



## Osteointegración con injerto autólogo y heterólogo en fracturas por estallido A3 y A4 toracolumbar

### *Osseointegration of the autologous and heterologous graft of A3 and A4 thoracolumbar burst fractures*

Raúl Aragón Delgado, \*‡ Hirepan Azaid León Oliver, \*§ Gustavo Rivera Saldívar, \*¶  
Jesús Pavón Flores, \*|| Edgar Enrique Leyva Medellín\*||

\*Hospital de Traumatología y Ortopedia «Dr. y Gral. Rafael Moreno Valle». Puebla, Puebla, México; ‡Médico residente de segundo año; §Médico residente de cuarto año; ¶Médico adscrito de la jefatura de enseñanza; ||Médico adscrito.

#### Resumen

**Introducción:** el injerto óseo es el reemplazo para el hueso dañado o ausente, los cuales se utilizan en la artrodesis en columna. Los injertos tienen la capacidad de ser osteoinductores, osteogénicos y osteoconductores. **Objetivo:** determinar el grado de osteointegración del injerto autólogo y heterólogo, al realizar una artrodesis del segmento toracolumbar en fracturas A3 y A4. **Material y métodos:** se realizó un estudio observacional, descriptivo, retrospectivo y transversal, los pacientes fueron evaluados con estudios de imagen del segmento toracolumbar con colocación de injerto óseo y se determinó el grado de consolidación del injerto autólogo y heterólogo. **Resultados:** la consolidación grado I al mes fueron 23 pacientes con injerto autólogo y 24 con heterólogo; a los tres meses el grado II fue de 20 pacientes con injerto autólogo y heterólogo, respectivamente; en seis meses la consolidación grado III fue de 13 pacientes con injerto autólogo y 11 pacientes con heterólogo y el grado IV fueron 26 pacientes para injerto autólogo y 28 de injerto heterólogo. **Conclusión:** la bibliografía revisada demostró que no existe diferencia significativa en la osteointegración del injerto autólogo y heterólogo en un seguimiento de un mes, tres meses y seis meses.

**Palabras clave:** injerto autólogo, injerto heterólogo, consolidación, osteointegración.

#### Abstract

**Introduction:** bone graft is the replacement for damaged or absent bone, which are used in spinal arthrodesis. Grafts have the capacity to be osteoinductive, osteogenic and osteoconductive. **Objective:** to determine the degree of osseointegration of the autologous and heterologous graft, when performing an arthrodesis of the thoracolumbar segment in A3 and A4 fractures. **Material and methods:** an observational, descriptive, retrospective and cross-sectional study was carried out, the patients were evaluated with imaging studies of the thoracolumbar segment with bone graft placement and the degree of consolidation of the autologous and heterologous graft was determined. **Results:** grade I consolidation at one month was 23 patients with autologous graft and 24 with heterologous; at three months grade II was 20 patients with autologous and heterologous graft, respectively; at six months grade III consolidation was 13 patients with autologous graft and 11 patients with heterologous and grade IV was 26 patients with autologous graft and 28 with heterologous graft. **Conclusion:** the literature reviewed showed that there is no significant difference in the osseointegration of autologous and heterologous grafts at one-month, three-month and six-month follow-up.

**Keywords:** autologous graft, heterologous graft, consolidation, osseointegration.

#### Correspondencia:

Dr. Raúl Aragón Delgado  
E-mail: aragondelgado.r@gmail.com

Recibido: 27-01-2024. Aceptado: 25-04-2024.

**Citar como:** Aragón DR, León OHA, Rivera SG, Pavón FJ, Leyva MEE. Osteointegración con injerto autólogo y heterólogo en fracturas por estallido A3 y A4 toracolumbar. Orthotips. 2024; 20 (3): 156-161. <https://dx.doi.org/10.35366/116339>

## Introducción

El dolor de espalda es una afección grave común, causada por etiologías diferentes. De acuerdo con el Centro Nacional de Estadísticas de Salud, cada año se realizan más de 650,000 procedimientos de fusión.<sup>1</sup> El éxito de la artrodesis en cirugía de columna depende de varios factores, pero uno de los componentes importantes es el que depende del injerto óseo y un sustituto de injerto utilizado en cirugía. Los injertos óseos y los sustitutos de injertos son empleados para una rápida inducción o soporte de hueso biológico después de la cirugía, también brindan soporte de la estructura original del injerto utilizado.<sup>2</sup>

El autoinjerto es considerado el "estandar de oro" pero los autores de este estudio creemos que en la actualidad los aloinjertos y los sintéticos están siendo el remplazo de los autoinjertos. Los autoinjertos se extraen por separado del sitio quirúrgico. La morbilidad en zona del donante aumenta,<sup>3,4</sup> por lo que el objetivo de nuestro estudio es determinar el resultado de la osteointegración de injerto autólogo y heterólogo de fracturas por estallido A3 y A4 toracolumbar manejadas en instrumentación posterior en el Hospital de Traumatología y Ortopedia «Dr. y Gral. Rafael Moreno Valle» Puebla, Puebla.

### Propiedades del injerto óseo

La osteogénesis o formación ósea ha terminado en dos mecanismos: osificación intramembrana y endocondral.

**La osificación intramembranosa:** implica la transformación directa del tejido mesenquimatoso. No se necesita cartílago en los huesos como articulación intermedia y no se requieren proteínas morfogenéticas óseas y factores de crecimiento. Se requiere la transcripción de CBFA1.

**La osificación endocondral:** es uno de los procesos en el desarrollo del sistema esquelético en los fetos y concluye con la producción del tejido óseo a partir del tejido cartilaginoso. Las etapas de la osificación endocondral son: la diferenciación de células mesenquimales en formación de condrocitos, proliferación de condrocitos para establecer un modelo de condrocitos, formación e invasión de hueso, condrocitos hipertróficos y mecanismos de formación de vasos sanguíneos.

La osteogénesis incluye osteoconducción, osteoinducción la cual da la estabilidad mecánica y

vascularización de éste. La osteoconducción se basa en el andamiaje que soporta el hueso; el crecimiento celular promueve la formación de vasos sanguíneos y proporciona red de adhesión celular osteoinductiva, se basa en la entrega de señales que actúan sobre células precursoras y promueve la migración, proliferación y las células se diferencian en células formadoras de hueso.<sup>5</sup>

### Aloinjerto

Es tejido que se trasplanta de una persona a otra. El prefijo «alo-» proviene de la palabra griega que significa «otro». (Si el tejido se mueve de un lugar a otro en su propio cuerpo, esto se llama autoinjerto). La preparación se realiza por medio de congelación o liofilización, una de las desventajas es el potencial de transmisión de enfermedades.<sup>6-8</sup>

Tradicionalmente, los aloinjertos óseos se encuentran en diversas formas: hueso esponjoso cortical y células de médula ósea celular (CBM), y éstas son diseñadas por tres propiedades formadoras de hueso: osteoconducción, osteoinducción y osteointegración. La osteoconducción de injerto óseo cadavérico preserva la adición de células madre alogénicas e inicia el proceso osteogénico.<sup>9,10</sup> Cada material sintético más nuevo tiene características que lo hacen valioso.

### Las alternativas al injerto óseo

Los injertos de hidroxapatita de coral y colágeno son osteoconductores, pero no osteogénicos ni osteoinductivos; el cemento de fosfato de calcio y el sulfato de calcio es únicamente osteoinductivo, esto hace que el defecto metafisario soporte fuerzas de torsión y cizallamiento. El trasplante autólogo es la única opción con las tres propiedades: osteoconductiva, osteoinductiva y osteogénica. Recientemente se han desarrollado varios productos y materiales que se pueden emplear como sustitutos o suplementos de injertos óseos. Se utiliza un sustituto de injerto óseo como la matriz ósea desmineralizada en lugar de un autoinjerto, pero su potencial de osteoinductividad, osteoconductividad y osteogénesis son limitadas. Los extensores de injertos óseos son compuestos osteoconductores que se utilizan como complemento de autoinjertos/aloinjertos para incrementar el volumen de los injertos óseos y aumentar el soporte estructural. Los refuerzos son compuestos diseñados para ayudar a que los injertos óseos se fusionen.<sup>11-13</sup> Siguen surgiendo nuevos materiales para injertos

óseos intervertebrales. Aunque en la práctica clínica se utilizan diferentes materiales, un objetivo general importante del injerto óseo es lograr una fusión temprana; estos materiales son fuertes y duraderos con capacidad osteoinductiva; el reemplazo óseo está estrechamente relacionado con la fusión ósea.<sup>14,15</sup>

Según la diferencia de porosidad, el hueso autógeno se puede dividir en hueso cortical y hueso esponjoso. El hueso esponjoso promueve la revascularidad y osteogénesis. Los autoinjertos derivados de la cresta iliaca son ricos en células, factores de crecimiento osteoinductivos y canales necesarios para la formación de vasos sanguíneos, esto promueve la fusión del injerto óseo.<sup>16-19</sup> En la actualidad, este tipo de injerto es considerado el estándar de oro. El medio de fusión por sus propiedades biológicas de osteoconducción intrínseca (andamiaje), osteoinducción (señalización) y osteoblastos (células vivas).<sup>20</sup> Debido a que la fusión intersomática lumbar posterior (PLIF) proporciona descompresión integral simultánea del canal espinal y fusión periférica para diferentes enfermedades, en las últimas décadas se han informado muchos resultados clínicos con estudios de tejido de fusión intervertebral, incluido el tejido lumbosacro. Desde el desarrollo de las técnicas de agrupación horizontal, ha habido avances en la cirugía intervertebral mínimamente invasiva; vale la pena esperar las opciones de tratamiento futuras que aumentarán y se adecuarán para las personas mayores y con lesiones en la espalda. En todos los niveles el parámetro de la cirugía espinal-pélvica ha entrado en el campo y su impacto se debe al efecto de la alineación sagital en los resultados clínicos ampliamente reconocido.<sup>21</sup>

### Sitio de trasplante

La ubicación de la superficie de fusión tiene una gran influencia en el efecto de fusión. La capacidad de lograr una artrodesis puede ser determinada, la técnica utilizada en la colocación vertebral debe ser en un entorno favorable para la fusión, el aumento de la vascularidad de la superficie del receptor hace que permita la fusión confiable. Alternativamente, la fusión se puede hacer usando acceso por la parte posterior. Las superficies después de la fusión incluyen unión de facetadas emparejadas y ranuras transversales. Todos los cirujanos de columna están familiarizados con el abordaje posterior que permite un fácil acceso a múltiples niveles, finalmente se puede realizar la fusión de las articulaciones anterior y posterior

(fusión de 360°), pero la tasa de complicaciones es más alta.<sup>22</sup> Noventa y tres por ciento de los pacientes se sometieron a rayos X para la fusión de la artrodesis.<sup>23</sup> La artrodesis vertebral con injerto óseo es osteoconductiva y osteoinductiva de las células osteoprogenitoras, las cuales pueden diferenciarse y adaptarse al tejido donante.<sup>24</sup>

### Material y métodos

Se realizó un estudio observacional, descriptivo, retrospectivo y transversal donde se utilizó un muestreo de casos consecutivos en consulta externa y área de quirófano en el Hospital de Traumatología y Ortopedia «Dr. y Gral. Rafael Moreno Valle» de la Secretaría de Salud de Puebla, Puebla. La muestra se integró con pacientes operados durante el periodo comprendido de noviembre de 2022 a noviembre 2023.

*Criterios de inclusión:* pacientes postoperados de segmento toracolumbar a quienes se realizó una artrodesis con injerto autólogo y heterólogo. *Criterios de exclusión:* pacientes con comorbilidades que impidan el evento quirúrgico, sujetos a los cuales no se les pueda dar seguimiento radiológico por uno, tres y seis meses en su postquirúrgico.

De acuerdo a los criterios de selección mencionados, se dará seguimiento a los pacientes que se hayan intervenido quirúrgicamente, citándolos a la consulta externa del Servicio de Columna en periodos de uno, tres y seis meses, respectivamente. Los pacientes deberán presentarse a su consulta con estudios de imagenología (tomografía) del segmento operado para valorar el grado de consolidación en el tiempo antes mencionado. El reporte se valorará con base en una escala de consolidación y se realizará un reporte de los hallazgos en una base de datos específica para salvaguardar la información obtenida. Para fines de almacenamiento se guardará la información por triplicado, para evitar pérdidas de material, tanto en una memoria de tipo USB, en la computadora del consultorio y la computadora personal de uno de los investigadores. Posteriormente, se procederá a realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos.

### Resultados

La muestra estudiada estuvo integrada por 78 pacientes, de los cuales fueron 39 de injerto autólogo y 39 de injerto heterólogo. La distribución por género fue 63% hombres y 37% mujeres. De acuerdo a la

**Tabla 1:** Se describe la cantidad y frecuencia de pacientes, género, tipo de fractura, ASIA prequirúrgica y postquirúrgica. N = 78.

Variable	n (%)
Tipo de injerto	
Autólogo	39 (50)
Heterólogo	39 (50)
Género	
Hombres	49 (63)
Mujeres	29 (37)
Tipo de fractura	
AO A3	44 (56)
AO A4	34 (44)
ASIA prequirúrgica	
A	18 (23)
B	5 (6)
C	4 (5)
D	29 (38)
E	22 (28)
ASIA postquirúrgica	
A	18 (23)
B	4 (5)
C	1 (1)
D	6 (7)
E	49 (64)

clasificación de fracturas, 56% fueron catalogadas como A3 y 44% como A4. En la evaluación de la *American Spinal Injury Association* (ASIA) prequirúrgica, se identificó que la colocación de injerto autólogo y heterólogo tuvo clasificación D en 29 pacientes y ASIA E en 22 casos. Respecto al ASIA postquirúrgica, se observó mejoría clínica en 26 pacientes con colocación de injerto autólogo y en 23 de injerto heterólogo (Tabla 1).

El grado de consolidación fue evaluado con estudios de imagen en consulta externa con un seguimiento de uno, tres y seis meses. Se registró grado I al primer mes en 23 pacientes con injerto autólogo y en 24 con injerto heterólogo; a los tres meses el grado de consolidación fue II en 20 casos con injerto autólogo y heterólogo, respectivamente; a los seis meses, el grado de consolidación fue III en 13 pacientes con injerto autólogo y en 11 con injerto heterólogo; en el mismo tiempo de evolución, se registró grado IV de consolidación en 26 casos con injerto autólogo y en 28 con injerto heterólogo (Tabla 2).

El estado clínico evaluado en el prequirúrgico correspondió a ASIA D en 29 pacientes tanto de injerto

autólogo como heterólogo (Figura 1). La evaluación postquirúrgica mostró un resultado favorable con ASIA D en 49 casos tanto de injerto autólogo como heterólogo (Figura 2). Nuestro estudio confirma que la artrodesis con injerto autólogo y heterólogo a los seis meses de evolución no tiene diferencia en cuanto a su grado de consolidación, asimismo la evaluación del ASIA pre y postquirúrgica de ambos injertos no tiene diferencia significativa.

## Discusión

En nuestro centro hospitalario los cirujanos prefieren aloinjerto, así como en otros centros hospitalarios, esto por sus propiedades de adaptación.<sup>25</sup> En nuestra muestra de 78 pacientes captados, el ASIA prequirúrgica con mayor colocación de injerto autólogo y heterólogo en pacientes fue D (n = 29) y E (n = 22). Nuestro seguimiento fue de seis meses, a diferencia de otros autores como Yuan Goa y colaboradores que hicieron un seguimiento de 12 meses donde no obtuvieron una diferencia significativa en la altura de fusión del espacio intervertebral entre los grupos estudiados; en nuestro estudio, se evidenció una mejoría clínica con el tipo de injerto utilizado, valorado con el ASIA pre y postquirúrgico.<sup>26</sup>

El abordaje quirúrgico utilizado en nuestro estudio no fue evaluado, pero es importante mencionar que la curva de aprendizaje y las terapias regene-

**Tabla 2:** Se describe el grado de consolidación y frecuencia de tipo de injerto en un tiempo establecido de uno, tres y seis meses en el postoperatorio. N = 78.

Grado de consolidación		n (%)
A un mes		
No consolidación	Autólogo	16 (20)
	Heterólogo	15 (19)
Grado I	Autólogo	23 (30)
	Heterólogo	24 (31)
A tres meses		
Grado II	Autólogo	20 (26)
	Heterólogo	20 (26)
Grado III	Autólogo	19 (24)
	Heterólogo	19 (24)
A seis meses		
Grado III	Autólogo	13 (16)
	Heterólogo	11 (15)
Grado IV	Autólogo	26 (33)
	Heterólogo	28 (36)

rativas combinadas aumentan el alivio rápido y a largo plazo.<sup>27</sup> Un artículo publicado por el Dr. David Musante y colaboradores determina la tasa de fusión de 90.7% utilizando injerto óseo autólogo de cresta iliaca a pesar de tener un alto riesgo quirúrgico, en comparación con nuestro estudio, el cual fue un grado de fusión de 60%.<sup>28</sup> Un estudio asiático de 2022 por parte del Dr. Shinicho Kato y colaboradores observó una fusión intersomática de 15 a 79%, mencionan que es importante cuestionar problemas de columna e identificar la alineación sagital y el parámetro espinopélvico.<sup>29</sup>

Otro artículo publicado por el Dr. Alex Cruz y colaboradores determinó factores relacionados con la tasa de fusión, los cuales son la demografía, fumar, alcoholismo, obesidad y osteoporosis.<sup>30</sup> Además la relación de la consolidación va de la mano del tipo de injerto y el grado de sangrado. En el estudio actual, se examinaron la consolidación ósea así como los resultados clínicos después de la cirugía de fusión.<sup>31</sup> Los resultados de los estudios sobre el procedimiento óptimo de fusión de la columna vertebral, el uso de instrumentación para la fijación interna, el tipo de instrumentación, la fuente del injerto, la ubicación de la fusión y el tratamiento postoperatorio a menudo son contradictorios. Debido a la falta de evidencia de alto nivel y pautas claras, puede ser difícil comparar las opciones de tratamiento y decidir cuál es el mejor manejo quirúrgico. Se justifican grandes estudios prospectivos y aleatorizados para investigar las opciones de tratamiento quirúrgico de fusión en función del estado del paciente y las indicaciones específicas.<sup>32</sup>

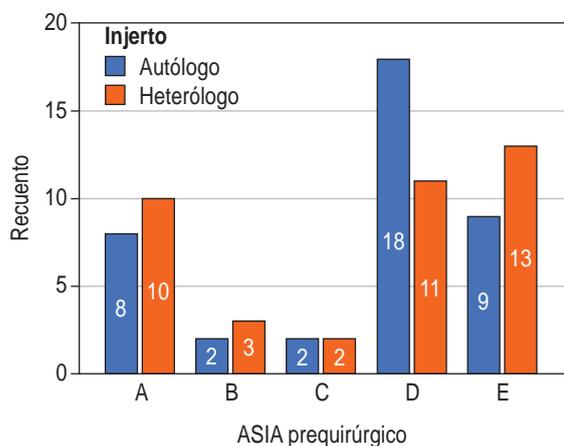


Figura 1: Evaluación del ASIA prequirúrgico en injerto autólogo y heterólogo.

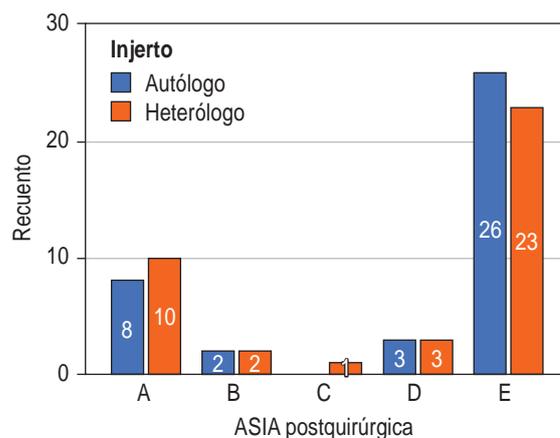


Figura 2: Evaluación del ASIA postquirúrgico en injerto autólogo y heterólogo.

## Conclusiones

Las fracturas toracolumbares de A3 y A4 tiene un punto límite en cuanto a la decisión quirúrgica, en nuestra unidad hospitalaria la indicación quirúrgica que tiene mayor incidencia es el deterioro neurológico. En nuestro estudio se reportó, con un seguimiento de uno, tres y seis meses, que no existe una diferencia significativa en la osteointegración utilizando injerto autólogo y heterólogo, esto con base en la evaluación de la estabilidad de la columna vertebral con exámenes físicos y estudios de imágenes. La fusión o la artrodesis convencional fue igual en ambos grupos de pacientes. Algo que recomendamos es realizar un algoritmo quirúrgico en la toma de decisión al colocar el tipo de injerto, para así facilitar el tiempo prolongado. Otra cosa importante es el tipo de instrumentación, la profilaxis antibiótica y el uso de ácido tranexámico para la disminución de sangrado intraoperatorio y el riesgo de infección. Se sugiere estudios de ensayos clínicos aleatorizados y de mayor grado de evidencia para la toma de decisión ante el paciente y recomendar un punto de buena práctica. Por tanto, los cirujanos deben conocer las indicaciones, ventajas y desventajas de cada tratamiento operatorio para individualizar el tratamiento. Recomendamos estudios de mayor evidencia, desde estudios experimentales o metaanálisis.

## Referencias

1. Clough BH, McNeill EP, Palmer D, Krause U, Bartosh TJ, Chaput CD, et al. An allograft generated from adult stem

- cells and their secreted products efficiently fuses vertebrae in immunocompromised athymic rats and inhibits local immune responses. *Spine J*. 2017; 17 (3): 418-430.
2. Wang W, Yeung KWK. Bone grafts and biomaterials substitutes for bone defect repair: A review. *Bioact Mater*. 2017; 2 (4): 224-247.
  3. Gruskin E, Doll BA, Futrell FW, Schmitz JP, Hollinger JO. Demineralized bone matrix in bone repair: history and use. *Adv Drug Deliv Rev*. 2012; 64 (12): 1063-1077.
  4. Yang JH, Glaeser JD, Kanim LEA, Battles CY, Bondre S, Bae HW. Bone grafts and bone graft substitutes. In: *Handbook of Spine Technology*. Cham: Springer International Publishing; 2020. 1-77.
  5. Gilbert SF. *Developmental Biology*. 6th edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000.
  6. Kadam A, Millhouse PW, Kepler CK, Radcliff KE, Fehlings MG, Janssen ME, et al. Bone substitutes and expanders in Spine Surgery: A review of their fusion efficacies. *Int J Spine Surg*. 2016; 10: 33.
  7. Campana V, Milano G, Pagano E, Barba M, Cicione C, Salonna G, et al. Bone substitutes in orthopaedic surgery: from basic science to clinical practice. *J Mater Sci Mater Med*. 2014; 25 (10): 2445-2461.
  8. Duarte RM, Varanda P, Reis RL, Duarte ARC, Correia-Pinto J. Biomaterials and bioactive agents in spinal fusion. *Tissue Eng Part B Rev*. 2017; 23 (6): 540-551.
  9. Zimmermann G, Moghaddam A. Allograft bone matrix versus synthetic bone graft substitutes. *Injury*. 2011; 42 Suppl 2: S16-21.
  10. D'Souza M, Macdonald NA, Gendreau JL, Duddleston PJ, Feng AY, Ho AL. Graft materials and biologics for spinal interbody fusion. *Biomedicines*. 2019; 7 (4): 75.
  11. Morris MT, Tarpada SP, Cho W. Bone graft materials for posterolateral fusion made simple: a systematic review. *Eur Spine J*. 2018; 27 (8): 1856-1867.
  12. Egol KA, Nauth A, Lee M, Pape HC, Watson JT, Borrelli J Jr. Bone Grafting: Sourcing, Timing, Strategies, and Alternatives. *J Orthop Trauma*. 2015; 29 Suppl 12: S10-14. doi: 10.1097/BOT.0000000000000460.
  13. 2008 Bone Grafts and Bone Substitutes - orthopedic network news. [yumpu.com](https://www.yumpu.com/en/document/read/6328775/2008-bone-grafts-and-bone-substitutes-orthopedic-network-news). Available in: <https://www.yumpu.com/en/document/read/6328775/2008-bone-grafts-and-bone-substitutes-orthopedic-network-news>
  14. Urist MR, Iwata H, Ceccotti PL, Dorfman RL, Boyd SD, McDowell RM, et al. Bone morphogenesis in implants of insoluble bone gelatin. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1973; 70 (12): 3511-3515.
  15. Urist MR, Mikulski A, Lietze A. Solubilized and insolubilized bone morphogenetic protein. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1979; 76 (4): 1828-1832.
  16. Galia RC, Moreira FL. The biology of bone grafts. In: *Recent Advances in Arthroplasty*. InTech; 2012.
  17. Goldberg VM, Akhavan S. *Biology of bone grafts*. En: *Bone Regeneration and Repair*. Totowa, NJ: Humana Press; 2005. p. 57-65.
  18. Pape HC, Evans A, Kobbe P. Autologous bone graft: properties and techniques. *J Orthop Trauma*. 2010; 24 Suppl 1: S36-40.
  19. Vaz K, Verma K, Protosaltis T, Schwab F, Lonner B, Errico T. Bone grafting options for lumbar spine surgery: a review examining clinical efficacy and complications. *SAS J*. 2010; 4 (3): 75-86.
  20. Dimitriou R, Mataliotakis GI, Angoules AG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Complications following autologous bone graft harvesting from the iliac crest and using the RIA: a systematic review. *Injury*. 2011; 42 Suppl 2: S3-15.
  21. Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, Horton W, Berven S, Schwab F. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005; 30 (18): 2024-2029.
  22. Fritzell P, Hagg O, Wessberg P, Nordwall A; Swedish Lumbar Spine Study Group. Chronic low back pain and fusion: a comparison of three surgical techniques: a prospective multicenter randomized study from the Swedish lumbar spine study group. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002; 27 (11): 1131-1141.
  23. Lee SC, Chen JF, Wu CT, Lee ST. In situ local autograft for instrumented lower lumbar or lumbosacral posterolateral fusion. *J Clin Neurosci*. 2009; 16 (1): 37-43.
  24. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J*. 2001; 10 Suppl 2 (Suppl 2): S96-101.
  25. Cohen JD, Kanim LE, Tronits AJ, Bae HW. Allografts and spinal fusion. *Int J Spine Surg*. 2021; 15 (s1): 68-93. doi: 10.14444/8056.
  26. Gao Y, Li J, Cui H, Zhang F, Sun Y, Li Z, et al. Comparison of intervertebral fusion rates of different bone graft materials in extreme lateral interbody fusion. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98 (44): e17685. doi: 10.1097/MD.00000000000017685.
  27. Lo WC, Tsai LW, Yang YS, Chan RWY. Understanding the future prospects of synergizing minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion surgery with ceramics and regenerative cellular therapies. *Int J Mol Sci*. 2021; 22 (7): 3638. doi: 10.3390/ijms22073638.
  28. Musante DB, Firtha ME, Atkinson BL, Hahn R, Ryaby JT, Linovitz RJ. Clinical evaluation of an allogeneic bone matrix containing viable osteogenic cells in patients undergoing one- and two-level posterolateral lumbar arthrodesis with decompressive laminectomy. *J Orthop Surg Res*. 2016; 11 (1): 63. doi: 10.1186/s13018-016-0392-z.
  29. Kato S, Terada N, Niwa O, Yamada M. Factors Affecting incomplete L5/S posterior lumbar interbody fusion, including spinopelvic sagittal parameters. *Asian Spine J*. 2022; 16 (4): 526-533.
  30. Cruz A, Ropper AE, Xu DS, Bohl M, Reece EM, Winocour SJ, et al. Failure in lumbar spinal fusion and current management modalities. *Semin Plast Surg*. 2021; 35 (1): 54-62.
  31. Ohtori S, Suzuki M, Koshi T, Takaso M, Yamashita M, Yamauchi K, et al. Single-level instrumented posterolateral fusion of the lumbar spine with a local bone graft versus an iliac crest bone graft: a prospective, randomized study with a 2-year follow-up. *Eur Spine J*. 2011; 20 (4): 635-639. doi: 10.1007/s00586-010-1656-7.
  32. Reisener MJ, Pumberger M, Shue J, Girardi FP, Hughes AP. Trends in lumbar spinal fusion-a literature review. *J Spine Surg*. 2020; 6 (4): 752-761. doi: 10.21037/jss-20-492.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en este trabajo.