

CAPÍTULO 10 - PRINCIPIOS BIOLÓGICOS Y MECÁNICOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS FRACTURA

Autores: Amanda Aragón Olaguibel y Marta García López.
Coordinador: Eulogio Benito Martín.
Hospital Príncipe de Asturias, Alcalá de Henares (Madrid)

1.- INTRODUCCIÓN

El tratamiento de una fractura tiene como objetivo favorecer la **consolidación**, restaurando las propiedades biomecánicas del hueso, previas al traumatismo para conseguir la máxima recuperación funcional (1). En el proceso de regeneración ósea influyen factores muy diversos que debemos tener en cuenta a la hora de iniciar el tratamiento de una fractura (2); la edad, los factores genéticos, mecánicos, bioquímicos, la vascularización ósea endóstica o perióstica, etc (Figura 1).

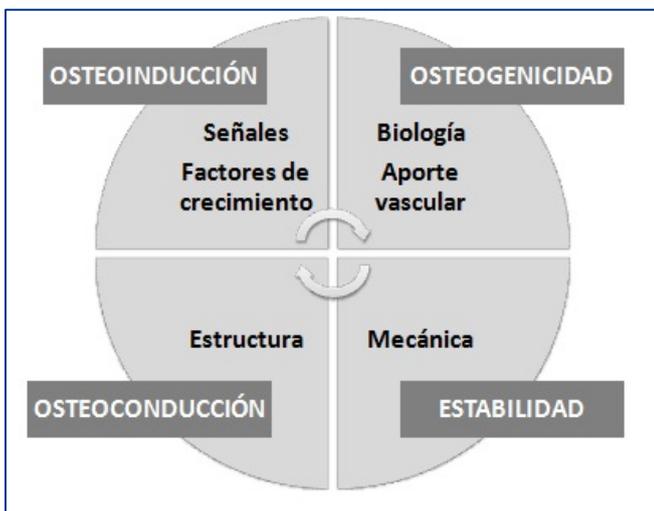


Figura 1. Interacciones en la consolidación ósea.

2.- FISIOLÓGIA DE LA CONSOLIDACIÓN

Como consecuencia de una fractura, nuestro organismo genera unas reacciones biológicas encaminadas a la curación de la misma (3). En función del tipo de tratamiento y la estabilidad aportada al foco de fractura podemos distinguir dos tipos de consolidación (4):

Consolidación directa, primaria o cortical: Tiene lugar en reducciones anatómicas con estabilidad absoluta. Se produce por el paso de vasos perforantes en las zonas de contacto y aposición osteoblástica de hueso nuevo en las zonas de no contacto. No hay tejido cartilaginoso ni formación de callo de óseo.

Consolidación indirecta o secundaria: se produce en fracturas tratados con inmovilización o con fijación flexible en las que puede haber movilidad interfragmentaria. Se forma **callo óseo** establecido en cinco fases (5):

- **Fase de hematoma:** La sangre extravasada libera moléculas de señalización que activan la cascada de la consolidación.

- **Fase inflamatoria y de angiogénesis:** El hematoma inicial origina un exudado inflamatorio con formación de un coágulo de fibrina, tras el cual comienza un proceso de necrosis de los extremos óseos favorecido por la actividad osteoclástica. La vasodilatación e hiperemia de los tejidos blandos circundantes promueve la formación de capilares que invaden el hematoma estimulando la proliferación celular. Durante este periodo inflamatorio intervienen inicialmente neutrófilos polimorfonucleares, macrófagos y más adelante los fibroblastos. La fibrina, las fibras reticulares y de colágeno serán sustituidas por tejido de granulación.
- **Fase reparadora: formación de callo blando:** La composición del callo (glucosaminos, colágeno y fosfatasas alcalinas) va siendo modificada a lo largo del proceso de reparación en función de distintos factores (Tabla 1):
 - a) **Factores biomecánicos:** la compresión intermitente estimula la calcificación, mientras que la distracción la inhibe.
 - b) **Factores biológicos:** la baja tensión de O_2 en la zona central del callo provoca la proliferación de condroblastos con formación de un armazón cartilaginoso de colágeno tipo II. La estabilidad conseguida en esta fase es suficiente para prevenir el acortamiento, pero no la angulación de la fractura.
- **Fase de osificación: formación de callo duro:** Comienza a partir de la 3ª semana cuando los extremos óseos están unidos por callo blando y dura entre 3 y 4 meses hasta que los extremos óseos están unidos firmemente por hueso nuevo (6). El callo blando se convierte en un tejido rígido calcificado mediante un proceso de osificación endcondral y formación ósea intramembranosa.
- **Fase de remodelación:** El hueso inmaduro presenta una microestructura irregular, sobre la cual se irán reorientando las trabéculas óseas en función de las sollicitaciones mecánicas de carga (leyes de Wolff) para convertirse en hueso maduro, laminar y anisotrópico (7).

3.- PRINCIPIOS BIOMECÁNICOS DE LA CONSOLIDACIÓN ÓSEA

Para conseguir una adecuada consolidación ósea buscaremos la restauración de la anatomía mediante una osteosíntesis estable, preservando una correcta vascularización y un buen estado de las partes blandas que permita la movilización precoz de las articulaciones afectas (8) y así favorecer la recuperación temprana de la función.

Tabla 1. Factores modificadores de la consolidación ósea

	Estimuladores	Inhibidores
Mecánicos	Carga axial compresiva Estabilidad mecánica Estimulación electromagnética	Distracción, cizallamiento Inestabilidad mecánica Interposición partes blandas
Metabólicos	Buen aporte vascular en el foco Factores de crecimiento O ₂ hiperbárico Calcitonina, vitamina D Insulina, Hormonas tiroideas	Corticoides, Diabetes Quimioterapia, Radioterapia Desnutrición proteica Tabaco AINES, Quinolonas
Otros		Tumores, Infección

Tabla 2. Consolidación ósea en función del tipo de estabilidad mecánica

Estabilidad absoluta	Estabilidad relativa	Inestabilidad
Tejido óseo → Osificación intermembranosa	Tejido cartilaginoso → Osificación endocondral	Tejido fibroso
Deformabilidad baja	Deformabilidad media	Deformabilidad alta
Consolidación directa, "per primans"	Consolidación indirecta	No consolidación
GAP mínimo. No hay formación de callo óseo	Formación de callo óseo	Osteolisis → fallo de la osteosíntesis
Fracturas articulares y fracturas antebrazo	Fracturas extraarticulares	
Reducción anatómica	Restauración de la longitud, eje y rotación	
Compresión interfragmentaria	Fijación flexible	
Tornillos, placas, banda de tensión	Fijadores internos, enclavado endomedular, fijadores externos	

4.- FASES DEL TRATAMIENTO: REDUCCIÓN, ESTABILIZACIÓN Y REHABILITACIÓN

- **Reducción de la fractura:** mediante manipulación cerrada o abierta se restaura la relación anatómica entre los fragmentos óseos evitando el acortamiento, la angulación o rotación de los mismos.
- **Estabilización:** puede llevarse a cabo mediante procedimientos no quirúrgicos (yesos, tracción cutánea blanda o transesquelética) o mediante cirugía (placas, tornillos a compresión, clavos endomedulares o fijación externa) y busca disminuir la movilidad de los extremos óseos y favorecer la formación del callo óseo.
- **Rehabilitación:** Lo más precoz posible, para conseguir el restablecimiento completo de la función previa.

5.- TIPOS Y TÉCNICAS DE ESTABILIDAD

El tipo de **estabilidad mecánica** (absoluta o relativa) conseguida durante el tratamiento de una fractura, determinará la **respuesta biológica** y el tipo de **callo óseo** originado en el foco de fractura (Tabla 2). Así, cuando la estabilización de una fractura se realiza mediante tratamiento conservador o una fijación flexible se producirá la consolidación mediante la formación de un callo óseo que unirá mecánicamente los fragmentos afectados; mientras que la fijación interna mediante estabilidad absoluta reducirá la tensión en el foco de fractura permitiendo una consolidación ósea directa (Figura 2).

5.1.1. Estabilidad absoluta

Esta se consigue cuando a nivel del foco de fractura hay una **compresión interfragmentaria** y junto a condiciones de buena vascularización, evita la reabsorción de los extremos óseos, he inhibe la formación del callo perióstico favoreciendo el callo endostal (consolidación primaria o directa).

Aunque la rigidez del implante contribuye a la reducción de la movilidad en el foco de fractura, la única técnica que



Figura 2. Fractura bifocal de radio y cúbito (Figura 2a). Tratamiento mediante técnica de estabilidad absoluta (consolidación ósea directa) en radio y técnica de estabilidad relativa (formación de callo óseo) en cúbito (Figura 2b).

permite una estabilidad absoluta eliminando de manera efectiva el movimiento en el foco es la compresión interfragmentaria, la cual se basa en la creación de una precarga compresiva que produzca fricción entre los extremos óseos (8):

- **Fuerzas de compresión:** la compresión entre los fragmentos óseos debe ser superior a las fuerzas de distracción producidas por las tracciones musculares que actúan sobre los extremos, minimizando así el riesgo de necrosis ósea.
- **Fricción:** las superficies rugosas presentan mayor ajuste interfragmentario lo que permite contrarrestar las fuerzas de cizallamiento o torsión que actúan perpendicularmente al eje longitudinal del hueso. La

estabilidad absoluta se mantendrá siempre que la magnitud de fricción sea mayor que la fuerza que tiende a desplazar la fractura a lo largo del plano de ésta.

5.1.2. Técnicas de estabilidad absoluta

- **Tornillos a compresión:** transforman fuerzas de rotación en fuerza lineal.
- **Placas a compresión:** empleadas en fracturas transversas. Pueden adaptarse y pretensarse con ayuda de un tensor o pueden utilizarse placas de autocompresión (Dinamic Compression Plate, DCP) o con superficie diseñada para minimizar la agresión al periostio (Low Contact Dinamic Compression Plate, LC-DCP).
- **Principio de la banda de tensión o tirante:** permite convertir fuerzas de tensión (distracción) en fuerzas de compresión a nivel del foco de fractura mediante la colocación de dispositivos de modo excéntrico en la zona de tensión.

5.2.1. Estabilidad relativa.

Se produce cuando los fragmentos se desplazan uno sobre otro al aplicar una carga sobre el foco de fractura, permitiendo movimientos interfragmentarios que pueden estimular o inhibir la unión ósea (9):

- El tratamiento conservador mediante tracción o ferulizaciones externas de yeso se caracteriza por la formación de un callo externo perióstico abundante y otro interno endóstico.
- Por otra parte, el clavo intramedular desarrolla un callo perióstico exuberante inhibiendo el endostal.
- La movilización de los fragmentos produce un incremento de la concentración de moléculas con capacidad morfogénica y factores de crecimiento que, asociadas a la aparición de células y a la neovascularización, llevan a la formación de un callo exuberante.
- El fresado y el enclavado del canal intramedular provocan en el hueso un daño adicional que paradójicamente aumenta la actividad osteogénica.
- Los últimos estudios realizados revelan cómo las corrientes eléctricas y los estímulos mecánicos desencadenan un aumento de mediadores bioquímicos y factores de crecimiento.

Existen, no obstante, factores intrínsecos de las fracturas que condicionarán su evolución como la energía del traumatismo, el desplazamiento inicial, la integridad de las partes blandas, la solución de continuidad de la piel y la idiosincrasia del paciente (10).

5.2.2. Técnicas de estabilidad relativa

- **Fijación intramedular no cerrojada:** controla eficazmente la angulación y desplazamiento de los fragmentos, pero algo menos la rotación.
- **Enclavado endomedular bloqueado:** permite la alineación de la fractura sin alterar el foco mientras que los bloqueos evitan el acortamiento y la rotación.
- **Fijador interno, placa puente:** placas con tornillos bloqueados (Locking Compression Plate, LCP) para evitar (puentean) la zona de mayor conminución de la fractura manteniendo la alineación. Útiles en

fracturas con afectación metafisaria y diafisaria. La mayoría poseen instrumentación para facilitar la inserción percutánea.

- **Fijadores externos:** consiguen una fijación basada en el principio de ferulización. Tienen un comportamiento mecánico asimétrico, siendo más rígidos al aplicar cargas en el plano de los tornillos de Schanz que perpendicularmente a éstos. Indicado en fracturas abiertas especialmente grado III de Gustilo, fracturas conminutas epifisometafisarias y fracturas inestables de pelvis.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brighton CT. The Biology of fractures repair. Instr Course Lect. 1984;33:60-82.
2. Yoo JU, Johnstone B. The role of osteochondral progenitor cells in fracture repair. Clin Orthop Rel Res. 1998;355(suppl):S73-81.
3. McKibbin B. The biology of fracture healing in long bones. J Bone Joint Surg (Br). 1978;60-B:150-62.
4. Bucholz RW, Heckman JD, Court-Brown CM, Torneta P. Rockwood and Green's Fractures in Adults. 7ª ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
5. Delgado-Martinez AD. Cirugía Ortopédica y Traumatología. 2ª ed. Madrid: Panamericana; 2012. p. 95-105.
6. Chao EYS, Aro HT. Biomechanics of fracture fixation. En Mow VC, Hayes WC, eds. Basic orthopaedics biomechanics. 1st Ed. New York: Raven Press; 1991. p. 293-336.
7. Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Manual de Cirugía Ortopédica y Traumatología. 2ª ed. Madrid; Panamericana; 2010.
8. Rüedi TP, Murphy WM, Colton CL, Fackelman GE, Harder Y, Álvarez V. Principios de la AO en el tratamiento de las fracturas. Barcelona: Masson; 2003. p. 93-120, 139-257.
9. Claes L, Augat P. Influence of size and stability of the osteotomy gap on the success of fracture healing. J Orthop Res. 1997;15:577-84.
10. Miller MD. Review of Orthopaedics. 5ª ed. Philadelphia: Saunders; 2008.