

CAPÍTULO 16 - INJERTOS DE TEJIDOS DEL APARATO LOCOMOTOR. BIOLOGÍA Y BIOMECÁNICA

Autores: Ana Méndez Gil, Diego Artemio Reátegui Villegas
Coordinador: Daniel Poggio Cano
Hospital Clínic de Barcelona

1.- INTRODUCCIÓN

Desde los primeros trabajos de Maceren en 1879 utilizando un fragmento autólogo tibial para tratar una pseudoartrosis infectada en el húmero de un niño, el uso de injertos en cirugía reconstructiva ortopédica ha ido extendiéndose (1). Tras los derivados hematopoyéticos, el hueso es el tejido humano que se emplea como injerto con más frecuencia. Todo ello ha sido facilitado por la aparición de los bancos de tejidos. Para la utilización con éxito de injertos del aparato locomotor, resulta crucial entender el ambiente biológico y biomecánico donde desempeñará su función. La incorporación del injerto y la técnica quirúrgica adecuada resultan aspectos críticos en el buen resultado final.

2.- INJERTOS ÓSEOS

La pérdida de masa ósea continúa siendo uno de los problemas más frecuentes a los que se enfrenta el cirujano ortopédico en su práctica quirúrgica diaria. Para rellenar o subsanar el déficit de reserva ósea (situación frecuente en cirugías de revisión protésica), favorecer la consolidación tras una fractura (2) o tratar con éxito una pseudoartrosis (3), el cirujano ortopédico debe utilizar preferiblemente injertos procedentes del hueso o en su defecto sustitutos óseos (Figura 1).

2.1. Biología y biomecánica de los injertos óseos

Los diferentes injertos y sustitutos óseos pueden presentar una o más de las siguientes propiedades (4) (Tabla 1):

- **Osteogénesis.** Formación de hueso nuevo a partir de células progenitoras (osteoblastos).
- **Osteoinducción.** Capacidad de un material (biológico o sintético) de orientar la diferenciación celular hacia la síntesis de matriz ósea mineralizada. Supone la formación de hueso nuevo a partir de las células mesenquimales del receptor, que se diferencian hacia osteoblastos.
- **Osteoconducción.** Propiedad pasiva del injerto consistente en aceptar y conducir el crecimiento de hueso a través suyo. Aquí el material actúa simplemente como “andamio” que permite dirigir el crecimiento del hueso neoformado. Durante el proceso, una matriz organizada de capilares, tejido perivascular y células madre mesenquimales parte del lecho receptor hacia el injerto, lo que permite la formación de nuevo hueso sobre un patrón determinado por las propiedades biológicas del injerto y el entorno mecánico de la interfaz injerto-receptor. Resulta primordial la preparación del lugar de recepción del injerto, evitando la interposición de partes blandas entre el injerto y el receptor permitiendo una buena superficie de contacto.

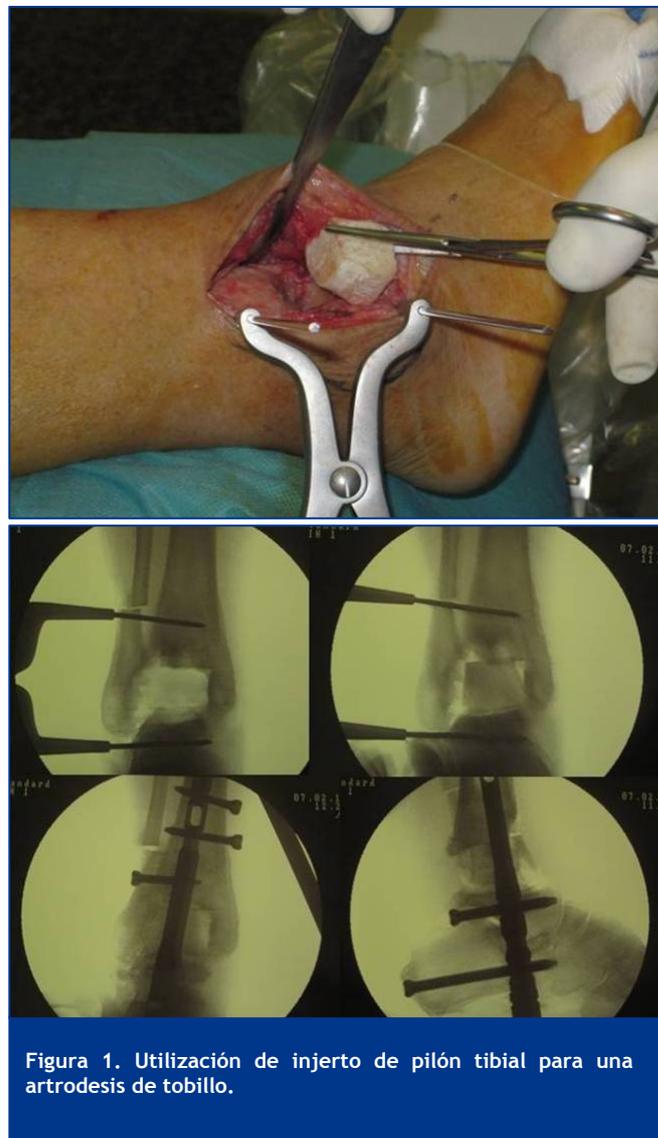


Figura 1. Utilización de injerto de pilón tibial para una artrodesis de tobillo.

El uso del injerto lleva implícito el concepto de incorporación del mismo al receptor. Esto comportará una serie de interacciones biológicas (Tabla 2) que incluyen una respuesta inflamatoria en el receptor, una respuesta inmune del receptor frente al injerto y un proceso de proliferación celular, migración, diferenciación y revascularización que finalizará en la formación ósea y la unión entre injerto y receptor. Las fases biológicas que ocurren durante el proceso de incorporación incluyen la formación del hematoma con liberación de citoquinas y factores de crecimiento, inflamación, migración y proliferación de células mesenquimales y desarrollo de tejido fibrovascular, la invasión del injerto por vasos, la resorción focal osteoclástica de la superficie del injerto y por último, la formación ósea endocondral o intramembranosa en la superficie del injerto (5).

Tabla 1. Características biológicas y biomecánicas de los injertos óseos
(+++ : actividad máxima; - : sin actividad)

Injerto	Osteogénesis	Osteoconducción	Osteoinducción	Propiedades mecánicas	Vascularización
Autoinjerto					
- Matriz ósea	++	+/-	+	-	-
- Esponjosa	++	++	+	+	-
- Cortical	+	+	+/-	++	-
- Vascularizado	++	++	+	++	+
Aloinjerto					
- Esponjosa	-	++	+	+	-
- Cortical	-	+/-	+/-	++	-
- Desmineralizado	-	++	+++	-	-
Factores de crecimiento	-	+/-	++	-	-
Componentes celulares	++	+/-	-	-	-
Polímeros	-	++	-	+	-
Xenoinjertos	-	+	-	+	-

Tabla 2. Factores locales y sistémicos que intervienen en la incorporación del injerto

Factores	Positivos	Negativos
Locales	Buena vascularización Superficie amplia de contacto Estabilidad mecánica Carga Estimulación eléctrica Factores de crecimiento	Radiación Malignización Infección Denervación Inestabilidad mecánica
Sistémicos	Hormona de crecimiento Hormona tiroidea Somatomedinas Vitamina A y D Insulina Hormona paratiroidea	Corticoides Antiinflamatorios no esteroideos Sepsis Quimioterapia Tabaco Diabetes Malnutrición Enfermedad metabólica ósea

El rendimiento mecánico del hueso injertado depende de sus propiedades como material, de su forma y tamaño, de la superficie de implantación y de la transmisión de cargas sobre el lecho. En muchas ocasiones, la eficacia del montaje requiere una estabilización suplementaria mediante fijación interna, siendo necesario evitar la creación de zonas de concentración de tensiones como perforaciones, ventanas óseas o cambios significativos de la sección transversa.

El injerto cortical es una estructura sólida, mientras que el esponjoso está constituido por una malla de placas y cilindros interconectados y orientados predominantemente según la dirección de las fuerzas locales que inciden sobre su superficie. El tejido compacto es anisótropo y su módulo de Young es 1,5 veces mayor en dirección axial que transversal. El módulo de elasticidad y la razón de Poisson son relativamente homogéneos, siendo muy dispersos en el hueso esponjoso. Por tanto el hueso compacto es más resistente en compresión que en torsión o tensión, siendo quebradizo en tensión transversal y dúctil ante tensiones axiales. En el eje longitudinal las corticales son capaces de absorber gran cantidad de energía antes de fracturarse. En general, el hueso trabecular parece diseñado para tolerar con mayor eficiencia cargas de compresión (en relación con su masa), ya que puede soportar deformaciones hasta del 50% antes de romperse. Las propiedades viscoelásticas del hueso compacto permiten un aumento del 15% en el módulo de elasticidad en los rangos de deformidades de las actividades habituales como correr o andar (6). En el hueso esponjoso esta capacidad es menor.

2.2. Clasificación de los injertos

Clásicamente, atendiendo a su origen (4) se han clasificado los injertos en (Tabla 1):

- **Autoinjertos:** procedentes del propio individuo. En esta categoría incluimos la utilización de médula ósea, las células osteogénicas procesadas, el hueso esponjoso y el hueso cortical autólogos, así como los injertos de hueso vascularizado procedentes del propio paciente. Presentan una histocompatibilidad completa, evitando el riesgo de transmisión de enfermedades. El autoinjerto procedente de la cresta iliaca es el injerto “patrón oro” y el más utilizado en la práctica clínica. Presenta una serie de desventajas como son la limitación en el volumen de material, así como la morbilidad asociada al proceso, siendo frecuentes la aparición de dolor en la zona dadora, infección, hemorragia, debilidad muscular y prolongación de la estancia hospitalaria. Asimismo, conviene reseñar que el autoinjerto proporciona un escaso soporte mecánico, lo cual limita su empleo en situaciones biomecánicamente más demandantes.
- **Aloinjertos:** procedentes de otro individuo de la misma especie. Se pueden clasificar atendiendo a diversas características como la procedencia anatómica y el procesado. El aloinjerto de hueso y otros tejidos blandos como tendones, ligamentos y meniscos, son gestionados por bancos de tejidos. Esta

organización se ocupa de la obtención, preparación, distribución y almacenamiento de células y/o tejidos procedentes de donantes vivos o cadáveres, regulado por la Asociación Española de Bancos de Tejidos (AEBT) y cuya legislación está reflejada en el Real Decreto 1133/2008 (7).

Los aloinjertos presentan diferentes formas de conservación:

- a) **Congelación.** La disminución de la temperatura es el sistema más simple de retrasar la acción de las colagenasa y otras proteasas. La actividad de las colagenasas no queda totalmente suprimida hasta los -70° , aunque se acepta que una temperatura de hasta -40° permite el almacenamiento durante 6 meses.
 - b) **Criopreservación.** Permite el almacenamiento de los tejidos, y por tanto realizar el estudio completo de los donantes y disponer de diferentes medidas para cada tipo de injerto. Los crioprotectores más frecuentemente utilizados son el dimetil-sulfóxido (DMSO) y el glicerol.
 - c) **En fresco.** Tiene como ventaja que asegura la viabilidad de las células, pero como inconveniente el poco tiempo disponible para obtener los resultados de los controles serológicos. Hasta dicha implantación, el injerto debe mantenerse y conservarse en solución de Ringer lactato con antibióticos a una temperatura de 2° C a 8° C.
 - d) **Liofilización.** Permite la conservación de los injertos mediante la deshidratación por congelación y evaporación directa. El producto resultante presenta las ventajas de que se puede almacenar a temperatura ambiente y de que la inmunogenicidad es inferior a la del tejido congelado. Por otra parte, al alterar la estructura del injerto, no están indicados en el caso de solicitaciones mecánicas.
 - e) El uso de aloinjertos se asocia con un importante número de complicaciones. La tasa de infecciones postoperatoria es más elevada que en otros tipos de cirugía pudiendo llegar hasta un 10-15%. En un 10% de los casos no se logra la unión del injerto con el huésped. Existe un riesgo de fractura del 10%, sobretodo cuando se emplean injertos estructurales masivos y hay que considerar la posibilidad de reabsorción del injerto en frecuencias entre el 4 y el 14%.
- **Xenoinjertos:** procedentes de otra especie. Por ejemplo, el hueso de Kiel (hueso bovino desengrasado y desnaturalizado) o el colágeno de origen bovino en diferentes presentaciones (polvo, esponja, malla, fieltro). Se han desarrollado biomateriales marinos como sustitutos óseos que incluyen coral, esqueleto de esponja y quitosano entre otros.
 - **Isoinjerto:** el que tiene lugar entre gemelos monozigóticos.

Se deben hacer mención otros tipos de sustancias, que pueden ser utilizados de forma aislada o conjuntamente con los materiales descritos anteriormente.

- a) **Factores de crecimiento:** naturales o recombinados utilizados de forma aislada o en combinación con otros materiales como

transforming growth factor (TGF-beta), factor de crecimiento plaquetario (PDGF), factor de crecimiento fibroblástico (FGF), y proteína morfogenética ósea (BMP).

- b) **Sustitutos óseos basados en componentes celulares:** utilización de células para generar nuevo tejido, aisladamente o con el soporte de una matriz (por ejemplo células mesenquimales).
- c) **Sustitutos óseos basados en componentes cerámicos:** incluye fosfato cálcico y sulfato cálcico.
- d) **Sustitutos óseos basados en polímeros:** polímeros degradable y no biodegradables.

3. OTROS INJERTOS: LIGAMENTOS, TENDONES, MENISCOS.

Mencionar brevemente la existencia de otros tipos de injertos del aparato locomotor. Donde más ampliamente han sido estudiados es en la rodilla (8).

A modo de ejemplo en las lesiones del ligamento cruzado anterior se ha estudiado el proceso de incorporación de los tendones y ligamentos autólogos y heterólogos. Se han caracterizado las fases como la necrosis grasa, la repoblación celular, la revascularización y el remodelado del colágeno. Estas fases tienen lugar de forma más rápida en los autoinjertos en comparación con los aloinjertos, aunque este hecho no ha demostrado que tenga ninguna influencia en la práctica clínica.

Otro campo en el que se han desarrollado múltiples injertos y sustitutos para su reparación son las lesiones meniscales (9). Los aloinjertos meniscales se presentan en forma fresca o liofilizada dependiendo de su procesado. Estudios experimentales que han comparado injertos frescos con criopreservados no han encontrado diferencias en cuanto al proceso de incorporación biológica. De forma teórica, en los aloinjertos frescos las células donantes actuarían proporcionando soporte a la matriz extracelular ayudando a mantener las propiedades estructurales del injerto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Goldberg VM, Stevenson S. Natural history of autografts and allografts. Clin Orthop Rel Res. 1987;225:7-16.
2. Mauffrey C, Seligson D, Lichte P, Pape HC, Al-Rayyan M. Bone graft substitutes for articular support and metaphyseal comminution: What are the options? Injury 2011(42):S35-S39.
3. Ashman O, Phillips AM. Treatment of non-unions with bone defects: Which option and why? Injury 2013;44(S1):S43-S45.
4. Nandi SK, Roy P, Mukherjee P, Kundu B, De DK, Basu D. Orthopaedic applications of bone graft & graft substitutes: a review. Indian J Med Res 2010;132,15-30.
5. Khan SN, Cammisa FP, Sandhu HS, Diwan AD, Girardi FP, Lane, M. The Biology of bone grafting. J Am Acad Orthop Surg. 2005;13:77-86.

6. Parsch D, Breitwieser T, Breusch SJ. Mechanical stability of structured bone grafts from the anterior iliac crest. *Clin Biomech.* 2008;23:955-60.
7. Segur JM, Suso S, García S, Combalía A, Ramón R. Factores de contaminación de los aloinjertos óseos. *Rev Ortop Traumatol.* 1997;41:564-7.
8. Tom JA, Rodeo SA. Soft tissue allografts for knee reconstruction in sports medicine. *Clin Orthop Rel Res.* 2002;402:135-56.
9. Tucker B, Khan W, Al-Rashid M, Al-Khateeb H. Tissue Engineering for the Meniscus: A review of the Literature. *Open Orthop Jour* 2012;6(Suppl2):348-351.