



No unión de fémur distal secundario a lesiones por armas de fuego; Manejo con técnica de masquetelet y revisión de la literatura

Distal Femoral Non-Union in Gunshot Wounds; Masquetelet Technique Management and Literature Review

Andrés Schmidt-Hebbel Niehaus^{1,2} Robert Etienne Partarrieu Stegmeier^{2,3} Matías Javier Croxatto³
Sergio Arellano Garrido^{1,2} Diego Edwards Silva¹ Alex Vaisman Burucker¹

¹Departamento Traumatología y Ortopedia, Clínica Alemana, Santiago, Chile

²Departamento de Ortopedia y Traumatología, Hospital Padre Hurtado, Santiago, Chile

³Facultad de Medicina Clínica Alemana, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

Address for correspondence: Andrés Schmidt-Hebbel, MD, Av. Vitacura 5951, Vitacura, Santiago, Chile (email: aschmidthebbel@gmail.com).

Rev Chil Ortop Traumatol 2023;64(3):e136–e142.

Abstract

Introducción Las fracturas expuestas por arma de fuego están en riesgo de presentar una pérdida de tejido óseo significativa. En defectos mayores de 2 cm es poco probable la consolidación. La técnica de membrana inducida (TMI) induce la formación de una membrana que facilita la consolidación. Se presentan dos casos de fractura expuestas por arma de fuego que evolucionaron con no uniones infectadas, defectos óseos y posterior manejo con la TMI.

Presentación de los casos Se presentan dos casos de fractura expuesta de fémur distal, secundarias a herida por arma de fuego. Ambos inicialmente manejados con fijación externa seguida de un clavo endomedular (CEM), que evolucionaron con no unión infectada y defecto óseo de 4 cm. Ambos se manejaron con la TMI, logrando control de la infección y consolidación.

Discusión La TMI fue utilizada de forma exitosa como cirugía de salvataje para defectos óseos secundarios a no unión infectada de fémur. El manejo de defectos óseos es un desafío ya que influye la infección, la pérdida de tejidos blandos, el gap óseo y el potencial de curación de la fractura. La TMI es una alternativa atractiva en el tratamiento de defectos óseos mayores de 2 cm, siendo la reparación independiente del tamaño del defecto y permitiendo controlar infecciones asociadas.

Palabras Claves

- ▶ técnica de membrana inducida
- ▶ defecto óseo
- ▶ no unión infectada

recibido
10 de mes de julio de 2023
aceptado
05 de octubre de 2023

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777992>.
ISSN 0716-4548.

© 2023. Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatología. All rights reserved.

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

Abstract

Conclusión La TMI es una técnica de salvataje efectiva para el manejo de defectos óseos por arma de fuego, la cual permite salvar la extremidad, con un manejo integral de los diversos aspectos necesarios a considerar en estos casos.

Introduction Gunshot-related open fractures are at risk for significant bone loss. Consolidation is unlikely in defects larger than 2 cm. The induced membrane technique (IMT) results in the formation of a membrane to facilitate consolidation. We present two cases of gunshot-related open fracture progressing with infected non-union and bone defects and their subsequent management with IMT.

Cases We present two cases of open fracture of the distal femur secondary to a gunshot wound. Initially, the two cases underwent external fixation followed by an intramedullary nail (IMN) placement. Both progressed with infected non-union and a 4-cm bone defect. IMT resulted in infection control and fracture consolidation.

Discussion IMT was a successful salvage surgery for bone defects secondary to an infected femoral non-union. Managing bone defects is challenging due to infection, soft tissue loss, bone gap, and fracture healing potential. IMT is an attractive alternative for treating bone defects bigger than 2 cm since the repair is independent of the defect size and allows infection control.

Conclusion IMT is an effective salvage technique for the management of bone defects caused by gunshots. It allows limb salvage and comprehensively manages the several aspects requiring consideration in these cases.

Keywords

- ▶ induced membrane technique
- ▶ bone defect
- ▶ infected non-union

Introducción

El hueso es uno de los pocos órganos que, aún en adultos, conserva su potencial de regeneración, conservando sus propiedades previas a la fractura, pudiendo éste consolidar de forma primaria o secundaria. En el caso de la consolidación secundaria, se forma un callo óseo a partir de osificación intramembranosa y endocondral donde células osteoprogenitoras del periostio y mesenquimales indiferenciadas son estimuladas, activando una cascada de proliferación y diferenciación celular que, con la adecuada vasculatura, culminará con la formación de un callo óseo.¹ Los defectos óseos son un área de difícil manejo dentro de la traumatología. Está descrito que en un 0.4% de las fracturas ocurre una pérdida ósea significativa, siendo mayor este porcentaje en fracturas expuestas. Incluso con fijación adecuada, defectos mayores a 2 centímetros son poco probable que consoliden de forma espontánea. En ciertos casos, el desbridamiento para remover bordes necróticos o infectados aumenta el defecto inicial, creando un escenario más difícil para la reconstrucción del hueso afectado²

Dentro de las técnicas descritas para reparación de defectos óseos están la Osteosíntesis por distracción (OD) y la Técnica de membrana inducida (TMI) descrita por Masquelet.¹

La OD consiste en la formación de hueso entre dos fragmentos vascularizados que son distanciados mediante una tracción lenta y gradual. Bajo las condiciones adecuadas, ocurre neoformación ósea mediante osificación intramembranosa.³

Otra alternativa para la reconstrucción de defectos óseos, particularmente los de mayor tamaño, es la técnica de osificación por membrana o TMI. En su trabajo original, Masquelet et al describe un 100% de unión en defectos óseos segmentarios de 4-25 cm. Ésta técnica combina la

formación de una membrana biológica de características similares al periostio y el uso de injerto óseo avascular.⁴ La técnica de Masquelet consta de dos tiempos. En el primer tiempo, se realiza debridamiento del tejido óseo infectado, necrótico o tumoral; implantación de un espaciador cementado de polimetilmetacrilato (PMMA), que puede o no estar embebido en antibióticos y fijación del defecto óseo, mediante inmovilizadores internos o externos. Durante el segundo tiempo, se retira el espaciador, preservando la membrana formada, se debridan los bordes óseos y se coloca injerto óseo en el defecto.⁵

En este artículo se revisarán dos casos de fracturas expuestas por arma de fuego que evolucionaron con no uniones infectadas, defectos óseos y posterior reconstrucción ósea con la TMI.

Caso 1

Paciente de sexo femenino de 43 años que sufre una fractura expuesta de fémur distal por arma de fuego. La radiografía muestra una fractura conminuta de fémur distal izquierdo (→ **Figura 1**) y el AngioTC descarta daño vascular. Ingres a pabellón donde se instala fijación externa. Ingres nuevamente a pabellón 4 días más tarde, para manejo quirúrgico definitivo, circunstancia en la que se instala un clavo endomedular retrógrado (CEMr) de fémur. Se realiza seguimiento imagenológico seriado mientras la paciente realiza kinesiterapia motora con carga progresiva desde las 6 semanas de la cirugía definitiva con CEMr. Sin embargo, en el control ambulatorio 8 meses tras la cirugía, refiere dolor de intensidad EVA 5/10 en reposo y 7/10 con carga. Al examen físico se observan heridas operatorias sin signos de infección, aunque destaca leve aumento de volumen, con parámetros



Figura 1 Fractura conminuta de fémur distal izquierdo.

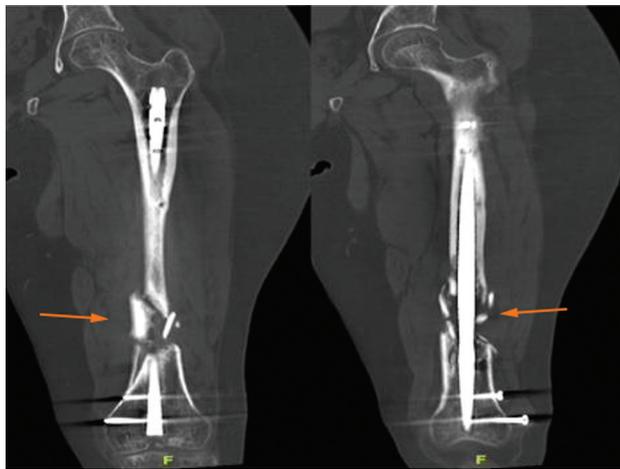


Figura 2 TC de fémur izquierdo 8 meses post cirugía. Se evidencia no unión atrófica (flecha naranja), con ausencia de callo óseo y reabsorción de bordes.

inflamatorios en rango normal. Se solicita una TC de fémur izquierdo (►Fig 2), donde se evidencia no unión atrófica de fémur distal.

En este contexto la paciente ingresa nuevamente a pabellón, bajo sospecha de no unión atrófica, donde se evidencia una no unión con abundante tejido necrótico. Se realiza un debridamiento agresivo de todo tejido desvitalizado, quedando un defecto óseo de $4 \times 4 \times 3$ cm de largo por lo que se decide realizar la TM. Se toman cultivos y biopsias. Posteriormente, se rellena el defecto con cemento óseo con 1 gr de vancomicina rodeando el clavo previamente instalado (►Fig 3). En los cultivos se desarrolló *S. epidermidis*, por lo que luego de la cirugía, la paciente es evaluada por infectología para definir la terapia antibiótica. Se inicia manejo antibiótico por 8 semanas, previo al 2do tiempo de Masquelet. Al completar la terapia antibiótica y evaluar los parámetros inflamatorios, se decide realizar el 2do tiempo. En éste se realiza retiro del espaciador cementado, recambio del CEMr y se rellena con una mezcla de autoinjerto y aloinjerto óseo de cabeza femoral (►Figuras 4 y 5), conservando la membrana de Masquelet. En los controles postoperatorios, se observa una buena evolución clínica, logrando consolidación ósea clínica y radiográfica a los 6 meses (►Fig 6). Al seguimiento de 27 meses la paciente se encuentra con remodelación ósea y excelentes resultados clínicos, con marcha normal y rangos de movimiento completos.

Caso 2

Paciente de sexo masculino de 21 años ingresa a reanimador por fractura expuesta femur distal por bala (►Fig 7). Es ingresado a pabellón para realizar aseo quirúrgico e instalación de tutor externo.

Tres semanas después se instala clavo retrógrado de fémur, con alta al día siguiente (►Fig 8).

Dos semanas después del alta, reconsulta en servicio de urgencias por cuadro de sangrado persistente por herida

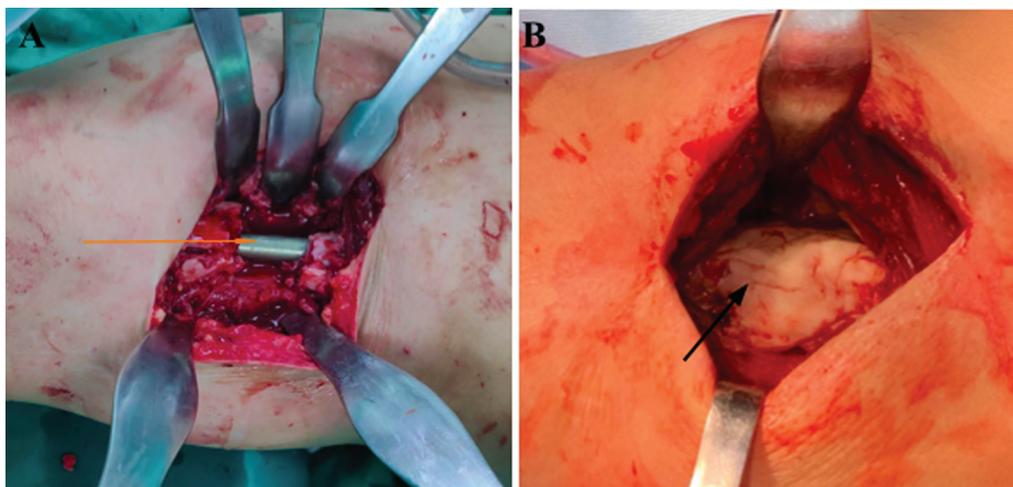


Figura 3 Fotografía intraoperatoria de Masquelet 1er tiempo. A) Defecto óseo posterior a desbridamiento de tejido necrótico y desvitalizado de no unión infectada 8 meses posterior a primera cirugía. Estabilización con clavo endomedular (flecha naranja). B) Se rellena defecto óseo con cemento de polimetilmetacrilato (PMMA) con Vancomicina (flecha), logrando cobertura de todo el defecto.

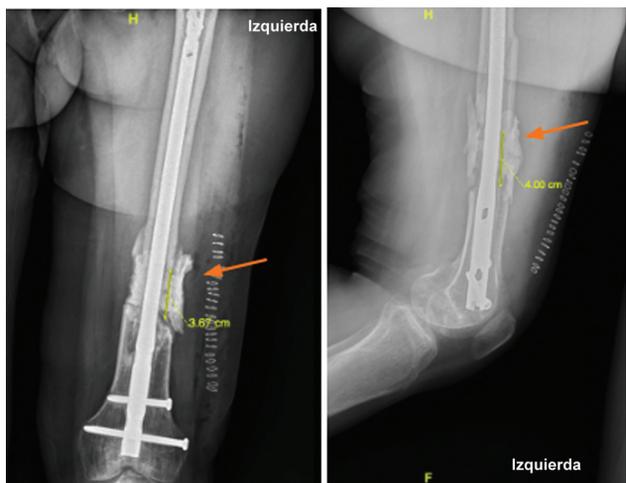


Figura 4 Radiografía AP y lateral posterior a desbridamiento de tejido necrótico y desvitalizado. Se evidencia cemento de PMMA (flecha naranja) con Vancomicina que rodea el clavo endomedular y cubre el defecto óseo de 4x4 cm.

operatoria, con caída de su hematocrito de 10 puntos. Se solicita AngioTC que informa pseudoaneurisma de arteria femoral, por lo que se decide hospitalizar para reparación del aneurisma. Durante la reparación del aneurisma, se evidencia salida de secreción purulenta por la herida, en relación al foco de la fractura. Se tomaron cultivos del lecho quirúrgico, los que resultaron positivos para *Serratia Marcenscens* multirresistente, sensible a carbapenémicos. Se diagnostica osteomielitis y se inicia terapia antibiótica.

Desde entonces, el paciente fue sometido a múltiples aseos quirúrgicos, con cultivos pre aseo positivos al mismo agente infeccioso, con igual sensibilidad. En un aseo, resulta positivo cultivo de tejido óseo con crecimiento de *Enterococcus Faecalis*, por lo que se ajusta terapia antibiótica. Se retira clavo endomedular y se instalan

tutores externos (►Fig. 9) En el último aseo, realizado 3 meses después del reingreso, se realiza resección de sequestro óseo, quedando un defecto de 4 cm que es rellenado con cemento de Tobramicina, manteniendo la fijación con tutores externos (►Fig 10). Seis semanas después, se realiza 2do tiempo de la TMI con retiro de tutores externos, instalación de clavo endomedular y autoinjerto de cresta ilíaca (►Fig 11). Radiografías seriadas durante la hospitalización muestran formación de callo óseo y consolidación del área de fractura (►Fig 12).

Discusión

La TMI fue utilizada de forma exitosa como cirugía de salvataje para dos pacientes con defectos óseos de mediano tamaño luego de una no unión de fémur producida por arma de fuego. Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, logrando una reparación del defecto óseo además de un control adecuado de la infección, con buena funcionalidad posterior. La TMI es una alternativa atractiva para el manejo de no unión infectada y defectos óseos, particularmente aquellos de ≥ 4 cm.

El manejo de defectos óseos de hueso largo en extremidad inferior persiste siendo de difícil manejo sin existir real consenso sobre su manejo, el cual frecuentemente es de salvataje, particularmente en contexto de no uniones infecciosas o lesiones tumorales. Defectos pequeños, de hasta 2 cm de longitud, pueden ser tratados con injerto autólogo de hueso esponjoso,⁶ mientras que los defectos óseos segmentarios más grandes, especialmente los que superan los 4-5 cm, normalmente requieren transporte óseo mediante osteogénesis por distracción (OD) o injerto óseo a través de la membrana inducida,^{7,8} La técnica de Masquelet se presenta como una alternativa atractiva para el manejo de estos defectos. Esta técnica se ha probado efectiva

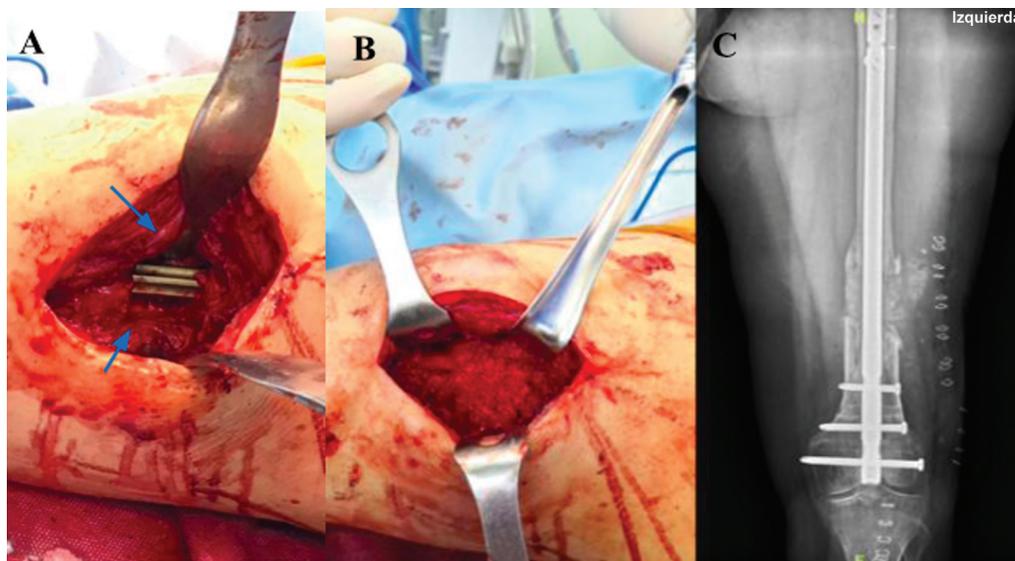


Figura 5 Fotografía intraoperatoria de Masquelet 2do tiempo. A) Se evidencia defecto óseo femoral con clavo endomedular in situ y membrana preservada (flechas azules). B) Defecto óseo rellenado utilizado auto y aloinjerto, logrando cobertura total de éste. C) Radiografía AP post operatoria donde se evidencia completa cobertura de defecto óseo con injerto.

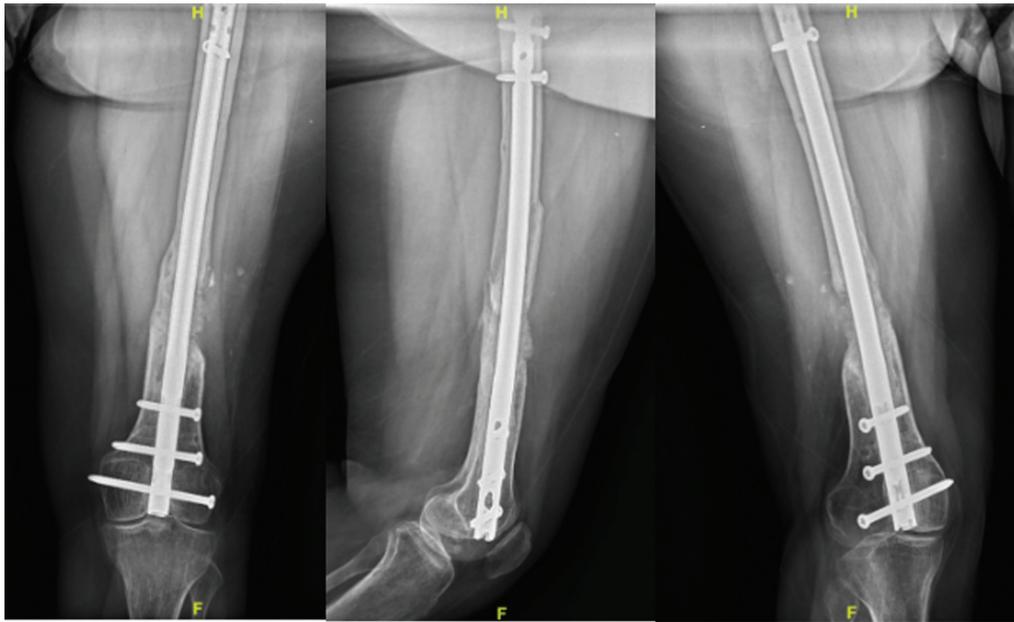


Figura 6 Radiografía AP, Lateral y Oblicua de control a 9 meses de la cirugía. Se evidencia consolidación ósea radiográfica en al menos 3 corticales.

para el tratamiento de defectos óseos producidos por traumatismos o desbridamiento quirúrgico por infecciones, no uniones, entre otras⁵. Desde su publicación en 2003, la técnica de inducción de membranas ha tenido gran aceptación, con un porcentaje de 67 a 100% de unión en cirugías bien indicadas, con una tasa de éxito mayor al 90%.⁹ En defectos óseos segmentarios postraumáticos infectados de tibia y fémur la técnica de Masquelet también ha logrado sobre un 95% de unión,¹⁰ siendo además una técnica muy

utilizada y de preferencia en manejo de defectos óseos traumáticos y por arma de fuego en ambiente militar¹¹

La principal alternativa a la técnica de Masquelet es la Osteogénesis por distracción (OD), la cual se basa en inducir la formación de hueso entre dos fragmentos de hueso vascularizados que se separan lenta y gradualmente formando hueso nuevo mediante osificación intramembranosa.^{12,13}

Pocos estudios han comparado Osteogénesis por distracción (OD) con la técnica de membrana inducida (MI). Estudios animales han sugerido que para defectos óseos segmentarios los efectos terapéuticos de MI y OD podrían depender del tamaño del defecto. Zhen et al estudiaron utilizando ratones la reparación ósea mediante seguimiento radiográfico, TC, histológico e inmunohistoquímico para



Figura 7 Radiografía AP de Fémur distal izquierdo con fractura conminuta desplazada.



Figura 8 Radiografía AP de Fémur distal posterior a instalación de clavo endomedular.

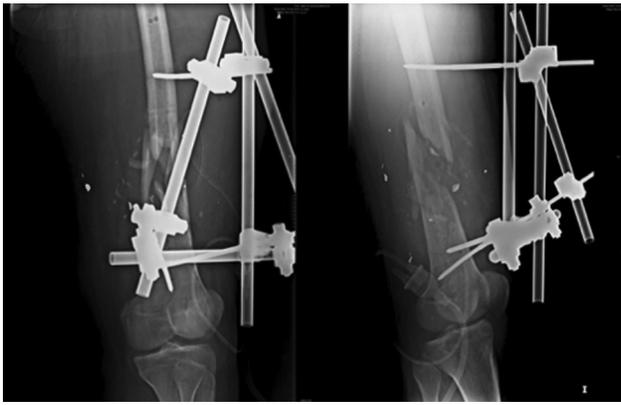


Figura 9 Radiografía AP y Lateral de Fémur distal posterior a retiro de clavo endomedular e instalación de tutores externos.

defectos óseos de distinto tamaño utilizando MI y OD. Para los defectos óseos segmentarios de pequeño tamaño la OD demostró ser más adecuada y eficiente que la MI, mientras que para defectos de gran tamaño ocurrió lo inverso, habiendo una clara ventaja de la MI sobre OD.¹⁴ Hasta nuestro conocimiento no hay estudios a la fecha que comparen directamente la técnica de masquelet con osteogénesis por distracción. Múltiples guías muestran como efectivas ambas técnicas, pero recomiendan el uso de MI sobre OD para defectos óseos de gran tamaño, particularmente aquellos sobre los 15 cm.¹⁵⁻¹⁷ La OD ofrece una tasa de éxito 95%, carga precoz (al ser realizada con tutor externo de Ilizarov), estimulación de angiogénesis y producción de hueso de buena calidad.¹⁵ Importantes desventajas son la dificultad técnica en su realización, la necesidad de compliance del paciente considerable y por tiempo prolongado, tiempos de tratamiento prolongados, necesidad de descarga durante el



Figura 10 Radiografía AP de Fémur distal donde se evidencia relleno del defecto óseo con cemento de PMMA con Tobramicina (flecha naranja).



Figura 11 Radiografía AP de Fémur distal posterior a retiro de tutores externos y espaciador de cemento y colocación de clavo endomedular y relleno de defecto óseo con autoinjerto de cresta ilíaca (flecha naranja).

tratamiento (con excepciones como al utilizar fijación externa de Ilizarov), riesgo de infección del pin y su trayecto, no unión, dolor crónico, contracturas articulares, entre otras.¹⁵ La tasa de elongación con OD varía entre 0,5-1 mm al día, lo cual presenta un problema importante al momento de enfrentarse a defectos óseos grandes, en algunos casos requiriendo 18 meses o más para lograr su correcto tratamiento con esta técnica.^{3,14} En contraste, la TMI ofrece una clara ventaja en defectos óseos medianos y grandes (≥ 4 cm) ya que, en general, la reparación es independiente del tamaño del defecto y la mayoría de los defectos se consideran curados a los 8-12 meses, estando descrita la consolidación completa de un defecto óseo de 25 cm a los 12 meses.¹⁶⁻¹⁹ Además, utiliza técnicas



Figura 12 Radiografías AP de Fémur distal donde se evidencia formación de callo óseo y consolidación de fractura a 2 (izquierda) y 6 meses (derecha) posterior a 2do tiempo de la cirugía de Masquelet.

quirúrgicas e implantes estándar, lo que implica una cirugía menos demandante técnicamente; permite carga precoz al utilizarse en conjunto con clavos endomedulares; y se minimiza la necesidad de un alto cumplimiento por parte del paciente y un seguimiento clínico frecuente, especialmente si se utiliza la fijación interna.¹⁶ Una importante parte de estas ventajas están dadas por la membrana, la cual es esencial para proveer vascularización y factores de crecimiento al autoinjerto óseo usado para rellenar el defecto, logrando que este injerto actúe como guía para la formación del callo óseo y reparar el defecto. Taylor et al, revisó la técnica de membranas inducidas y descubrieron que la membrana está bien vascularizada y compuesta de colágeno tipo I con fibroblastos con una capa interna de células epiteliales y una alta concentración de VEGF, RUNX2 (CBFA1), TGFβ1 y BMP2. Cuando además hay un clavo, notan una segunda membrana interna alrededor de éste, lo que potencialmente aumenta la vascularización local y la concentración de factores osteoinductivos.^{15,20} Se presentaron 2 casos de no unión infectada, con defectos post aseo quirúrgico de al menos 4 cm, los cuales se manejaron con técnica de masquelet. En ambos casos se lograron excelentes resultados, con manejo de la infección, consolidación clínica y radiológica y resultados funcionales favorables.

Actualmente existe ausencia de evidencia que compare el uso de MI con OD, no habiendo literatura sólida que respalde el uso de una técnica sobre la otra. Es nuestra experiencia que para casos con defecto óseos mayores de 4 cm, particularmente en contexto de no uniones infecciosas, la técnica de Masquelet ofrece ventajas claras en comparación a la OD, logrando buenos resultados al utilizarse correctamente.

Conclusión

En base a nuestra experiencia con los casos presentados, y la literatura analizada consideramos la TMI como una buena alternativa en pacientes con defectos óseos mayores a 4 cm, particularmente en contexto de no uniones infectadas, en cuyos casos logramos excelentes resultados. La ventaja que ofrece la técnica de MI tanto para el manejo de la infección como para la reparación del defecto óseo asociado lo transforman en una alternativa altamente atractiva para este tipo de casos. Esta técnica permite el salvataje de la extremidad, depende menos del compliance del paciente y permite una consolidación en tiempos acotados.

Conflict of Interest

Ninguno Declarado.

Bibliografía

- Giannoudis PV, Einhorn TA, Marsh D. Fracture healing: the diamond concept. *Injury* 2007;38(Suppl 4):S3-S6. Doi: 10.1016/s0020-1383(08)70003-2
- Keating JF, Simpson AH, Robinson CM. The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87(02):142-150. Doi: 10.1302/0301-620x.87b2.15874
- Giannoudis PV. Treatment of bone defects: Bone transport or the induced membrane technique? *Injury* 2016;47(02):291-292. Doi: 10.1016/j.injury.2016.01.023
- Klein C, Monet M, Barbier V, et al. The Masquelet technique: Current concepts, animal models, and perspectives. *J Tissue Eng Regen Med* 2020;14(09):1349-1359. Doi: 10.1002/term.3097
- Masquelet A, Kanakaris NK, Obert L, Stafford P, Giannoudis PV. Bone Repair Using the Masquelet Technique. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101(11):1024-1036. Doi: 10.2106/JBJS.18.00842
- Rao N, Ziran BH, Lipsky BA. Treating osteomyelitis: antibiotics and surgery. *Plast Reconstr Surg* 2011;127(Suppl 1):177S-187S. Doi: 10.1097/PRS.0b013e3182001f0f
- Lasanianos NG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Current management of long bone large segmental defects. *Orthop Trauma* 2010;24(02):149-163. Doi: 10.1016/j.morth.2009.10.003
- Marais LC, Ferreira N. Bone transport through an induced membrane in the management of tibial bone defects resulting from chronic osteomyelitis. *Strateg Trauma Limb Reconstr* 2015;10(01):27-33. Doi: 10.1007/s11751-015-0221-7
- De los Santos MFA, Ceballos SJA, Hernández FE, Sierra PM, Herrera CZV. Técnica de Masquelet en no unión atrófica de tibia con osteomielitis crónica, su descripción. *Acta Med Grupo Ángeles* 2021;19(02):280-284. Doi: 10.35366/100456
- Papakostidis C, Bhandari M, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis in the treatment of long bone defects of the lower limbs: effectiveness, complications and clinical results; a systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J* 2013;95-B(12):1673-1680. Doi: 10.1302/0301-620X.95B12.32385
- Aronson J, Harrison BH, Stewart CL, Harp JH Jr. The histology of distraction osteogenesis using different external fixators. *Clin Orthop Relat Res* 1989;(241):106-116
- Pesciallo CA, Garabano G, Dainotto T, Ernst G. Masquelet technique in post-traumatic infected femoral and tibial segmental bone defects. Union and reoperation rates with high proportions (up to 64%) of allograft in the second stage. *Injury* 2021;52(11):3471-3477. Doi: 10.1016/j.injury.2021.08.031
- Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res* 1990;(250):8-26
- Shen Z, Lin H, Chen G, et al. Comparison between the induced membrane technique and distraction osteogenesis in treating segmental bone defects: An experimental study in a rat model. *PLoS One* 2019;14(12):e0226839. Doi: 10.1371/journal.pone.0226839
- Ashman O, Phillips AM. Treatment of non-unions with bone defects: which option and why? *Injury* 2013;44(Suppl 1):S43-S45. Doi: 10.1016/S0020-1383(13)70010-X
- Alford AI, Nicolaou D, Hake M, McBride-Gagy S. Masquelet's induced membrane technique: Review of current concepts and future directions. *J Orthop Res* 2021;39(04):707-718. Doi: 10.1002/jor.24978
- Bafor A. Distraction osteogenesis: A review of the literature. *Nigerian Journal of Orthopaedics and Trauma* 2020;19(01):1https://link.gale.com/apps/doc/A631007781/HRCA?u=anon-80fd8424&sid=googleScholar&xid=cd9bf3a
- Klaue K, Knothe, et al. Biological implementation of autologous foreign body membranes in corticalization of massive cancellous bone grafts. *Trans Orthopaedic Trauma Assoc*, 1998
- Morelli I, Drago L, George DA, Gallazzi E, Scarponi S, Romanò CL. Masquelet technique: myth or reality? A systematic review and meta-analysis. *Injury* 2016;47(Suppl 6):S68-S76
- Taylor BC, French BG, Fowler TT, Russell J, Poka A. Induced membrane technique for reconstruction to manage bone loss. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20(03):142-150. Doi: 10.5435/JAAOS-20-03-142