



Reconstrucción diafisaria de radio en pérdida ósea infectada por *Pseudomonas aeruginosa* mediante técnica de Masquelet

Diaphysary radius reconstruction in bone loss infected by Pseudomonas aeruginosa using the masquelet technique

Gibrán Ambríz Ramírez,* Rodolfo Sánchez Ayala,† Israel Gutiérrez-Mendoza,§
Rafael Reyes Pantoja,¶ Óscar Iván Giles Mazón,* Gerardo Armando Esparza Méndez*

*Médico residente del cuarto año de la Especialidad de Ortopedia, UNAM, en el Hospital General «Dr. Miguel Silva» de Morelia, Michoacán; †Cirujano Ortopedista UNAM. Artroscopia, Ortopedia Regenerativa y Medicina Deportiva en Clínica del Pilar y Hospital Quirón, Barcelona, España, ISAKOS Teaching Center. Coordinador Módulo Ortopedia Regenerativa FEMECOT. Exprofesor Titular de Postgrado UNAM de la Especialidad de Ortopedia y adscrito al Módulo de Rescate Osteoarticular en el Hospital General «Dr. Miguel Silva» de Morelia, Michoacán. Hospital Memorial de Morelia, Morelia, México; §Cirujano Ortopedista. Maestría en Ciencias Médicas. Aguascalientes, México; ¶Cirujano Especialista en Ortopedia, Jefe del Servicio y Profesor adjunto de Postgrado, UNAM de la Especialidad de Traumatología y Ortopedia, adscrito al Módulo de Cirugía Articular en el Hospital General «Dr. Miguel Silva» de Morelia, Michoacán. Hospital Star Médica, Morelia, México.

Resumen

Introducción: la pseudoartrosis infectada en antebrazo representa un reto por su anatomía, además son escasas las publicaciones que describan el tratamiento de las pérdidas óseas diafisarias infectadas en radio utilizando la técnica Masquelet. El objetivo de reportar este caso es que teniendo una pérdida ósea de 7 cm infectada con *Pseudomonas aeruginosa*, eliminamos la infección, y basados en la importancia del concepto diamante mediante un equilibrio entre el ambiente biológico y una estabilidad mecánica absoluta, logramos la consolidación ósea y funcionalidad completa. **Presentación del caso:** paciente masculino, 30 años, diabetes mellitus tipo 2, pseudoartrosis séptica hipotrófica de radio izquierdo, tratado previamente por fractura cerrada, presentando un mes posterior rechazo del material de osteosíntesis con fístula cutánea, exudado purulento y cultivo para *Pseudomonas aeruginosa*. El tratamiento consistió en realizar la técnica de membrana inducida con polimetilmetacrilato medicado, aplicación de injerto autólogo de cresta iliaca más aspirado de médula ósea, eliminando la infección, logrando consolidación ósea y función completa. **Conclusión:** ante una pérdida ósea en radio de 7 cm infectada por *Pseudomonas aeruginosa* con el uso de la técnica de Masquelet erradicamos la infección y mediante el concepto diamante logramos una consolidación completa a los 10 meses de evolución y 100 puntos en la escala funcional modificada de muñeca de mayo.

Palabras clave: pseudoartrosis séptica, pérdida ósea, injerto de cresta iliaca, regeneración ósea, aspirado de médula ósea, Masquelet.

Abstract

Introduction: due to its anatomy, infected pseudoarthrosis in the forearm is a challenge, and there are also few publications that describe the treatment of infected diaphyseal bone loss in the radius using the Masquelet technique. The objective of reporting this case is that having a bone loss of 7 cm infected with *Pseudomonas aeruginosa*, we eliminate the infection and based on the importance of the diamond concept through a balance between the biological environment and absolute mechanical stability, we achieve bone consolidation and complete functionality. **Case presentation:** male patient, 30 years old, type 2 diabetes mellitus, hypotrophic septic nonunion of the left radius, previously treated for closed fracture, presenting a month later rejection of the osteosynthesis material with skin fistula, purulent exudate and culture for *Pseudomonas aeruginosa*. The treatment consisted of performing the induced membrane technique with medicated polymethylmethacrylate, application of an autologous iliac crest graft plus bone marrow aspiration, eliminating the infection, achieving

Correspondencia:

Gibrán Ambríz Ramírez
E-mail: argibrán9@gmail.com

Citar como: Ambríz RG, Sánchez AR, Gutiérrez-Mendoza I, Reyes PR, Giles MÓI, Esparza MGA. Reconstrucción diafisaria de radio en pérdida ósea infectada por *Pseudomonas aeruginosa* mediante técnica de Masquelet. Orthotips. 2023; 19 (2): 113-119. <https://dx.doi.org/10.35366/110719>

Recibido: 06/08/2022. Aceptado: 08/12/2022.

bone consolidation and complete function. **Conclusion:** faced with bone loss in a radius of 7 cm infected with *Pseudomonas aeruginosa* using the Masquelet technique, we eradicated the infection and through the diamond concept we achieved complete consolidation at 10 months of evolution and 100 points on the modified May wrist functional scale.

Keywords: septic nonunion, bone loss, iliac crest graft, bone regeneration, bone marrow aspiration, Masquelet.

Abreviaturas:

BMP-2 = proteína morfogenética ósea 2
DCP = placa de compresión dinámica
EVA = escala visual analógica
LCP = placa de compresión de bloqueo
MSC = células madre mesenquimales
PMMA = polimetilmetacrilato
TGF- β -1 = factor de crecimiento transformante beta-1
VEGF = factor de crecimiento vascular endotelial
VSG = velocidad de sedimentación globular

Introducción

La pseudoartrosis se define como la falta de consolidación nueve meses posteriores a la fractura, sin evidencia radiográfica de consolidación durante los primeros tres meses.¹ Ésta puede presentar distintas configuraciones, dependiendo de características basadas en su actividad biológica o morfología del callo como describieron Paley y Weber² y además, si se agregan a ésta otros factores como pérdida ósea e infección activa, tenemos una de las complicaciones más serias y de peor pronóstico para el paciente.

La pseudoartrosis séptica se define como falta de consolidación por proceso infeccioso en el foco.³ La incidencia de pseudoartrosis varía entre 3 y 4% de las fracturas según las series, con una media de 1.5 intervenciones quirúrgicas para pseudoartrosis asépticas y 3.4 intervenciones para las infectadas, lo que eleva costos en el tratamiento.⁴ La localización suele ser en los huesos largos, siendo el fémur, la tibia y el húmero los más afectados.⁵

Los factores relacionados al paciente son: edad, consumo de tabaco y alcohol, diabetes mal controlada, desnutrición, deficiencia proteica, sarcopenia, osteoporosis, deficiencia de vitamina D, calcio, postmenopausia y polimorfismo genético.^{6,7}

Y factores relacionados con la fractura: traumatismo de alta energía, lesión de tejidos blandos, fractura expuesta con alto puntaje en la escala de Gustilo-Anderson, fracturas conminutas, inestabilidad mecánica, infección, inmovilización prolongada, el uso preoperatorio o prolongado de antiinflamatorios no esteroideos y pérdida ósea.^{6,7}

Su tratamiento se divide en dos fases: primera fase que incluye el desbridamiento del foco, el relleno

de cavidades, la estabilización ósea y la cobertura o reconstrucción de las partes blandas, y para la segunda fase una cirugía reconstructiva del defecto óseo y, si fuera necesario, de las partes blandas.²

Para la pérdida ósea menor de 5 cm existen diferentes técnicas (p. ej. osteogénesis por distracción, auto/aloinjertos estructurales, injerto óseo vascularizado) para su tratamiento; sin embargo, no han demostrado efectividad con defecto mayor debido a reabsorción del injerto.^{2,8,9} La técnica de dos pasos del Dr. Masquelet permite tratar y erradicar la infección, colocar injertos de mayor tamaño sin que se realice reabsorción de éste, y manejo de tejidos blandos gracias a las características de la membrana inducida: a) lecho ricamente vascularizado; b) fibroblastos, miofibroblastos y colágeno tipo IV en la membrana externa, con membrana interna de epitelio de tipo sinovial predominante en colágeno tipo I-III; c) factor de crecimiento vascular endotelial (VEGF) y factor de crecimiento transformante beta-1 (TGF- β -1) observados en alta concentración a las dos semanas y proteína morfogenética ósea 2 (BMP-2) a las cuatro semanas, evitando además reabsorción de injerto por mecanismo de aislamiento.⁹ Además, coadyuvando en erradicación de la infección, al polimetilmetacrilato (PMMA) se agregan antimicrobianos termoestables, ya sea actualmente con gentamicina, tobramicina o vancomicina.

El «concepto diamante» introducido como guía para tener respuestas favorables en reconstrucción ósea da igual importancia a la estabilidad mecánica y al entorno biológico: teniendo sus pilares éste último en disponibilidad de mediadores osteoinductores, células osteogénicas, una matriz osteoconductora (andamio), vascularización adecuada y tratamiento de cualquier comorbilidad existente en el huésped,¹⁰ logrando apegarnos al concepto mediante la utilización de toma de injerto de cresta iliaca y aspirado de médula ósea de cresta posterosuperior, los cuales reúnen los componentes del entorno biológico, y aplicando estabilización con placa de compresión de bloqueo (LCP, por sus siglas en inglés) de 3.5 de radio, con el fin tener los elementos necesarios para el éxito del tratamiento.

El objetivo del presente caso clínico es demostrar cómo utilizando el concepto diamante como guía y

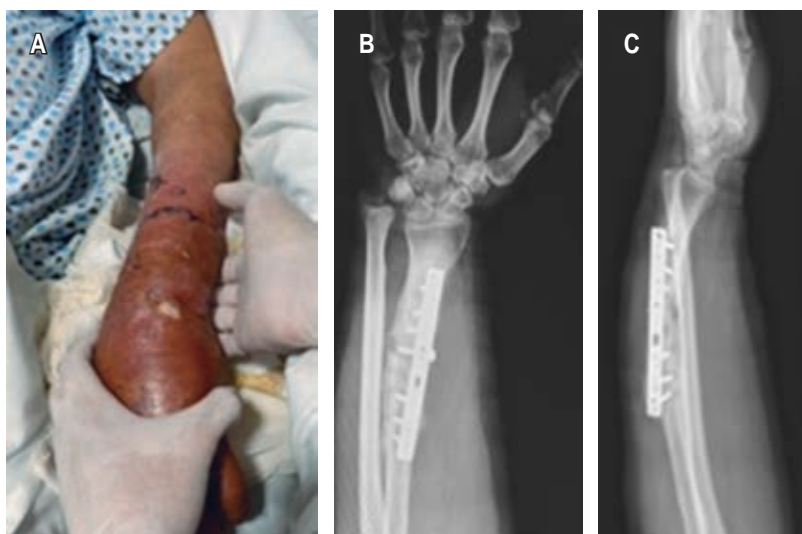


Figura 1:

A) Imagen clínica de la lesión en antebrazo con presencia de exudado. **B y C)** Radiografías anteroposterior y lateral de antebrazo izquierdo con aumento de densidad de tejidos blandos falta de consolidación de fractura y luxación de articulación radiocubital distal.

mediante técnica de Masquelet, el injerto de cresta iliaca más aspirado de médula ósea posterosuperior, se logró tratar una pseudoartrosis séptica con pérdida ósea de 7 cm con infección agregada por *Pseudomonas aeruginosa*.

Presentación del caso

Masculino de 30 años, comerciante, diabético tipo 2 descontrolado como comorbilidad, con antecedente de un mes atrás haber sufrido fractura de radio izquierdo secundaria a caída en motocicleta y ser tratado mediante osteosíntesis con placa de compresión dinámica (DCP, por sus siglas en inglés) de 3.5 de radio. Padecimiento de 15 días de evolución caracterizado por dolor en antebrazo izquierdo EVA (escala visual analógica) 3/10 que se tornó progresivo, presencia de fístula con exudado purulento (*Figura 1*). Es tratado en un inicio con toma de cultivo e inmovilización y posteriormente con primer tiempo quirúrgico, donde se practica aseo quirúrgico, retiro de material de osteosíntesis y estabilización con fijador externo.

En las radiografías iniciales se aprecia foco de pseudoartrosis séptica, aumento de volumen de tejidos blandos, con pérdida ósea menor de 1 cm y luxación de articulación radiocubital distal. El segundo tiempo quirúrgico, ya con cultivo positivo para *Pseudomonas aeruginosa* y tratamiento intravenoso de acuerdo con antibiograma con ciprofloxacino y amikacina por 21 días, se procede a realizar nuevo aseo y debridación, con resección de tejido óseo desvitalizado y aplicación de la técnica de Masquelet

fase 1, con cemento medicado con gentamicina y vancomicina (*Figura 2*).

Después de 16 semanas de seguimiento con normalización de cuenta leucocitaria ($< 4,000 \text{ mm}^3$) y reactantes de fase aguda negativos (VSG $< 10 \text{ mm/h}$, PCR $< 5 \text{ mm mg/l}$), que traducen infección remitida, se decide realizar Masquelet fase 2. Primero posicionamos al paciente en decúbito lateral, y con ayuda de control fluoroscópico se posiciona una aguja Jamshidi 11 G x 10 cm en la cresta iliaca posterosuperior en la sección anatómica del íleon 6, además, de manera percutánea se procede a realizar aspirado de médula ósea, del que se extrae 1 ml, al girar el bisel y retraer la aguja por cada mililitro de aspirado, con lo cual se evita aspirar cantidades mayores a éste, debido a la dilución por sangre periférica que disminuye la concentración de células madre mesenquimales (MSC, por sus siglas en inglés), hasta tener tres jeringas de 10 ml.¹¹⁻¹³ En el transoperatorio, al hacer escarificación y hueso sangrante, se determina una pérdida ósea de 7 cm, realizamos toma y aplicación de dos bloques de cresta iliaca de 2 y 5 cm, respectivamente, y colocamos LCP de 3.5 de radio con 12 orificios, se colocaron cuatro tornillos proximales, dos al injerto y cuatro distales, con lo que nos aseguramos de obtener una osteosíntesis lo más rígida posible. El injerto restante se prepara en pequeños fragmentos de 3 mm. Finalmente, se procede a realizar mezcla del aspirado de médula ósea con el aloinjerto óseo de cresta, con el cual se rellena la pérdida restante (*Figura 3*).

Gracias al seguimiento del paciente a uno, dos, tres, seis, ocho, 10 y 12 meses se obtuvo evolución



Figura 2: **A)** Radiografía anteroposterior de antebrazo izquierdo postoperatoria de aseo y resección de tejido desvitalizado con fijación externa. **B)** Radiografía anteroposterior de antebrazo izquierdo en postoperatorio con la técnica de Masquelet fase 1 con colocación de cemento medicado en el sitio de la pérdida ósea.

satisfactoria tanto clínica como radiográficamente. Apreciamos puentes óseos en los extremos del aloinjerto de cresta a partir del tercer mes, por lo que se indicó rehabilitación con ejercicios isométricos, con carga parcial progresiva, mejorando la formación del callo óseo en el control a los seis meses, por lo que se indicó trabajo normal de la extremidad. Observamos regeneración ósea total a los 10 meses (Figura 4). En la actualidad el paciente se encuentra con función de extremidad conservada con una puntuación de 100 puntos en la escala modificada de muñeca de mayo.¹⁴

Discusión

En el caso presentado, el paciente mostró una pseudoartrosis séptica con 7 cm de pérdida ósea en radio, la cual fue tratada mediante técnica de Masquelet con aplicación de polimetilmetacrilato medicado con gentamicina y 1 g de vancomicina, los cuales no interfieren con las propiedades de la membrana inducida como lo demostraron Xie y colegas,¹⁵ además de tratamiento endovenoso (ciprofloxacino y amikacina) guiado mediante cultivo y antibiograma para *Pseudomonas aeruginosa*. En la primera intervención quirúrgica se realizó aseo quirúrgico, debridación de tejidos blandos no viables siguiendo la recomendación de Masquelet y su equipo,¹⁶ retiro del

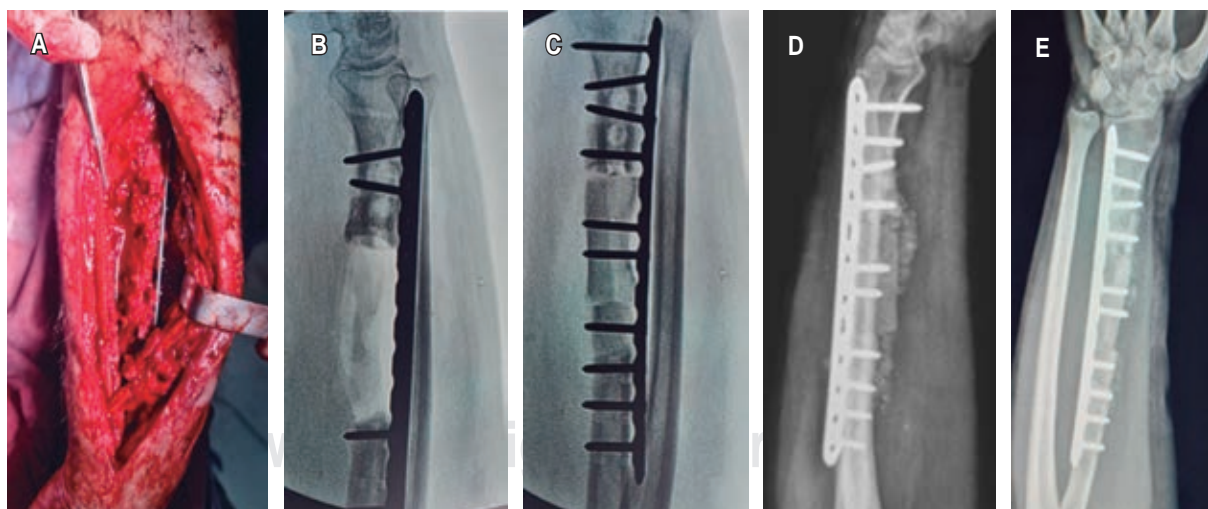


Figura 3: **A)** Imagen en el transoperatorio de radio izquierdo donde se muestra la fijación y la aplicación del injerto autólogo. **B)** Radiografía lateral transoperatoria de radio izquierdo donde se demuestra la cantidad de resección de tejido óseo no viable. **C)** Controles transoperatorios en proyecciones anteroposterior y lateral de antebrazo izquierdo, posteriores a la colocación y fijación del bloque de cresta iliaca. **D y E)** Controles postoperatorios en proyecciones anteroposterior y lateral de la técnica de Masquelet fase 2. Se aprecia injerto autólogo con el que se rellenó pérdida ósea y fijación con placa, además de reducción de luxación radiocubital distal.

**Figura 4:**

A y B) Control radiográfico de antebrazo izquierdo en proyección anteroposterior y lateral a los 10 meses de la intervención, con consolidación e integración del aloinjerto.
C) Imagen clínica de antebrazo izquierdo sin presencia de fístula y capacidad a la extensión conservada.

material de osteosíntesis y estabilización con fijador externo,¹⁷ posteriormente se procedió a realizar la fase 1 del Masquelet.

A las 12 semanas posterior al tratamiento antimicrobiano se procede a realizar la fase 2 de Masquelet, se coloca aloinjerto de cresta iliaca, ya que sigue siendo el estándar de oro como lo demuestran Sen y su colaborador,¹⁸ por poseer características osteogénicas, osteoinducturas y osteoconductoras, en especial por la presencia de MSC como lo demostraron Schottel y su grupo.¹⁹ Aun así, decidimos coadyuvar al proceso con la inclusión de aspirado de médula ósea posterosuperior en detrimento de la anterior, ya que en algunos estudios la mayor concentración de MSC se encuentra en esta región.^{20,21} Una vez que se ha colocado el injerto se procede a la estabilización con una LCP de 3.5 de radio y posterior aplicación de mezcla entre injerto autólogo de cresta y aspirado de médula ósea, completando así el concepto «diamante»,¹⁰ lo que favorece el entorno para la consolidación de la pérdida ósea, teniendo 100% de ésta a 10 meses de la última intervención quirúrgica y con el paciente realizando actividades de la vida diaria a partir de los seis meses postquirúrgicos.

En comparación con los estudios de los doctores Masquelet y Morell en los cuales comparan la unión de injerto-hueso posterior a realizar la fase 2 con 35 pacientes en un rango de seis a 17 meses y de seis a 21, respectivamente, se observó una tasa de éxito

de 80-82%, nuestro paciente al tener consolidación completa en 10 meses se apegó al rango esperado estudiado.^{15,22} Walker y colegas, realizaron un estudio de nueve pacientes, a los cuales se les aplicó la técnica de Masquelet en antebrazo, de los cuales cinco tenían una pérdida en rango de 4.7 cm y la forma de obtención de injerto fue mediante rima-irrigador-aspirador de autoinjerto de fémur, reportando unión exitosa en todos sus casos; sin embargo, nuestro paciente contaba con pérdida mayor (7 cm), por lo que se utilizaron dos bloques de injerto de cresta iliaca de 5 y 2 cm, respectivamente, con aspirado de médula ósea, teniendo también la unión como resultado exitoso.²³

Lauthe y su equipo realizaron un estudio retrospectivo de 13 pacientes, los cuales se presentaban con no unión en antebrazo por distintas etiologías, de estos pacientes, seis se reportaron con infección previa activa, a los cuales se les realizó desbridamiento en primer tiempo quirúrgico, y colocación de polimetilmetacrilato medicado. En el seguimiento la infección remitió y permitió continuar con la fase 2 de tratamiento y la colocación de injerto autólogo con fijación en un rango de tres meses, y en comparación con nuestro paciente, el control de la infección se dio en un rango de 12 semanas, similar a lo reportado por Lauthe, lo cual permite comprobar que si bien la segunda fase de tratamiento establecida por el Dr. Masquelet está en un rango de seis a ocho semanas,

su realización en pacientes con infección activa puede alargarse en la fase 1 de cemento medicado a la negativización de infección, y posteriormente continuar con fase 2 siempre y cuando haya un adecuado manejo de tejidos blandos.²⁴

Resultados similares a nuestra técnica quirúrgica fueron obtenidos por De Lorenzo en un caso reportado de fractura infectada de radio, a la cual en un primer tiempo fijó con placa, desarrollando infección, colocó un primer tiempo de cemento medicado sin que la infección cediera, por lo que fue necesario cambio de antibiótico en cemento medicado y antibióticos vía oral. Una vez que cedió la infección, aplicó injerto vascularizado de peroné, el cual terminó en no unión, y posteriormente decidió utilizar ortobiológicos (injerto autólogo de cresta iliaca, aspirado de cresta posterosuperior, plasma rico en plaquetas) teniendo como resultado unión de la fractura a los seis meses posterosuperiores al tratamiento.²⁵

En otro estudio, publicado por Bourgeois y colaboradores, al realizar la técnica de membrana inducida en una serie de nueve pacientes identificaron las siguientes complicaciones: inestabilidad radicubital, infección del dispositivo de fijación y un paciente con la formación de un absceso, en comparación con el nuestro que con el tratamiento previo mediante aseo quirúrgico, colocación de cemento medicado y monitorización de reactantes de fase aguda (volumen de sedimentación globular, proteína C reactiva y fórmula blanca) fue posible erradicar por completo la infección de manera inicial y no tuvimos complicaciones secundarias una vez que se terminó la fase 2 del tratamiento y hasta la consolidación definitiva.²⁶

En nuestro caso clínico tuvimos como limitante que se requiere contar con un mayor número de casos similares manejados bajo la misma técnica quirúrgica para considerar resultados consistentes, y con mayor validez interna y externa, así como describir con más veracidad las complicaciones existentes con este tipo de tratamiento. Se sugiere realizar a futuro un ensayo clínico controlado con dos grupos de tratamiento con y sin la utilización de la técnica de membrana inducida para la erradicación de la infección, lograr la consolidación ósea y una funcionalidad completa de manera efectiva en la reconstrucción de pérdidas óseas infectadas de radio.

Conclusión

En este caso clínico podemos observar que ante una pérdida ósea en radio de 7 cm infectada por

Pseudomonas aeruginosa en un inicio erradicamos la infección con la técnica Masquelet y posteriormente utilizando el concepto diamante logramos una consolidación completa a los 10 meses de evolución y 100 puntos en la escala funcional modificada de muñeca de mayo.

Se recomienda a futuro continuar con la línea de investigación mediante ensayos clínicos controlados tomando en consideración el método de tratamiento empleado para el presente caso clínico en pacientes con pérdidas óseas comparando con un grupo control.

Se abre un nuevo panorama en el tratamiento de pérdidas óseas masivas, cada día con mayor soporte científico en terapias biológicas, las cuales tienen un futuro prometedor a corto plazo sopesando el riesgo costo-beneficio. Las pérdidas óseas masivas son un desafío para el ortopedista, por lo cual hoy en día debe estar dentro de nuestro arsenal terapéutico el uso y conocimiento de la técnica de Masquelet y el concepto diamante para restablecer la funcionalidad de extremidades y mejorar la calidad de vida.

Referencias

1. Schmal H, Brix M, Bue M, Ekman A, Ferreira N, Gottlieb H, et al. Nonunion - consensus from the 4th annual meeting of the Danish Orthopaedic Trauma Society. *EFORT Open Rev.* 2020; 5 (1): 46-57.
2. Hernández-Valera D, Pancorbo-Sandoval E, Delgado-Quñones A, Echevarría-Borges Y, Quesada-Pérez J, Díaz-Prieto G. Tratamiento de pseudoartrosis séptica de tibia secundaria a fractura expuesta. A propósito de un caso. *Revista Médica Electrónica.* 2021; 43 (5): 8.
3. Audigé L, Griffin D, Bhandari M, Kellam J, Rüedi TP. Path analysis of factors for delayed healing and nonunion in 416 operatively treated tibial shaft fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2005; 438: 221-232.
4. Hak DJ, Fitzpatrick D, Bishop JA, Marsh JL, Tilp S, Schnettler R, et al. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial aspects. *Injury.* 2014; 45 Suppl 2: S3-7.
5. Escarpanter BJC. *Seudoartrosis diafisaria.* La Habana: Editorial Ciencias Médicas. 2011, 171.
6. Pardo C, Rey D. Descripción de los factores de riesgo biológicos para pseudoartrosis. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía,* 2017; 26 (3): 172-177.
7. Zura R, Mehta S, Della Rocca GJ, Steen RG. Biological risk factors for nonunion of bone fracture. *JBJS Rev.* 2016; 4 (1): e5.
8. Roddy E, DeBaun MR, Daoud-Gray A, Yang YP, Gardner MJ. Treatment of critical-sized bone defects: clinical and tissue engineering perspectives. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018; 28 (3): 351-362.
9. Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthop Clin North Am.* 2010; 41 (1): 27-37.

10. Andrzejowski P, Giannoudis PV. The 'diamond concept' for long bone non-union management. *J Orthop Traumatol*. 2019; 20 (1): 21.
11. Hernigou J, Alves A, Homma Y, Guissou I, Hernigou P. Anatomy of the ilium for bone marrow aspiration: map of sectors and implication for safe trocar placement. *Int Orthop*. 2014; 38 (12): 2585-2590.
12. Muschler GF, Nitto H, Boehm CA, Easley KA. Age- and gender-related changes in the cellularity of human bone marrow and the prevalence of osteoblastic progenitors. *J Orthop Res*. 2001; 19 (1): 117-125.
13. Hernigou P, Poignard A, Beaujean F, Rouard H. Percutaneous autologous bone-marrow grafting for nonunions. Influence of the number and concentration of progenitor cells. *J Bone Joint Surg Am*. 2005; 87 (7): 1430-1437.
14. Adani R, Tarallo L, Amorico MG, Tata C, Atzei A. The treatment of distal radius articular fractures through lcp system. *Hand Surg*. 2008; 13 (2): 61-72.
15. Xie J, Wang W, Fan X, Li H, Wang H, Liao R, et al. Masquelet technique: effects of vancomycin concentration on quality of the induced membrane. *Injury*. 2022; 53 (3): 868-877.
16. 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.
17. Raven TF, Moghaddam A, Ermisch C, Westhauser F, Heller R, Bruckner T, et al. Use of Masquelet technique in treatment of septic and atrophic fracture nonunion. *Injury*. 2019; 50 Suppl 3: 40-54.
18. Sen MK, Miclau T. Autologous iliac crest bone graft: should it still be the gold standard for treating nonunions? *Injury*. 2007; 38 Suppl 1: S75-80.
19. Schottel PC, Warner SJ. Role of bone marrow aspirate in orthopedic trauma. *Orthop Clin North Am*. 2017; 48 (3): 311-321. doi: 10.1016/j.ocl.2017.03.005.
20. Pierini M, Di Bella C, Dozza B, Frisoni T, Martella E, Bellotti C, et al. The posterior iliac crest outperforms the anterior iliac crest when obtaining mesenchymal stem cells from bone marrow. *J Bone Joint Surg Am*. 2013; 95 (12): 1101-1107.
21. Hernigou P, Mathieu G, Poignard A, Manicom O, Beaujean F, Rouard H. Percutaneous autologous bone-marrow grafting for nonunions. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am*. 2006; 88 Suppl 1 Pt 2: 322-327.
22. Alford AI, Nicolaou D, Hake M, McBride-Gagyi S. Masquelet's induced membrane technique: review of current concepts and future directions. *J Orthop Res*. 2021; 39 (4): 707-718.
23. Walker M, Sharareh B, Mitchell SA. Masquelet reconstruction for posttraumatic segmental bone defects in the forearm. *J Hand Surg Am*. 2019; 44 (4): 342.e1-342.e8.
24. Lauthe O, Gaillard J, Cambon-Binder A, Masquelet AC. Induced membrane technique applied to the forearm: Technical refinement, indications and results of 13 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021; 107 (8): 103074.
25. Lorenzo FDR. Treating a recalcitrant non-union of the radius using autogenous bone, equine bone paste, equine demineralized bone matrix, platelet rich plasma, and bone marrow aspirate. A case report. *J Orthop Case Rep*. 2017; 7 (6): 31-35.
26. Bourgeois M, Loisel F, Bertrand D, Nallet J, Gindraux F, Adam A, et al. Management of forearm bone loss with induced membrane technique. *Hand Surg Rehabil*. 2020; 39 (3): 171-177.

Conflicto de intereses

Se declara no tener conflicto de intereses.