por un tejido conectivo ricamente vascularizado, cuyas fibras quedaban dispuestas paralelamente en la dirección de la distracción (Fig. 5a). Este tejido, al finalizar la distracción, presentaba un aspecto similar, pero

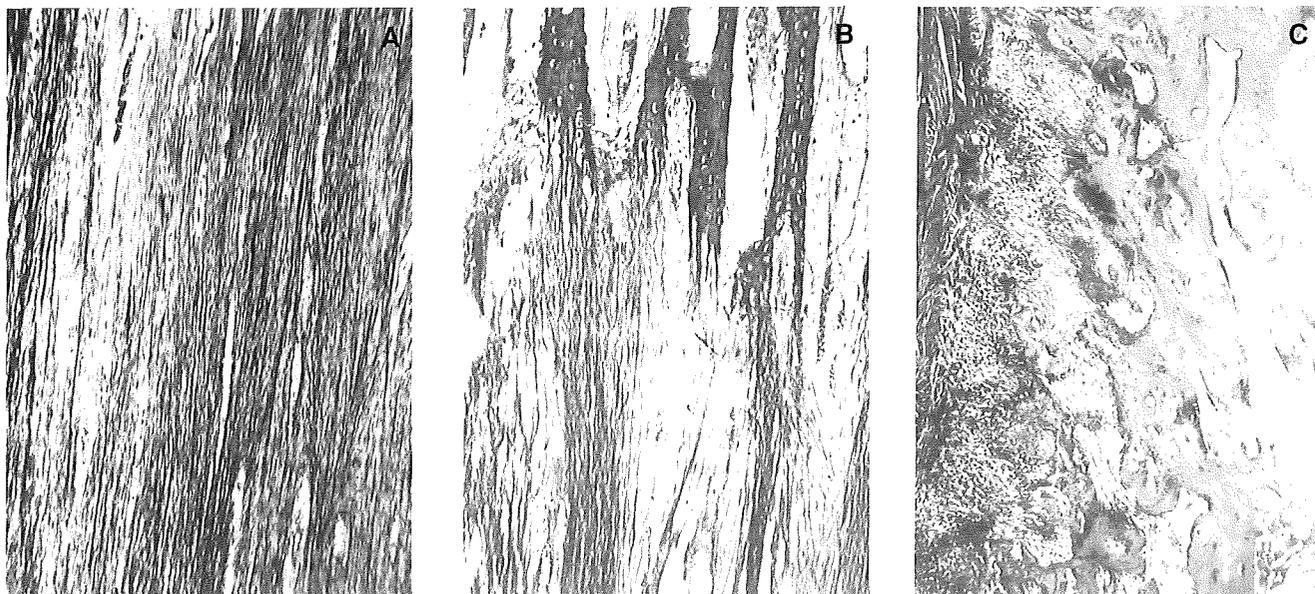


Fig. 5.—Imágenes histológicas del tejido formado en la zona de distracción. Tricrómico de Masson x 40. a) Tejido fibroso reparativo 20 días de post. b) Osificación desmal central al final de la distracción. c) Osificación desmal periférica (tipo perióstico) al final de la distracción.

en su interior ya se estaba produciendo un proceso de osificación de tipo esencialmente desmal, que aparentemente se iniciaba en los extremos del espacio mencionado así como en su zona periférica, donde la osificación recordaba a la osificación desmal perióstica (Figs. 5b, c). A los cuatro meses del postoperatorio, la osificación de esta zona era completa en todos los animales. La estructura ósea de este segmento presentaba ya un hueso de tipo cortical periféricamente y un tejido de tipo esponjoso laxo en su interior.

El fragmento óseo transportado ha presentado en cualquier momento en que ha sido estudiado una imagen histológica de viabilidad, es decir, estaba constituido por tejido óseo vivo de características esencialmente normales.

El estudio histológico de la zona de compresión, donde se había observado una imagen radiológica de no-uni6n, mostraba una pseudoartrosis con escasos signos de osteog6nesis reparativa, a ese nivel (Fig. 6). En los otros siete casos estudiados a los 4 meses del postoperatorio, histol6gicamente se apreciaba en la zona de compresión una consolidaci6n clara aunque con una importante esclerosis 6sea a nivel de la lnea de contacto.

### Histología muscular

En lo que respecta al cuádriceps en la extremidad intervenida, el único



Fig. 6.—Imagen histológica de no-uni6n en la zona de compresión (4 meses postop). Tricr6mico de Masson x 40.

hecho claramente llamativo era un discreto infiltrado inflamatorio tanto al final de la distracci6n como a los 4 meses del postoperatorio con respecto al m6sculo cuádriceps obtenido del lado normal. Tambi6n un moderado grado de atrofia por desuso (no neu-r6gena) era com6n en los cuádriceps de la extremidad intervenida, sobre todo justo al final de la distracci6n.

El m6sculo tibial anterior, estudiado para valorar posibles lesiones neurol6gicas m6s altas ha sido considerado como normal en la parte intervenida cuando se compara con el contralateral, tanto al final de la distracci6n como a los 4 meses de postoperatorio.

### Discusi6n

Desde que Ilizarov<sup>5</sup> describi6 su m6todo de transporte 6seo para el tratamiento de los defectos 6seos segmentarios masivos, han sido varios los autores que lo han utilizado cl6nica y experimentalmente bien con su aparato<sup>3,6</sup> o bien con otros diferentes<sup>1,4,7</sup>, pero todos ellos con la característica com6n de ser transfixiantes. Este rasgo, a6n adido a que estos montajes en nuestra opini6n, son muy aparatosos, de complicado montaje y dif6cil manejo postoperatorio, hacen que hayamos pensado en otro tipo de aparato, que minimice estos inconvenientes manteniendo al mismo tiempo las ventajas del concepto de Ilizarov con respecto a otros m6todos propugnados para tratamiento de los DOSM. Nuestras experiencias con los montajes monolaterales han sido positivas a este respecto. Pensamos que con el tipo de aparatos utilizados en nuestro experimento, que tienen como ventaja fundamental el *no* ser transfixiantes, conseguimos adem6s facilitar el montaje y manejo postoperatorio as6 como disminuir la aparatosidad con respecto al fijador-distractor de Ilizarov y otros similares.

Por otro lado, como hemos comentado, estos aparatos han sido correctamente tolerados por los animales (mejor por los corderos) y no han dado problemas mencionables en cuanto a estabilidad se refiere.

En nuestro experimento, el tratamiento de los DOSM mediante montajes monolaterales se ha mostrado factible habi6ndose conseguido el transporte 6seo hasta el punto final en todos los casos en que estaba previsto. La 6nicas complicaciones mencionables, infecciones espor6dicas en

el trayecto de los clavos, no han sido nunca impedimento para finalizar el experimento y por otro lado eran esperables, dado que l6gicamente las condiciones higi6nicas trabajando con animales no son las que se pueden conseguir en la pr6ctica humana.

Nuestro problema fundamental "a priori" se centraba en c6mo la piel y dem6s partes blandas iban a tolerar el movimiento longitudinal de un par de tornillos colocados transversalmente a trav6s de la p6rdida de sustancia 6sea. Adem6s de que los tornillos aparentemente van "cortando" estas estructuras sin necesidad de que nosotros intervengamos en absoluto, tanto la piel como el resto de partes blandas han mostrado una capacidad de adaptaci6n a la distracci6n-compresi6n (quiz6 por su gran elasticidad) francamente sorprendente. En efecto, en ning6n momento hemos observado ni una alarmante tensi6n cut6nea en la zona de distracci6n ni una piel redundante o pliegues en la zona de compresión. Por otro lado, en los 6ltimos experimentos realizados recientemente hemos empleado un dise6o de tornillos especial con bordes cortantes que aparentemente facilitan a6n m6s su paso progresivo a trav6s de las partes blandas durante el transporte (Fig. 7).

Tratando de valorar de modo objetivo el efecto de la distracci6n-compresi6n sobre las estructuras musculares y nerviosas a ese nivel hemos realizado los estudios de histol6gia muscular del cuádriceps y tibial anterior de la extremidad intervenida tanto al finalizar el transporte como a los 4 meses de postoperatorio. Tras su valoraci6n hemos podido observar c6mo aparentemente no existe un sufrimiento de las partes blandas a nivel de la distracci6n como para impedir el transporte 6seo con facilidad.

Radiol6gica e histol6gicamente, la reconstrucci6n del segmento sometido a distracci6n es similar a la de la observada experimentalmente y en la cl6nica humana en la elongaci6n 6sea mediante osteotomía percut6nea diafisaria<sup>2</sup>. De hecho pensamos que tanto la rapidez como la calidad del hueso neoformado dif6cilmente pueden conseguirse con otros m6todos de reconstrucci6n (autoinjertos o aloinjertos) preconizados para el tratamiento de los DOSM. No hemos observado diferencias radiol6gicas ni histol6gicas significativas en lo referente a capacidad osteog6nica reparativa en el grupo de corderos operados a los 6 meses de edad con respecto al de 12

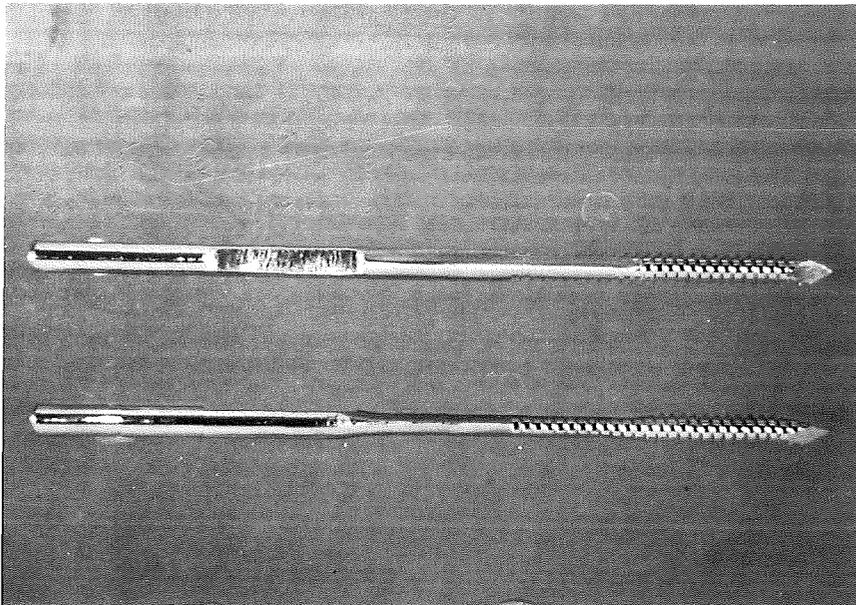


Fig. 7.—Tornillos "cortantes" diseñados para el transporte óseo.

meses de edad. Probablemente las diferencias en edad deban ser mayores si queremos encontrar datos concluyentes sobre la influencia de la edad en la osteogénesis reparativa utilizando el concepto de Ilizarov.

Aparentemente el fragmento de hueso transportado no sufre alteraciones notables en su aporte sanguíneo, dado que en ninguna fase del transporte hemos observado signos de necrosis a ese nivel, ni radiológicamente ni, sobre todo, histológicamente.

La cuestión de la consolidación en la zona de compresión sigue siendo, sin embargo, problemática; en la mayoría de los casos se ha conseguido la unión ósea, ésta no ha sido, al menos 4 meses después de la intervención, lo satisfactoria que sería de desear. En todo caso, pensamos que aunque se llegara a una situación de no-unión,

éste no sería un gran problema con respecto al inicial (DOSM) y probablemente bastaría con una segunda intervención relativamente sencilla, para solucionarlo.

Aunque tras los resultados de este experimento se abre en nuestra opinión un horizonte muy esperanzador, quedan todavía muchas dudas por resolver en este campo. Interesa grandemente objetivar las diferencias en cuanto a rapidez de formación, estructura y propiedades mecánicas del hueso en la zona de reconstrucción entre el método de Ilizarov y otros métodos propuestos para el tratamiento de los DOSM, como son los auto y aloinjertos. Otro campo con gran interés es el estudio sobre la consolidación en la zona de compresión y las posibilidades de mejorarla. Por fin, siendo conscientes de que el mayor inconveniente

del método propuesto es el largo tiempo que debe quedar colocado el distractor-compresor externo en el paciente, pensamos que es esencial la investigación sobre la manera de mejorar la tolerancia de estos aparatos y/o acortar el período de aplicación de los mismos.

En nuestra opinión, dentro de las indicaciones clínicas futuras del método podríamos incluir el tratamiento de DOSM, secundarios a traumatismos, resecciones tumorales, infecciones antiguas o resección de pseudoartrosis congénitas.

### Bibliografía

1. Alvarez R, Jorge JJ, Barreda H, Rodríguez MA y Padrón T. *Limb lengthening in children*. *Orthopaedics* 1: 468-76, 1984.
2. Arrien A. *Estudio comparativo de la osteotomía a cielo abierto y percutánea en la elongación de las extremidades*. Tesis Doctoral Universidad de Navarra. Pamplona 1986.
3. Bianchi-Maiocchi A. *L'osteosintesi transossea secondo GA Ilizarov. Aspetti sperimentali, teorici e clinici*. *Medi Surgical Video*. Milán 1985.
4. Habboushe MP. *Salah Eddin External Fixation System: A bone slider and compressor*. *Orthopaedics* 8: 1.266-7, 1985.
5. Ilizarov GA. *The main principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis*. *Orthop Traumatol Protez* 11: 7-15, 1971.
6. Mezhenina EP, Roulla EA, Pchersky AG, Rabich VD, Shadrine EL y Mizhevich TV. *Methods of limb elongation with congenital inequality in children*. *J Ped Orthop* 4: 201-7, 1984.
7. Umyarov GA. *Repositioning-elongation for infected posttraumatic leg defects*. *Advances Orthop Surg* 9: 58-62, 1985.

## THE "INTERNAL LENGTHENING" FOR THE TREATMENT OF LARGE SEGMENTAL BONE DEFECTS. AN EXPERIMENTAL STUDY

### Summary

Ilizarov's idea of treating large segmental bone defects (LSBD) by transporting bone along the length of the defect is to us extremely interesting. However, the circular external distractor employed, unlike monolateral frames in cumbersome, transfixing and difficult for both placement and postoperative management.

A research project has been carried out at our experimental surgery laboratory to assess the reliability of monolateral frames in the treatment of LSBD following Ilizarov's idea. For this experiment we selected five 6 to 12 month-old dogs, five 6 month-old lambs and five 12 month-old lambs, the latter being skeletally mature. All animals were male. The experiment consisted in an attempt of reconstructing a LSBD of 4-5 cm of the animal's femoral diaphysis by means of Ilizarov's method but using monolateral devices. The evaluation of the results was made by X-rays, muscle and bone histology and measurement of the specimens.

On the basis of the results obtained it is concluded that treatment of LSBD by the Ilizarov method can be successfully accomplished by using monolateral external fixator-distractors. The advantages of the monolateral frames include a marked minimization of some of the most outstanding drawbacks of Ilizarov's circular device, while keeping the advantages of his original concept.