



Empleo de esponjas de gelatina «Gelfoam» como andamio en combinación con autoinjerto para el tratamiento de pseudoartrosis. Reporte de casos

Use of gelatin sponge «Gelfoam» as a scaffold in combination with autograft for the treatment of pseudoarthrosis, case report

Óscar Iván Giles Mazón,* Rodolfo Sánchez Ayala,† Rafael Reyes Pantoja,§
 Miriam Astrit Barriga Magaña,¶ Juan Antonio Silva Méndez,¶ Israel Gutiérrez-Mendoza,||
 Gibran Ambriz Ramírez,** Carlos Alberto Reyes Botello††

*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. Módulo Ortopedia Regenerativa FEMECOT. Profesor Titular de Postgrado UNAM de la Especialidad de Ortopedia y adscrito al Módulo de Rescate Osteoarticular en Hospital General «Dr. Miguel Silva» Morelia y Hospital Memorial de Morelia, Michoacán; §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 de Morelia; ¶Cirujano Ortopedista UNAM en el Hospital General «Dr. Miguel Silva» de Morelia, Michoacán; ||Cirujano Ortopedista. Maestría en Ciencias Médicas, Aguascalientes; **Médico residente del cuarto año de la Especialidad de Ortopedia UNAM en el Hospital General «Dr. Miguel Silva» de Morelia, Michoacán; ††Cirujano Ortopedista UNAM, Cirujano Ortopedista UNAM en el Hospital Ángeles de Morelia, Michoacán, México.

Resumen

Introducción: el manejo actual de la pseudoartrosis se ha convertido en un reto para los ortopedistas, ya que no existe un tratamiento que pueda garantizar la consolidación ósea, por lo que es necesario en estos casos el uso de ortobiológicos que, junto con las condiciones biomecánicas óptimas, son parte fundamental para el tratamiento de la pseudoartrosis. **Reporte de casos:** en este reporte se presentan dos casos, ambos masculinos de 25 y 23 años con fractura diafisaria de fémur, posterior a un accidente automovilístico, los cuales fueron intervenidos quirúrgicamente, pero con evolución hacia la pseudoartrosis. Ambos pacientes fueron tratados mediante retiro de material de osteosíntesis, desbridamiento de tejido óseo no viable y posterior enclavado centromedular, con colocación de autoinjerto de cresta iliaca más aspirado de médula ósea, usando como contenedor del injerto y andamio una esponja de gelatina, con lo cual ambos obtuvieron una regeneración y consolidación ósea total de manera más rápida. **Conclusiones:** resaltamos el uso de la esponja de gelatina como membrana de contención y medio ideal para el transporte de factores de crecimiento y diferenciación celular de osteoblastos provenientes del autoinjerto, que podrían actuar en sinergia al acelerar el proceso de consolidación ósea y mejorar la tasa de éxito en el tratamiento de esta patología.

Palabras clave: ortobiológicos, injerto óseo autólogo, esponjas de gelatina, andamio, pseudoartrosis, regeneración ósea.

Abstract

Introduction: the current management of pseudarthrosis has become a challenge for Orthopedists, since there is no treatment that can guarantee bone consolidation, being necessary in these cases the use of orthobiologics, which together with optimal biomechanical conditions are a fundamental part of the treatment of pseudarthrosis. **Case report:** in this report we present two cases, both male, 25 and 23 years old, with diaphyseal fracture of the femur following a motor vehicle accident, the patients underwent surgery, but with evolution towards pseudarthrosis. Both patients were treated by removal of osteosynthesis material, debridement of non-viable bone tissue and subsequent centromedullary nailing, with placement of iliac crest autograft plus bone marrow aspirate, using a gelatin sponge as graft container and scaffold, with which both obtained a faster total bone regeneration and consolidation. **Conclusions:** we highlight the use of the gelatin

Correspondencia:

Óscar Iván Giles Mazón

E-mail: oscargima92@gmail.com

Citar como: Giles MÓI, Sánchez AR, Reyes PR, Barriga MMA, Silva MJA, Gutiérrez-Mendoza I, et al. Empleo de esponjas de gelatina «Gelfoam» como andamio en combinación con autoinjerto para el tratamiento de pseudoartrosis. Reporte de casos. Orthotips. 2022; 18 (4): 331-336. <https://dx.doi.org/10.35366/108284>

Recibido: 15-06-2022. Aceptado: 08-08-2022.

sponge as a containment membrane and ideal medium for the transport of growth factors and osteoblast cell differentiation from the autograft, which could act in synergy accelerating the process of bone consolidation, improving the success rate in the treatment of this pathology.

Keywords: orthobiologic, autologous bone graft, gelatin sponges, scaffold, pseudarthrosis, bone regeneration.

Introducción

El hueso es un tejido conectivo altamente dinámico, que proporciona una resistencia mecánica adecuada y un soporte estructural,¹ en condiciones normales tiene una capacidad de cicatrización particular que no implica la formación de tejido cicatricial.² Sin embargo, las fracturas pueden ser complejas, por ejemplo, cuando se produce un defecto óseo importante donde la consolidación satisfactoria se vuelve difícil y puede llevar a complicaciones, en estos casos es necesario el uso de injerto óseo.³

La pseudoartrosis se da cuando la reparación ósea no se completa dentro de un periodo de tiempo esperado para que una fractura en particular se consolide, su incidencia sigue siendo un motivo de preocupación, ya que puede ser una complicación de cualquier fractura que es difícil de predecir.⁴ Su incidencia oscila entre 5 y 10%, y dentro de los factores predisponentes encontramos los dependientes del huésped y los biomecánicos como: la falta de estabilidad, reducción inadecuada, mal manejo de los tejidos blandos, fallo en la elección y colocación de los implantes, entre otros.⁵ Esta complicación viene acompañada en la mayoría de casos de pérdida ósea, lo que la convierte en un reto de tratamiento.

Por su parte, los ortobiológicos son sustancias que se utilizan para ayudar a que los defectos óseos sanen más rápidamente, así, el injerto óseo es ideal porque tiene todas las propiedades fisiológicas y estructurales del hueso autólogo, ya que es biocompatible, bioabsorbible, osteoconductor y osteoinductor, además de seguro y rentable.⁶ También existen biomateriales con estas mismas propiedades que simulan las funciones de la matriz extracelular, incluidas la proliferación, diferenciación y señalización celular, además de ser compatibles para el transporte de factores de crecimiento osteogénicos.⁷ Sin embargo, las limitantes en investigación han hecho que el injerto autólogo, en combinación con biomateriales osteoconductivos y sustancias osteoinductivas, siga siendo la mejor solución para el tratamiento de defectos óseos y complicaciones en la consolidación.^{3,5}

Dentro de estos biomateriales se encuentran las esponjas de gelatina que tienen una estructura altamente porosa, lo cual es efectivo para la infiltración

celular, dar paso a oxígeno, los factores de crecimiento y el colágeno que contiene funciona como andamio natural para la migración de los osteoblastos.⁸ Debido a su buena biocompatibilidad, bajo costo y antigenicidad negativa, las esponjas de gelatina son buenos andamios transportadores de factores de crecimiento y células osteogénicas.⁹

El «Gelfoam» es una esponja absorbible estéril y un agente hemostático que consiste en una gelatina de origen porcino, biodegradable, económico y fácil de producir, todo lo anteriormente mencionado, convierten al «Gelfoam» en un excelente candidato como andamio para injerto óseo. Se ha descartado su uso como sustituto de injerto, pero se ha demostrado que su combinación con células madre de médula ósea promueve una mejor regeneración ósea en grandes defectos.¹⁰

Si bien el injerto autólogo tiene todas las propiedades óseas necesarias, su combinación con el aspirado de médula ósea sobre un andamio de esponjas de colágeno provee un medio favorable para la penetración de osteoblastos y factores de crecimiento, lo que mejora la regeneración ósea.¹¹

En la actualidad, el manejo de las pseudoartrosis con pérdida ósea es un reto para los ortopedistas, ya que no existe un tratamiento que garantice el éxito, además de que el impacto socioeconómico de esta patología es muy elevado; por tal motivo, con este reporte se quiere destacar el uso de las esponjas de colágeno como andamios de contención para el injerto óseo autólogo, además de su empleo como transportadoras de células y factores de crecimiento del aspirado de médula ósea, ya que es un procedimiento barato, fácil de reproducir, accesible y factible para mejorar la tasa de regeneración ósea.

Presentación de casos

Caso 1

Masculino de 25 años de edad, sin comorbilidades ni antecedentes de importancia para el padecimiento actual; inicia su cuadro tras accidente de tránsito en motocicleta, que le ocasiona una fractura expuesta diafisaria femoral izquierda, tratada mediante aseo quirúrgico y fijación externa; el paciente tiene una evolución tórpida, y a los seis meses se le diagnostica

pseudoartrosis aséptica, por lo cual acude a nuestra unidad hospitalaria. A la exploración física observamos miembro pélvico izquierdo con fijador externo sin datos de infección y con heridas quirúrgicas ya cicatrizadas; no realiza marcha y con rangos de movilidad en rodilla ipsilateral, flexión de 90 grados, extensión de menos 5 grados y se observa radiografía sin datos de consolidación ósea (Figura 1).

Por esta razón se realiza procedimiento quirúrgico que inicia con retiro de fijador externo y, mediante un abordaje lateral para fémur, se localiza el sitio de la pseudoartrosis, el cual se reseca con sierra oscilante hasta encontrarse tejido óseo viable, quedando un defecto óseo de aproximadamente 5 cm. Posteriormente, se procede a realizar incisión paratendón rotuliano, se localiza punto de entrada para clavo centromedular retrógrado, se realiza rimado del canal medular y se coloca clavo centromedular retrógrado de fémur izquierdo bloqueado con dos pernos proximales y tres distales al foco de pseudoartrosis 11 x 360 mm. De forma simultánea se extrae injerto óseo autólogo de cresta iliaca de alrededor de 4.5 cm, el cual se prepara en pequeños fragmentos de 3 mm aproximadamente. Por último, se realiza aspirado de médula ósea de cresta iliaca mediante aguja Jamshidi 11 G x 10 cm, se obtienen dos jeringas de 10 ml, se procede a combinar el injerto óseo autólogo con el aspirado de médula ósea sobre un riñón, el cual se utiliza

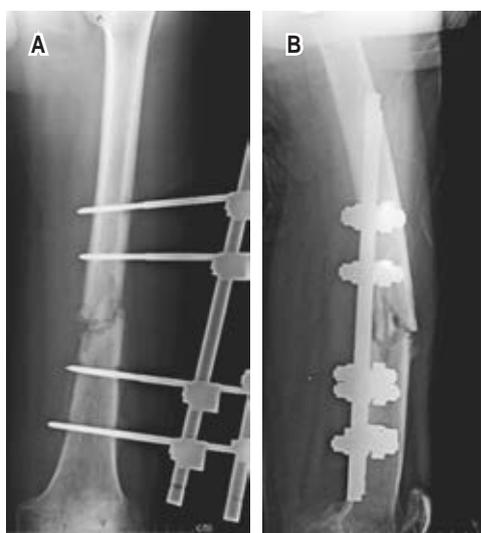


Figura 1: Radiografía. A) Anteroposterior. B) Lateral de fémur, izquierdo seis meses posteriores a intervención quirúrgica donde se aprecia el trazo de fractura diafisaria con ausencia de consolidación ósea.

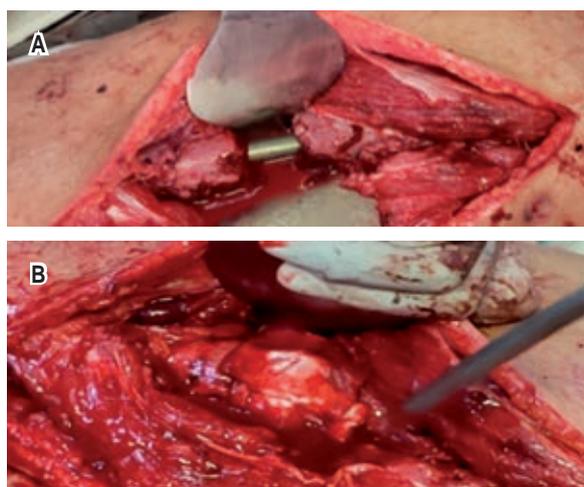


Figura 2: Fotografía clínica. A) Foto transquirúrgica donde se observa sitio de resección de pseudoartrosis con colocación de clavo centromedular. B) La aplicación de injerto autólogo con «Gelfoam».

para rellenar el defecto óseo y emplea las esponjas de gelatina (Gelfoam Pfizer) como andamio para dar contención del injerto, al colocarse cuatro porciones de 8 x 6.5 cm de forma circunferencial al hueso que conecta así los bordes del trazo de fractura (Figura 2).

Con el seguimiento del paciente a los uno, dos, tres, seis, ocho, 10, 12 y 24 meses obtuvimos una evolución clínica y radiográfica favorable. Así, pudimos apreciar formación de puentes óseos sobre la cortical medial en la radiografía a los tres meses, por lo que se indicó apoyo parcial progresivo de la extremidad con muletas hasta llegar al apoyo total, lo que mejoró la formación del calo óseo en el control radiográfico a los seis meses (Figura 3), y posteriormente se observó regeneración ósea total a los 24 meses (Figura 4). En la actualidad, el paciente presenta marcha sin alteraciones y rangos de movilidad en rodilla y cadera completos.

Caso 2

Masculino de 23 años, sin comorbilidades ni antecedentes de importancia para el padecimiento actual, en el mismo accidente de tránsito en motocicleta, presenta fractura diafisaria de fémur izquierdo que es intervenida quirúrgicamente mediante osteosíntesis con placa DCP (Dynamic Compression Plate) de 4.5 mm, y que de la misma manera, tras seis meses de evolución, presenta ausencia de consolidación ósea, además de fatiga de material de osteosíntesis, por esta razón acude a nuestra unidad hospitalaria (Figura 5).

A la exploración lo encontramos con herida quirúrgica cicatrizada adecuadamente, rangos de movilidad en rodilla y cadera completos, pero limitados por dolor.

Se lleva a cabo procedimiento quirúrgico, que inicia con retiro de placa en fémur izquierdo mediante abordaje lateral, se localiza foco de pseudoartrosis y se realiza resección de aproximadamente 3 cm con sierra oscilante, hasta encontrarse tejido óseo viable. Posteriormente se realiza incisión paratendón rotuliano, se localiza punto de entrada para clavo centromedular retrógrado, se rima canal medular y se coloca clavo centromedular retrógrado de fémur bloqueado con dos pernos proximales y dos distales al foco de la pseudoartrosis 11 x 360 mm. De forma simultánea se toma injerto autólogo de cresta iliaca de 3 cm aproximadamente, se realiza aspirado de médula ósea con aguja Jamshidi 11 G x 10 cm, se hace mezcla de igual forma que con nuestro primer caso y se rellena el defecto óseo; finalmente, se colocan cuatro porciones de esponjas de gelatina absorbible (Gelfoam) de 8 x 6.5 cm con la misma distribución para dar contención a nuestro injerto (Figura 2).

Bajo el mismo seguimiento a ambos pacientes, observamos una evolución clínica y radiográfica favorable, y a los dos meses se encuentra en la radiografía formación de puentes óseos sobre la cortical medial, por lo que se indica apoyo total de la extremidad. Se continúa con evolución satisfactoria, presenta regeneración ósea total en su control radiográfico a los seis meses. Al día de hoy el paciente presenta marcha sin alteraciones, rangos de movilidad en rodilla y cadera completos, y está incorporado en su totalidad a sus actividades laborales y cotidianas (Figura 6).

Discusión

En los casos presentados observamos que ambos pacientes presentaron pseudoartrosis de fémur

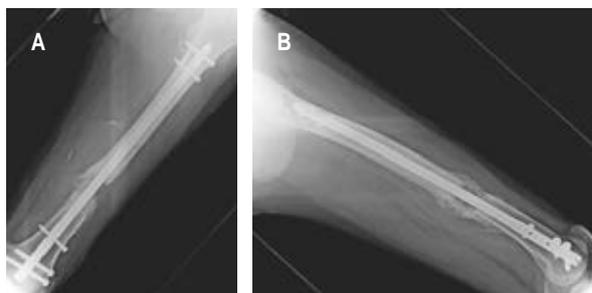


Figura 3: Controles radiográficos. A) Anteroposteriores. B) Lateral de fémur a los seis meses, en la cual se observa claramente el proceso de regeneración en el área de pérdida ósea.

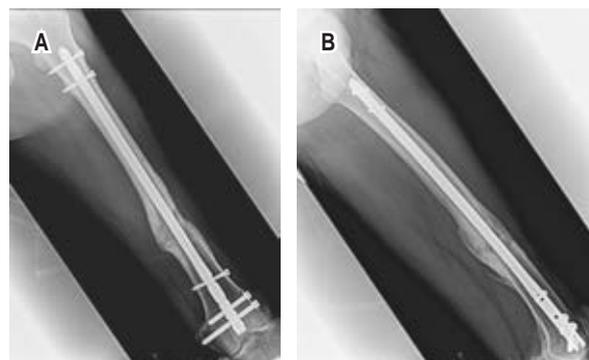


Figura 4: Radiografías. A) Anteroposteriores. B) Lateral de fémur, izquierdo a los 24 meses con regeneración ósea en su totalidad.

izquierdo, probablemente por falta de estabilidad mecánica, y que se intervinieron de forma quirúrgica. En el primer caso presentado se realizó resección del foco de pseudoartrosis de aproximadamente 3.5 cm, es importante mencionar que la resección de la cicatriz y el tejido fibroso, asociado con la estabilización mecánica, es esencial para el tratamiento de la pseudoartrosis.¹² En ambos casos el enclavado centromedular confiere una excelente estabilidad y permite la restauración de longitud y alineación.¹³

En nuestro segundo caso observamos una alteración de la consolidación posterior a una osteosíntesis con placa DCP, la cual por la forma en la que fue colocada no proporciona la estabilidad necesaria para el trazo de fractura, y existen tasas clínicas de pseudoartrosis informadas que varían entre 0 y 10% en osteosíntesis con placas bloqueadas.^{14,15} Sin embargo, en este caso la estabilidad proporcionada fue el fallo principal.

En ambos casos el defecto óseo fue relleno con injerto autólogo de cresta iliaca que, aún hoy en día, continúa siendo el estándar de oro en el tratamiento de defectos óseos.¹⁶ Posteriormente, se agregó aspirado de médula ósea y se utilizaron las esponjas de gelatina absorbibles como método de contención y andamiaje, este último actúa como un portador capaz de evitar la fuga de células, mientras que su estructura de alta porosidad favorece la unión de las células para el crecimiento y diferenciación de las células madre mesenquimales.¹⁷

Por su parte, las esponjas de colágeno se han utilizado ampliamente como andamios por demostrar su viabilidad para inducir la regeneración de la piel, el tejido conectivo, la tráquea, el esófago, el tejido adiposo y los nervios periféricos;¹⁸ y ya que presentan

un poro entre 100 y 400 μm son un andamio óptimo para la osteoconducción,¹⁹ sin embargo, en el tejido óseo tienen una resistencia mecánica deficiente.²⁰

Es por ello que bajo el «concepto diamante», descrito por Giannoudis y cols. se realizó una evaluación del entorno mecánico y biológico,²⁰ al combinarse así una adecuada estabilidad con injerto autólogo de cresta iliaca y aspirado de médula ósea que provee células madre mesenquimales,²¹ las cuales tienen plasticidad pluripotente para diferenciarse en múltiples linajes como hueso^{22,23} y al utilizar la esponja de gelatina como andamio-transportador. Se tienen así células osteogénicas (células madre mesenquimales), osteoinducción (factores de crecimiento), osteoconducción (andamios), estabilidad mecánica y adecuada vascularización.²⁴

En ambos casos observamos datos incipientes de regeneración ósea hacia las ocho semanas, en nuestro primer caso en 80% a los seis meses y a los tres meses en nuestro segundo caso; posteriormente, se presentó regeneración ósea completa hacia los 24 y hacia los seis meses, respectivamente, sin presentar repercusiones funcionales. Esto representa una tasa de regeneración más rápida de lo habitual, probablemente, por el uso de autoinjerto aspirado de médula ósea sobre la gelatina de esponja que actuó como un biomaterial que aceleró el proceso de formación ósea.

Así, se ha demostrado que las esponjas de gelatina son buenos andamios para el injerto óseo, al actuar como un medio transportador de células y

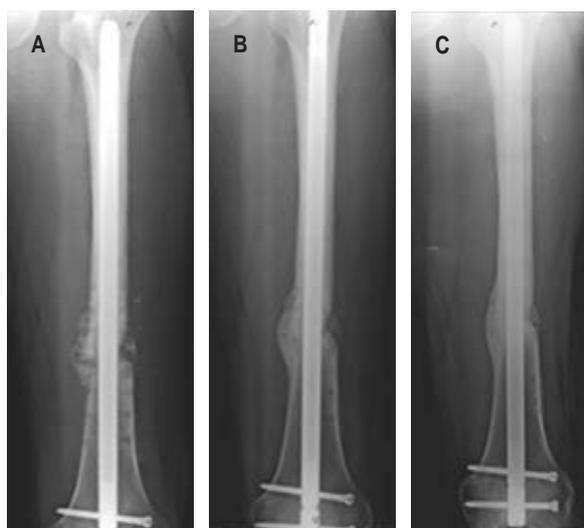


Figura 6: A-C) Control radiográfico a los dos, seis y 24 meses, donde se observa la progresión de la regeneración ósea.

factores de crecimiento provenientes del injerto autólogo y el aspirado de médula ósea, que promueven la diferenciación celular y, por ende, la regeneración ósea.^{25,26} En nuestros casos, al no existir periostio, el proceso de regeneración puede estar incompleto y ser dependiente sólo de la osificación endocondral, no obstante, se encontró que la conjunción de «Gelfoam» y células madre mesenquimales podrían actuar como tejido perióstico vivo.²⁷

A pesar de los avances e investigaciones, el injerto óseo autólogo continúa siendo el «estándar de oro» para el tratamiento de defectos óseos,⁶ y es de gran ayuda la mezcla con sustancias junto con el aspirado de médula ósea para que ayuden a la regeneración y consolidación como parte del tratamiento de las pseudoartrosis.²³ Por su parte, el «Gelfoam», al tener una estructura de colágeno, facilita la adhesión celular; Rohanizadeh y cols. demostraron la capacidad de éste como andamio para diferenciación de osteoblastos,¹⁰ además la combinación de células madre de médula ósea e injerto óseo autólogo, con el uso de esponjas de gelatina de colágeno, mostró una tasa de regeneración ósea satisfactoria y de calidad, lo que sugirió que éste podría ser un abordaje factible.¹⁰

Como limitante en ambos casos tenemos la falta de un grupo control, se sugiere realizar a futuro un ensayo clínico controlado, con al menos dos grupos de tratamiento, con y sin la colocación de la esponja de gelatina de colágeno porcino en pseudoartrosis de fémur y de otros huesos, para comparar sus resul-



Figura 5: Radiografías anteroposteriores. **A)** Lateral de fémur. **B)** Izquierdo en la que se observa material desanclado, además de ausencia de consolidación de la fractura.

tados clínico-radiológicos, y con ello concluir su real utilidad en este tipo de patología.

Conclusiones

En la actualidad, los ortobiológicos deben ser considerados una herramienta fundamental para el tratamiento de las fracturas y sus complicaciones, en nuestros casos utilizamos autoinjerto con la esponja de gelatina de colágeno (Gelfoam), y destacó su uso como andamio en ortopedia, ya que, además de funcionar como una superficie transportadora de células y factores de crecimiento provenientes de aspirado de médula ósea, funciona como medio de contención y unión del injerto óseo entre ambos extremos de la fractura. De esta manera, es un gran candidato para funcionar como un biomaterial que facilita la diferenciación y migración celular, el cual nos dio una consolidación más rápida y eficaz, que puede ser una pauta en el tratamiento de pseudoartrosis y pérdidas óseas, con una técnica reproducible y de bajo costo.

Referencias

1. Iaquinta MR, Mazzoni E, Manfrini M, D'Agostino A, Trevisiol L, Nocini R et al. Innovative biomaterials for bone regrowth. *Int J Mol Sci.* 2019; 20 (3): 618.
2. Ho-Shui-Ling A, Bolander J, Rustom LE, Johnson AW, Luyten FP, Picart C. Bone regeneration strategies: Engineered scaffolds, bioactive molecules and stem cells current stage and future perspectives. *Biomaterials.* 2018; 180: 143-162.
3. Martin V, Bettencourt A. Bone regeneration: biomaterials as local delivery systems with improved osteoinductive properties. *Materials Science & Engineering C.* 2018; 82: 363-371.
4. Habibovic P. Strategic directions in osteoinduction and biomimetics. *Tissue Eng Part. A.* 2017; 23 (23-24): 1295-1296.
5. Nandra R, Grover L, Porter K. Fracture non-union epidemiology and treatment Review article. *Trauma.* 2016; 18 (1): 3-11.
6. Schmidt AH. Autologous bone graft: is it still the gold standard? *Injury.* 2021; 52 Suppl 2: S18-S22.
7. Kuo ZK, Lai PL. Osteogenic differentiation of preosteoblasts on a hemostatic gelatin sponge. *Sci Rep.* 2016; 6: 32884.
8. Wang Chi-Yun, Kuo Zong-Keng, HsiehMing-Kai. Cell migration on a clinical gelatin sponge for 3D bone tissue engineering. *Biomed Mater.* 2019; 15 (1): 015005.
9. Ashour AA, Zaghloul M, Mahmoud W, Helal ME, Grawish ME. Gelfoam haemostatic agent with or without autologous bone marrow-derived stem cells for the regeneration of critical-size mandibular defects in the rabbit. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014; 47 (11): 1488-1494.
10. Rohanizadeh R, Swain VM, Mason SR. Gelatin sponges (Gelfoam) as a scaffold for osteoblasts. *J Mater Sci Mater Med.* 2008; 19 (3): 1173-1182.
11. Hernigou P, Poignard A, Manicom O, Mathieu G, Rouard H. The use of percutaneous autologous bone marrow transplantation in nonunion and avascular necrosis of bone. *J Bone Joint Surg Br.* 2005; 87 (7): 896-902.
12. Keating JF, Simpson AH, Robinson CM. The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br.* 2005; 87 (2): 142-150.
13. Henderson C, Lujan T, Kuhl LL, Bottlang M, Fitzpatrick CD, Marsh LJ. 2010 Mid-America Orthopaedic Association physician in training award: healing complications are common after locked plating for distal femur fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2011; 469 (6): 1757-1765.
14. Fankhauser F, Gruber G, Schippinger G, Boldin C, Hofer PH, Grechenig W, et al. Minimal-invasive treatment of distal femoral fractures with the LISS (Less Invasive Stabilization System): a prospective study of 30 fractures with a follow up of 20 months. *Acta Orthop Scand.* 2004; 75 (1): 56-60.
15. Guerado E, Caso E. Challenges of bone tissue engineering in orthopaedic patients. *World J Orthop.* 2017; 8 (2): 87-98.
16. Xu Baoshan, Zhang Hao, Du Lilong. Selective retention of bone marrow stromal cells with gelatin sponge for repair of intervertebral disc defects after microendoscopic discectomy: a prospective controlled study and 2-year follow-up. *BioMed Research International.* 2021; 2021: 4822383.
17. Toosi S, Naderi-Meshkin H, Kalalinia F. Bone defect healing is induced by collagen sponge/polyglycolic acid. *J Mater Sci Mater Med.* 2019; 30 (3): 33.
18. Rocha BL, Goissis G, Rossi AM. Biocompatibility of anionic collagen matrix as scaffold for bone healing. *Biomaterials.* 2002; 23 (2): 449-456.
19. Mohajeri S, Hosseinkhani H. Proliferation and differentiation of mesenchymal stem cell on collagen sponge reinforced with polypropylene/polyethylene terephthalate blend fibers. *Tissue Eng Part A.* 2010; 16 (12): 3821-3830.
20. Giannoudis VP, Gudipati S, Harwood P, Kanakaris KN. Long bone non-unions treated with the diamond concept: a case series of 64 patients. *Injury.* 2015; 46 Suppl 8: S48-54.
21. Baksh D, Song L, Tuan RS. Adult mesenchymal stem cells: characterization, differentiation, and application in cell and gene therapy. *J Cell Mol Med.* 2004; 8 (3): 301-316.
22. Imam AM, Mahmoud SS, Holton J, Abouelmaati D. A systematic review of the concept and clinical applications of bone marrow aspirate concentrate in orthopaedics. *SICOT J.* 2017; 3: 17.
23. Rodriguez CE. An algorithmic approach towards the orthoplastic management of osseous and soft tissue defects in post-traumatic distal tibial fractures. Review Article. *J Orthop Trauma Surg Rel Res.* 2017; 12(2): 56-61.
24. Kim SG, Jeong JH, Che X. Reconstruction of radial bone defect using gelatin sponge and a BMP-2 combination graft. *BMB.* 2013; 46 (6): 328-333.
25. Kabashima H, Sakai T, Mizobe K. The usefulness of an autologous blood clot combined with gelatin for regeneration of periodontal tissue. *J Oral Sci.* 2013; 55 (4): 363-366.
26. Lee JY, Choi MH. Autologous mesenchymal stem cells loaded in Gelfoam for structural bone allograft healing in rabbits. *Cell Tissue Bank.* 2011; (12): 299-309.
27. Lorenzo F. 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.

Conflicto de intereses

Los autores declararon no tener conflicto de intereses.