

Biología del callo óseo

Dres. GABRIEL MARTINEZ LOTTI, FERNANDO BONETTO*

INTRODUCCION

Distintos elementos se activan luego del trauma para producir la reparación biológica de la fractura.

Podemos distinguir distintas fases en el plano de reparación:

Fase inicial o inflamatoria

Este proceso afecta en las primeras 24 a 48 horas toda la longitud del segmento lesionado, para circunscribirse luego a la zona adyacente al foco de fractura. Traduce la reacción aguda del organismo para compensar el desequilibrio anatomofuncional desencadenado por el trauma y remover los detritos producidos por la necrobiosis local¹².

Es en esta etapa donde se forma el hematoma fracturario.

Fase de calcificación periostal

Esta respuesta está a cargo, primordialmente, de células osteógenas localizadas en el estrato profundo del periostio activadas por varios estímulos humorales y bioeléctricos.

Inicialmente se depositan fibras colágenas conformando trabéculas irregulares.

Posteriormente se produce la mineralización de las mismas y la transformación del tejido fibroso en osteoide.

En el examen físico se evidencia aumento de la temperatura local y tumefacción resultantes de la hiperemia y del infiltrado celular a nivel del foco de fractura.

Ha sido observado que una de las principales causas que alteran el callo en formación y provocan su degeneración secundaria fibrocondral es la movilidad de los fragmentos óseos³.

Fase de calcificación endostal

Este proceso depende de la circulación endóstica, generalmente más dañada que la perióstica por la lesión vascular endomedular que produce el trauma. Su desarrollo es consecuentemente más lento que la calcificación periférica pero es útil y efectiva en caso de que la fase periostal sea deficiente.

Fase de remodelación del callo

En esta fase la fractura se encuentra solidarizada de modo suficiente por una corona de tejido osteoide. La deficiente seguridad mecánica es compensada por el volumen exuberante. Judet sostiene que el callo sólo contiene el 33% de su carga mineral normal, la cual se va completando lentamente a lo largo del tiempo, mientras actúan simultáneamente fenómenos de osteogénesis y osteolisis de remodelación⁷.

De esta forma el callo proximal se remodela en su estructura histológica¹⁶. Del callo osteoide irregularmente distribuido se pasa al callo óseo laminar y al final a la reestructuración haversiana hasta que la fractura está sólidamente estabilizada.

Factores mecánicos osteogénicos

Los factores mecánicos con capacidad de inducir la osteogénesis son aquellos que, teniendo su origen en actividades fisiológicas, producen a nivel del foco de fractura deformaciones que no alcanzan un nivel nócivo sobre las células y los tejidos. Es

* 9 de Julio 2845, (2000) Rosario, Provincia de Santa Fe, Argentina.

decir, estas deformaciones no deben sobrepasar el límite de elasticidad de los tejidos presentes en el foco, ya que de superarse este límite se produce la ruptura, daño tisular y muerte celular. Esto último lo identificamos como la movilidad conducente a la pseudoartrosis.

Los estudios biomecánicos realizados por Lazo¹⁵ revelan que la elasticidad era del 100% para el tejido de granulación, 20% para el tejido fibroso, 10% para el tejido cartilaginoso y el 3% para el hueso. Como consecuencia de ello la elasticidad del callo es una variable relacionada con los tejidos que la forman y la situación de éstos en el callo. Por todo lo previamente expuesto, sería ideal contar con un elemento de osteosíntesis capaz de permitir la máxima deformación sin que se produzca límite de ruptura del callo.

El aumento progresivo de la carga sobre el callo determina un aumento paralelo del mismo, ya que éste es más maduro, lo que equivale a decir que es más sólido, más resistente, menos elástico, y se deforma menos para una misma carga^{18, 19}.

OSTEOGENESIS EN COMPRESION

La escuela AO ha preconizado, durante muchos años, la osteogénesis en compresión. La consolidación de las fracturas se realiza de cortical a cortical sin formación de callo endostal y periostal visible, teniendo lugar una soldadura autógena del hueso fracturado.

Los principios de la AO establecen que en una osteosíntesis eficaz intervienen dos factores: la compresión interfragmentaria y el entablillado.

La **compresión interfragmentaria** aumenta la fricción existente entre los fragmentos y, por lo tanto, la estabilidad de la fijación.

Se neutralizan las fuerzas de torsión, cizallamiento y flexión perjudiciales. En consecuencia, se incrementa la tolerancia a la carga de la fijación, lo que permite la movilización activa de la extremidad en una fase temprana del postoperatorio, sin vendaje de yeso. Para conseguir una compresión interfragmentaria duradera hay que someter los implantes a tensión (implantes

pretensados) en el momento de colocarlos.

La compresión interfragmentaria puede ser estática o dinámica. En la compresión interfragmentaria estática las fuerzas compresoras actúan en forma continua y uniforme, y la misma puede ser llevada a cabo con fijadores externos roscados, tornillos de tracción o con la placa pretensada.

El **entablillado** es utilizado por la AO cuando no es posible practicar la osteosíntesis mediante compresión interfragmentaria.

El hueso entablillado suele curar con formación de callo óseo (curación secundaria) y el mismo es llevado a cabo con placas sostén, fijadores externos y clavos de Kuntscher.

Maurice Müller¹⁷ ha mostrado que en el perro, la reducción anatómica, la compresión de 8 a 10 kg/cm² y la inmovilización rígida mediante osteosíntesis de una osteotomía transversal consolida *per primam* a la sexta semana. Los vasos que atraviesan el trazo de la fractura provienen de los conductos de Havers. Los osteoclastos reabsorben el hueso muerto y los osteoblastos depositan el hueso neoformado.

Este tipo de consolidación, que se realiza a expensas de los conductos haversianos, sin producción de callo endóstico y periférico, es sumamente lento.

OSTEOGENESIS EN DISTRACCION

La distracción ha sido considerada siempre como un factor que predispone a la no-uniión ósea por favorecer la interposición de tejido fibroso entre los segmentos óseos, y por lo tanto se la ha considerado un proceso no fisiológico.

A partir de los trabajos de Ilizarov se vio que la tracción efectuada en una osteotomía o fractura favorecería la regeneración ósea siempre y cuando se disponga de un sistema estable que preserve el aporte vascular.

La distracción progresiva y lenta permite la formación de hueso nuevo a nivel del foco de elongación, orientándose las trabéculas de cada lado a lo largo de la dirección de distracción⁸.

La velocidad de elongación recomendada

es de 1 mm diario, repartido en tres o cuatro veces, aunque Kozinek y colaboradores obtuvieron mejores resultados con una regeneración más intensa y homogénea, cuando se aplica una distracción continua¹⁴.

El hueso neoformado se extiende a partir de cada extremo de la osteotomía en áreas de sección paralelas a las fuerzas de distracción.

A raíz de los trabajos de Planecki y Kojimoto, efectuados en corderos, se observó que la osificación es de tipo membranoso y aparece a partir de una proliferación celular medular y endóstica^{13, 20}.

Al comienzo de la distracción el ritmo del proceso es amplio y las trabéculas osteoides se desarrollan en el extremo de cada fragmento. En la porción media se observa una zona esclerosa con fibras de colágeno dispuestas longitudinalmente. A los 14 días se aprecia en la porción media del callo una zona clara que representa la zona de crecimiento del hueso regenerado, y al final del primer mes la regeneración es más marcada en los extremos que en el centro. A los dos meses el callo está consolidado y el canal medular comienza a recanalizarse lentamente. Desde el punto de vista radiológico se aprecia la aparición de trabéculas radioopacas y dispuestas en forma paralela a partir del 21° día de comenzada la distracción. Durante la misma se observa una banda radioopaca, de 2-5 mm, que representa la zona fibrosa formada por la unión de cada extremo de la osteotomía y que constituye la transición de una sindesmosis a una zona de fibrocartílagos bien organizada con canales vasculares conduciendo la osificación intramembranosa.

Las microrradiografías confirman que la mineralización aumenta tanto longitudinal como transversalmente y se produce a lo largo de cada fibra de colágeno paralela a la fuerza de distracción.

Radiológicamente se han podido establecer siete patrones radiológicos, los cuales tienen un importante valor pronóstico al inicio de la elongación.

Al plantear una elongación u osteogénesis en distracción se aprecian diferentes tipos de callos óseos si la osteotomía es a cielo abierto o cerrado, o si es metafisaria o diafisaria. A raíz de ello, Arrien realizó

un estudio en 50 corderos, a los cuales los dividió en cuatro grupos según la osteotomía fuera diafisaria, metafisaria, efectuada a cielo abierto o en forma percutánea.

Los resultados de estos trabajos reflejan que cuando la osteotomía es realizada en forma percutánea y metafisaria se aprecia una mejor densidad ósea que en aquellas realizadas a cielo abierto y a nivel diafisario².

Por otra parte, desde el punto de vista histológico se puede comprobar que la osteotomía percutánea produce una osificación de tipo desmal, mientras que en aquellas realizadas a cielo abierto aparecen zonas de osificación desmal entremezcladas con otro tipo de endcondral.

Los exámenes angiográficos efectuados por el mismo Arrien mostraron que en las osteotomías percutáneas se interrumpía, en un 90% de los casos, la circulación endomedular, siendo el periostio el responsable de la osteogénesis del callo de elongación.

Esta teoría fue confirmada por Kojimoto¹³, el que realizó un estudio en conejos y demostró que el periostio es el factor más importante en la formación de callo externo, esté o no interrumpida la circulación endomedular.

DISTRACCION FISARIA

Es un método de elongación progresiva basada en la utilización de la fisis como foco de menor resistencia del hueso, a través del cual y mediante una tracción efectuada a ambos lados, se consigue la separación entre la metafisis y la epífisis, y con ello el alargamiento óseo.

Este método reúne una serie de ventajas con respecto a otros de elongación progresiva, como son⁹:

- Simplicidad y rapidez en la aplicación.
- Realización en un solo tiempo quirúrgico.
- No requiere la sección quirúrgica de la piel, periostio o hueso.
- Gran facilidad de consolidación.
- Ausencia de incisiones cutáneas.

Entre los inconvenientes observados por

esta técnica es digno de destacar:

* Las rigideces articulares a nivel de la rodilla y tobillo, cuando la distracción se aplica sobre la fisis distal femoral y tibial distal respectivamente.

* Las posibilidades de una artritis séptica debido a la colocación de los tornillos en la zona vecina a la articulación.

* Con respecto a la viabilidad futura del cartílago de crecimiento son dignos de destacar los estudios realizados por De Pablos, efectuados en corderos de 2 meses de edad, con un peso de 15 kg y utilizando el fijador externo de Orthofix.

De los resultados obtenidos por De Pablos y colaboradores se han extraído las siguientes conclusiones¹⁰:

— La distracción fisaria es un método útil, con alta eficacia inmediata, para conseguir el alargamiento óseo.

— El mecanismo que permite la elongación ósea por este método es la producción de una fractura fisaria. No se ha observado que exista deformidad plástica del cartílago de crecimiento.

— El segmento elongado experimenta tres estados en su reconstrucción: fractura fisaria-hematoma, formación de tejido fibroso reparativo y osificación.

— La osificación del tejido fibroso de granulación es de tipo desmal.

— La variabilidad del cartílago de crecimiento está en relación inversa a la velocidad de elongación.

Cuanto menor es la velocidad de distracción empleada (0,5 a 1 mm/día) mejor será la viabilidad del cartílago de crecimiento tanto morfológica como funcionalmente.

Si bien la distracción fisaria goza de una serie de ventajas sobre otras técnicas de elongación, el peligro de la aparición de una artritis séptica hace que limitemos su uso en los acortamientos óseos congénitos, dismetrías femorales asociadas a coxopatía y cuando la dismetría se asocia a una deformidad angular.

OSTEOGENESIS EN EL ENCLAVADO ENDOMEDULAR

La curación de una fractura tratada con enclavado endomedular es casi totalmente

periférica. Esto se debe a las características de la circulación sanguínea del hueso y a las alteraciones que se producen en la misma durante la fractura y la instrumentación del enclavado.

Existen tres vías principales de aporte sanguíneo a un hueso largo: 1) vasos provenientes de la arteria nutricia, 2) vasos metafisarios, 3) vasos periósticos.

En condiciones normales hay anastomosis libre entre vasos metafisarios y nutricios pero no con los periósticos, porque éstos sólo nutren el tercio externo de la corteza, estando los dos tercios restantes a cargo de los vasos nutricios, endósticos y metafisarios¹¹.

Los vasos nutricios son longitudinales, por lo que al existir una fractura siempre resultan lesionados; no así los del periostio, cuyo trayecto es transversal al eje mayor del hueso y mantienen la circulación a ambos lados del foco fracturado.

No sólo es el trauma quien lesiona la circulación endóstica, sino que también lo hacen el fresado del canal medular y la introducción del clavo endomedular. El daño a la circulación y la presencia del clavo impiden la formación del callo endóstico²¹.

El periostio es frecuentemente dañado por la fractura y agravado durante la manipulación al insertar el clavo, aún más si los extremos de los fragmentos se desnudan durante la reducción a cielo abierto¹. Así, el hueso cortical de los extremos de los fragmentos puede ser avascular durante distancias variables, no formándose aquí hueso nuevo. Por lo tanto la unión depende de la formación de hueso dentro del hematoma de fractura, uniendo el callo perióstico los fragmentos y produciendo, de esta forma, una consolidación periférica.

FIJACION EXTERNA Y CONSOLIDACION OSEA

La curación de las fracturas óseas con fijador externo tiene lugar por consolidación indirecta, necesitando un mayor tiempo de curación aquellas tratadas con un fijador externo rígido, que aquellas tratadas con uno que permita micromovimientos.

El movimiento lineal axial (telescopado) es necesario para la consolidación. Este principio era ya conocido por Böhler, quien decía: "En cada fractura existe un inicio de reabsorción ósea a nivel del borde de fractura y por tanto es necesario permitir a los fragmentos impactarse para rellenar la zona de absorción y evitar un retardo de consolidación. La consolidación tolera los movimientos angulares, frontales o sagitales pero no los rotatorios, que son los más dañinos"⁴.

Esta transmisión de fuerza axial a través del foco de fractura puede llevarse a cabo por el mecanismo de dinamización del fijador externo con el objetivo de estimular la curación de la fractura, creando una sollicitación cíclica intermitente. La rigidez del foco de fractura puede ajustarse o modificarse durante la evolución de una fractura, permitiendo un gradual aumento de la transmisión de cargas a través del mismo¹⁵.

El sistema se debe dinamizar, como señalan los trabajos experimentales, a la primera señal del callo perióstico²².

Cuando se avanza en la maduración del callo de fractura, el hueso mismo contribu-

ye a la rigidez de la estructura montaje-hueso y como consecuencia de esto una parte de la carga pasará por el foco de fractura y las cargas que se transmiten por el montaje disminuyen.

La instrumentación del fijador externo es importante para determinar el momento en el que el callo comienza a transmitir cargas axiales. Si los fragmentos están en contacto, las cargas axiales serán transmitidas desde el primer momento a través del foco de fractura. Si, por el contrario, existe una separación hasta que se forme el callo de fractura, las sollicitaciones serán absorbidas por el fijador externo⁵.

Durante la consolidación de una fractura, las propiedades mecánicas del callo varían; si sometemos a la misma carga el callo de fractura en diferentes fases de la evolución, la deformación irá disminuyendo con el tiempo.

La vascularización es otro elemento a tener en cuenta en la curación de una fractura, ya que las mismas sollicitaciones mecánicas producen diferentes tipos de tejidos según la oxigenación o la cantidad de vasos que llegan, y el hueso no se forma en condiciones de isquemia⁶.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson LD: Compresion. Plate fixation and the effect of different types of internal fixation on fracture healing. *J Bone Jt Surg* 47-A: 191, 1965.
- Arrián A: Estudio comparativo de las osteotomías a cielo abierto y percutáneas en la elongación ósea. Tesis doctoral. Universidad de Navarra, 1986.
- Bianchi-Maiocchi A: L'osteosintesis trasossea secondo G A Ilizarov. Milano, 1985; pp 347-362.
- Bianchi-Maiocchi A, Cattaneo R et al: Il metodo di Ilizarov nella fissazione esterna delle fracture recenti di gamba. *Ortopedia e Traumatologia*, Vol III (34), 1983.
- Burny F: Etude par gauges de deformation de la consolidation des fractures en clinique. *Acta Orthop Belg* 34: 917, 1968.
- Carter DR, Orr TE et al: Influencies of mechanical stress on prenatal and posnatal skeletal development. *Clin Orthop* 219: 237-250, 1987.
- Cosentino R: Callo óseo normal y patológico. In: *Miembros inferiores. Semiología con consideraciones clínicas y terapéuticas*. El Ateneo, 1992; pp 384-388.
- Delloye C, Délefortrie E, Noel H: Histogenesis of bone, regenerate formation in leng the ned cortical bone. *Trans Orthop Res Soc* 14: 565, 1989.
- De Pablos J, Villas C, Cañadell J: Bone lengthening. By physael distraction. An experimental study. *Int Orthop* 10: 167-170, 1986.
- Gil Albarova J, De Pablos J: Técnicas de elongación ósea. *Rev Española Cir Osteoart* 27: 244-249, 1992.
- Gorosito I, Gualtieri J et al: Enclavijado endomedular "in situ" en las fracturas de la pierna. *Bol Soc Ortop Litoral* 26: 43-50.
- Ilizarov GA: *Osteosintesis. Técnicas de Ilizarov*. Ediciones Norma, Madrid, 1990; Cap 1, p 8.
- Kojimoto H, Yassui N et al: Blood supply during experimental bone. Lengthening by callus distraccion. *Trans Orthop Res Soc* 14: 564, 1989.
- Kosine K, Tepic, Perren SM: Limb lengthening and there dimensional deformity corrections. A retrospective clinical study. *Arch Orthop Trauma Surg* 109: 334-340, 1990.
- Lazo J, Lazo JM, Mozo F, Piñero R: La compresión en las elongaciones óseas. In: *De Pablos J, Caladell J: Elongación ósea. Estado actual y controversia*. Ediciones Universidad de Navarra, 1990.
- Mc Kibbin B: The biology of fracture healing in long bones. *J Bone Jt Surg* 60-B, 1980.
- Müller ME: A propos de la guerison "per priman" des fractures. *Rev Chir Orthop* 50: 697, 1964.
- Perren SM: Biomechanick der Osteosynthese eine ubersicht uber die wesentlichen. Elemente der Knochereaktion auf mechanische Einflusse als. *Grundlage logischer Entscheidungen*. In: Springour HW, Kattahagen BD (eds): *Aktuelle Schwepunkter der Orthopadie*. G Thieme, Stuttgart, 1991; pp 67-70.
- Perren SM, Huggler A, Russeberger M et al: The reaction of cortical bone to compresion. *Acta Orthop Scand* (Suppl 125), 1969.
- Plawewcki S: La methode d'ilizarov applique aux alongements et corrections axiales des membres inferieurs chez l'enfant. Doctoral, Universidad de Grenoble, 1987.
- Sisk DT: Principios generales del tratamiento de las fracturas. In: *Campbell W: Cirugia Ortopédica*. 1988; Cap X, pp 1535-1583.
- Williams EA, Rand JA, Ankn, Chao E et al: The early healing of tibial osteotomies stabilized by onuplane or two plane external fixation. *J Bone Jt Surg* 69-A: 355-365, 1987.