

## Fusión e injertos en artrodesis espinal

Rodrigo Navarro-Ramírez,\* Elizabeth Ogando-Rivas,\*\* Eduardo Ernesto Galván Hernández,\* Ildelfonso Muñoz-Romero,\* Maximino Téllez-Gutiérrez,\* Roberto De Leo-Vargas\*

### RESUMEN

El término «artrodesis» se le da a la fijación quirúrgica de una articulación mediante la fusión de las superficies móviles o articulares a través de la proliferación de células óseas, de acuerdo con el Centro Nacional para la Información Biotecnológica (*National Center for Biotechnology Information*), y tiene por objeto estabilizar la articulación, alinear el raquis, mejorar la funcionalidad y disminuir o eliminar el dolor. La cirugía de columna intenta promover la artrodesis para mejorar la calidad de vida de los pacientes con patología espinal a través de diversas técnicas y materiales, basada en las leyes de Hilton, Wolff y el principio de Hueter-Volkman. La presente revisión pretende conjuntar en un mismo artículo los principios de la artrodesis, la inestabilidad segmentaria y las características de los injertos involucrados en el tratamiento de la patología degenerativa, neoplásica, infecciosa y traumática de la columna vertebral con el objeto de acortar el camino hacia la comprensión de los mecanismos que llevan al éxito a la artrodesis espinal. Por todo lo anterior, este artículo es de interés para todo médico general, ortopedista o neurocirujano.

**Palabras clave:** Artrodesis, fusión espinal, injertos espinales, inestabilidad espinal.

**Nivel de evidencia:** IV.

### Spinal arthrodesis; fusion and grafts

### ABSTRACT

The term «arthrodesis» is defined by the National Center for Biotechnology Information as the surgical fixation of a joint by a procedure designed to accomplish fusion of the joint surfaces by promoting the proliferation of bone cells. Spinal arthrodesis has been proposed to stabilize the vertebral joints providing axial alignment and decreasing the pain, based on the orthopedic principle of Hueter-Volkman, and Hilton's and Wolff's laws. The present review puts together in one single article the elements that define segmental instability, arthrodesis and the most important graft features that are combined for the treatment of degenerative, neoplastic, infectious and traumatic spinal disease. Due to its characteristics, this article is of interest to every general practitioner, neurosurgeon or orthopedic surgeon.

**Key words:** Spinal arthrodesis, spinal fusion, spine grafts, instability.

**Level of evidence:** IV.

### INTRODUCCIÓN

La patología espinal ha sido reconocida como una afección seria en la historia de la medicina. Desde Hipócrates se tiene registro de la primera descrip-

ción de una reducción cerrada en una fractura espinal. En 1891, con el descubrimiento de los rayos X, existieron grandes adelantos en el diagnóstico de la patología espinal, así como en las técnicas quirúrgicas debido a que la anestesia y la asepsia sufrieron también adelantos. Fue hasta la época de Dandy en que se iniciaron los estudios contrastados, progresando de forma burda hasta la discografía en 1948, utilizando radiografías simples y medio de contraste. En 1972 se dio otro giro sobre la comprensión de la anatomía, diagnóstico y tratamiento con la llegada de la tomografía axial computada y, posteriormente, con la resonancia magnética, en la cual incluso se permite identificar con alto nivel de sensibilidad y especificidad el origen de la patología—ya sea infecciosa, neoplásica, crónica degenerativa o traumática— de manera no invasiva.

\* Servicio de Neurocirugía. Centro Neurológico ABC, IAP, México, D.F.

\*\* Hospital General de México O.D. Neurocirugía, México, D.F.

Recibido para publicación: 03/11/2013. Aceptado: 20/05/2014.

Correspondencia: Rodrigo Navarro-Ramírez

Av. Carlos Graef Fernández Núm. 154, Consultorio: 155,  
Col. Tlaxala Santa Fe, Delegación Cuajimalpa de Morelos, 05300, México, D.F.  
Tel: 16647205 – 16647206.  
E-mail: mnavarr2@gmail.com

Este artículo puede ser consultado en versión completa en:  
<http://www.medigraphic.com/analesmedicos>

Técnicamente, los cirujanos en la historia han abordado más comúnmente a la patología espinal por vía posterior, iniciando con abordajes posterolaterales y costotransversectomías para tratar enfermedades como tuberculosis espinal y «mal de Pott» desde 1930.

Fue hasta en 1956 que Hodgson y Stock reportaron sus experiencias con abordajes anteriores para columna cervical y lumbar.<sup>1</sup>

Por otro lado, Hibbs fue de los primeros en reportar procedimientos de fusión espinal para patologías como fracturas, enfermedad degenerativa y espondilolistesis.<sup>2</sup>

Sin embargo, todas estas técnicas han tenido modificaciones en el procedimiento quirúrgico y el uso de materiales a lo largo del tiempo gracias a la mejor comprensión de la historia natural de la enfermedad y a los avances tecnológicos.

Los principios que se siguen para tratar el dolor, corregir la estabilidad y la deformidad han sido siempre los mismos a pesar de la modificación en las técnicas para llevarlo a cabo. Son escasos los estudios clínicos en materia de cirugía de columna que tienen un nivel de evidencia II, y aún más escasos los que tienen un nivel de evidencia I, probablemente debido a la diversidad de presentación clínica, radiológica y estructural de las patologías, lo que dificulta la homogeneización de los tratamientos.

La cirugía de columna es dinámica, innovadora y altamente tecnológica. Sin embargo, este manuscrito tiene la intención de crear una base teórica para comprender, analizar y utilizar de forma crítica las herramientas tecnológicas existentes en beneficio de los pacientes con patología espinal.

## PRINCIPIOS TEÓRICOS DE LA ARTRODESIS ESPINAL

### Ley de Hilton

El anatomista y fisiólogo inglés John Hilton (1807-1881) publicó en 1879 «Rest and pain», obra en la que postula que las raíces nerviosas que inervan una articulación también inervan los músculos y la piel que los rodea. Este postulado explica la relación del dolor y la posición antiálgica y el mecanismo por el cual el dolor desaparece al mantener una articulación inmóvil.<sup>2</sup>

### Ley de Wolff

Julius Wolff (1836-1902), anatomista alemán, publicó en 1918 en la revista *Lancet* «The law of bone

transformation»; basado en sus observaciones en deformidades óseas señaló que la forma y estructura de los huesos en crecimiento y adultos depende de las fuerzas de estrés y tensión a la cual son sometidos. Alterando las líneas de estrés, la forma del hueso puede ser modificada.

En su ley afirma: «Cada cambio en la función y estrés del hueso es seguido por cambios definidos en su arquitectura interna».<sup>2</sup>

### Principio de Hueter-Volkmann

Carl Hueter (1838-1882) y Richard von Volkmann, cirujanos alemanes, describieron alrededor de 1870 el principio Hueter-Volkmann, en el cual se establece que «Las fuerzas de compresión inhiben el crecimiento óseo y las fuerzas tensiles estimulan el crecimiento».<sup>2</sup>

Por otro lado, la artrodesis es un procedimiento quirúrgico que tiene por objeto bloquear la movilidad de una articulación patológica, provocando anquilosis en posición funcional.<sup>3</sup> Se realiza artrodesis en casos de infección, neoplasias, trauma y deformidad congénita o degenerativa que ocasionan inestabilidad segmentaria.

La artrodesis estabiliza una articulación (le quita movimiento anormal), mejora la funcionalidad y disminuye o elimina el dolor. Sin embargo, toda artrodesis favorece la sobrecarga en las articulaciones vecinas que intentan compensar la pérdida de movimiento y la función articular, en ocasiones acelerando un proceso –que no es objeto de este manuscrito– denominado «enfermedad del segmento adyacente». Las compensaciones rígida o hiperlaxa de las articulaciones cercanas dependerán de la edad y el estado de las estructuras blandas que la rodean. Por lo tanto, la artrodesis representa en ocasiones una cirugía de contención de daños más que en una cirugía curativa.<sup>3</sup>

Basadas en las leyes de Hilton, Wolff y el principio de Hueter-Volkmann,<sup>4</sup> las técnicas de artrodesis<sup>4</sup> conservan el mismo principio al poner en contacto la mayor cantidad de hueso esponjoso para permitir el paso de trabéculas, eliminando toda superficie cartilaginosa y rectificando las superficies para convertir dos o más estructuras en una sola unidad.<sup>2</sup> Las técnicas de cirugía espinal para artrodesis se apoyan en el uso de una gran variedad de injertos –sintéticos, autólogos, heterólogos o xenoinjertos– que promueven la respuesta vertebral para una adecuada fusión, estabilidad y funcionalidad del raquis. El injerto ideal debe ser osteogénico, osteoconductor, osteoinducti-

vo y soportar de forma eficiente la carga a la que será sometido.<sup>3-5</sup>

### INESTABILIDAD ESPINAL

El término «inestabilidad» ha progresado desde principios de 1950, y el origen de la misma se ha asociado con diferentes hallazgos clínicos, radiológicos, biomecánicos (musculares y ligamentarios). La figura 1<sup>2,6-23</sup> muestra la cronología y aportaciones al término «inestabilidad» desde su primera descripción en 1950.

Hoy en día, a pesar de las diferentes concepciones del término «inestabilidad», la evaluación más aceptada es la de White y Panjabi, modificada en 1990 y publicada en su libro «Biomechanics of the Spine» (Cuadro I). En ella, de acuerdo con los autores, si la suma de las características radiológicas, anatómicas y clínicas da como resultado una puntuación mayor a cinco puntos, se sugiere inestabilidad. Sin embargo, de acuerdo con lo descrito por Kirkaldy-Willis, no es necesario llegar a esa conclusión y basta con que

el paciente presente dolor asociado con los cambios de posición o carga para que se considere columna inestable.<sup>6</sup>

En el año 2004, la Asociación Médica Americana, en su publicación «Terminología actual de procedimientos», modificó el término «fusión espinal» y lo reemplazó por el término «artrodesis».

La artrodesis espinal consiste en la colocación de implantes de diferentes grados de rigidez hechos de materiales metálicos o no metálicos que sirven para estabilizar la columna y favorecer la fijación de uno o más segmentos a través de células óseas.<sup>3,15-18,24,25</sup>

White y colaboradores,<sup>9</sup> en «Lumbar spine surgery», identifican a los doctores Fred Albee y Russell Hibbs<sup>24</sup> –ambos cirujanos ortopedistas de la ciudad de Nueva York– como los primeros cirujanos que emplearon injertos autólogos de hueso para favorecer la artrodesis, en el año de 1911. El primero de ellos utilizó injertos de tibia para estabilización entre las apófisis espinosas a nivel lumbar, y el segundo de ellos los colocó de forma posterolateral realizando

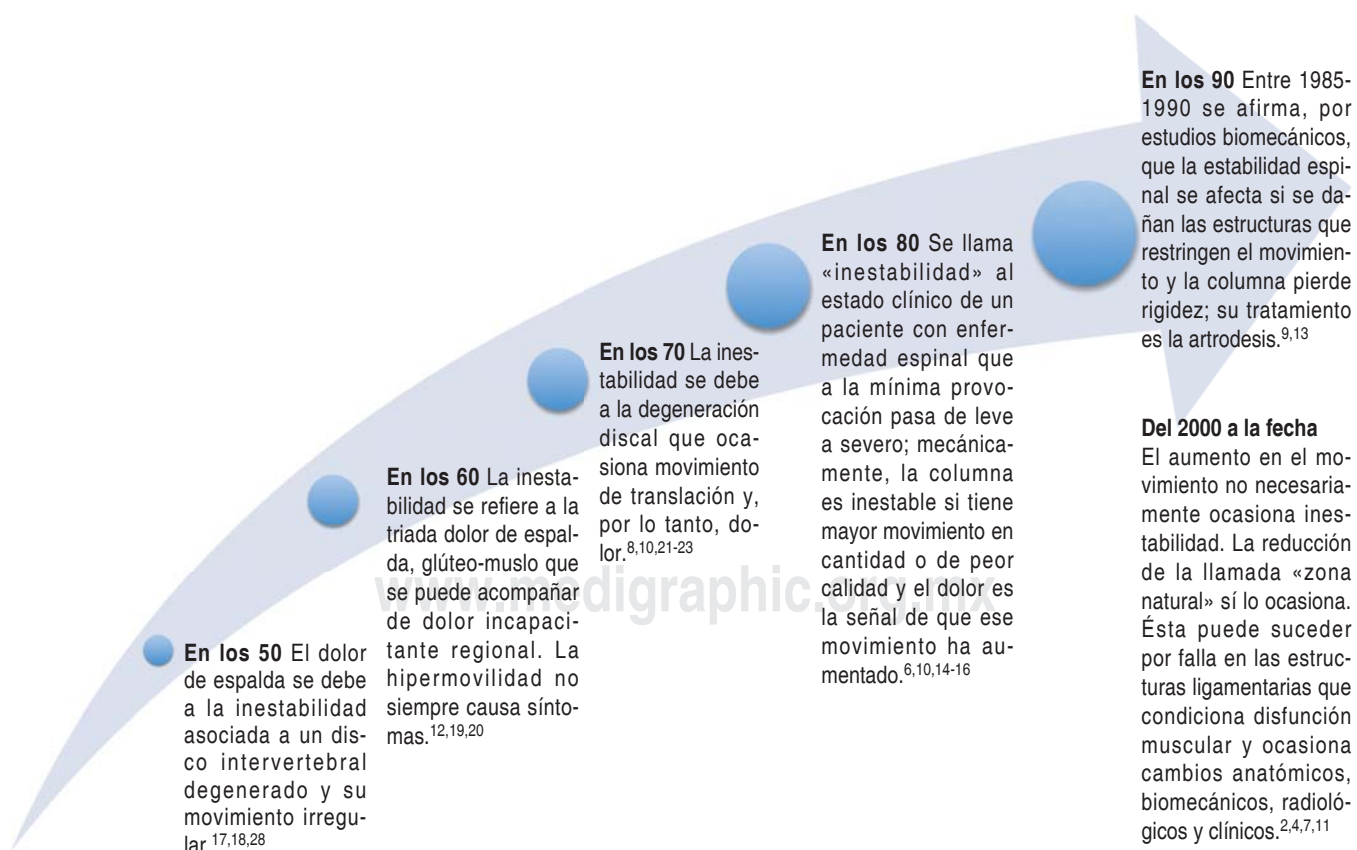


Figura 1. Cronología y concepción del término «inestabilidad» desde su primera descripción en 1950.

**Cuadro I.** Criterios anatómicos, radiológicos y clínicos en los diferentes niveles espinales que determinan la inestabilidad segmentaria.

	Criterio anatómico		Criterio radiológico		Criterio clínico	
Nivel cervical (C2-T1)	• Alt Elem Ant	2	Despl. sagital > 3.5 mm o 20°	4	Daño medular	2
	• Alt Elem Post	2	Rotación > 20°		Daño raquídeo	1
	• Ext positiva	2	Angulación sagital > 11°	1		
			Canal estenótico < 13 mm			
Nivel torácico	• Daño a la articulación costovertebral	1	Índice de Pavlov < 0.8	1	Carga peligrosa anticipada	1
	• Estrechamiento disco					
	• Despl. sagital > 2.5 mm o 20°	2	Despl. sagital > 2.5 mm o 20°	4	Daño medular o cauda equina	2
	• Angulación sagital > 5°	2	Angulación sagital > 5°		Carga peligrosa anticipada	1
Nivel lumbar	• Daño a la articulación costovertebral	1				
	• Alt Elem Ant	2	Despl. sagital > 4.5 mm o 15%	4	Cauda equina	3
	• Alt Elem Post	2	Rotación sagital > 15° en L1-L2, L2-L3 y L3-L4	2	Carga peligrosa anticipada	1
			> 20° L4-L5	2		
		> 25° L5-S1	2			

Total 5 puntos o más = inestabilidad. Modificado de White y Panjabi, *Biomechanics of the Spine*, 1990.<sup>9</sup>

**Cuadro II.** Cronología en las técnicas quirúrgicas utilizadas como tratamiento directo o indirecto de la inestabilidad espinal.<sup>15-22,24,25</sup>

Autor y año	Aportación	
Hibbs et al. 1914	Cirugía para detener la progresión de las deformidades espinales	17
Ito et al. 1934	Cirugía radical para la enfermedad de Pott	18
Hodgson et al. 1956	Fijación espinal anterior	19
Moe et al. 1958	Análisis crítico para los métodos de fusión para escoliosis	20
Harrington et al. 1962	Tratamiento de la escoliosis: corrección y fijación interna	21
Dwyer et al. 1969	Abordaje anterior para corrección de escoliosis	22
Zielke et al. 1976	Abordaje anterior para corrección de escoliosis	23
Luque et al. 1982	Instrumentación segmentaria para la corrección de escoliosis	15
Cotrel, Dubousset et al. 1984	Técnica novedosa para la osteosíntesis raquídea segmentaria por vía posterior, barras y anclaje sublaminares	16
Dove et al. 1989	Alambrado segmentario para corrección de escoliosis	24

la técnica llamada «feathered», mediante la cual se decorticaban las láminas y la articulación facetaria para colocar hueso autólogo y artrodesar las vertebral posterolateralmente. Esta técnica continúa vigente.<sup>14</sup>

Aproximadamente en 1930, se comenzaron a utilizar los implantes metálicos (Cuadro II).<sup>15-22,24,25</sup> Sin embargo, fue hasta principios de 1980 que se produjo el mayor avance en el tratamiento de las deformidades vertebrales. Los doctores Luque, Yves Cotrel y Jean Dubousset diseñaron un sistema de instrumentación segmentaria metálico que proveía estabilidad y favorecía artrodesis. El primero de ellos lo desarrolló en México en 1982 utilizando barras de acero y alambres. De manera simultánea, Cotrel y Dubous-

set, en Francia en 1984, desarrollaron el sistema de barras y anclajes sublaminares ahora conocido como «sistema CD». Este sistema ha sido el predecesor de los sistemas sólidos y versátiles que utilizamos hasta la fecha.<sup>15,16</sup>

Independientemente de la técnica o el autor, los objetivos de la instrumentación segmentaria son:

1. Dar soporte a la columna cuando la integridad estructural está comprometida.
2. Prevenir la deformidad espinal o su progresión.
3. Disminuir la movilidad segmentaria y aliviar o eliminar el dolor.
4. Favorecer la artrodesis y evitar la pseudoartrosis.

## INJERTOS

El conocimiento individualizado de los pacientes, la biomecánica de la columna y las características de los injertos sirven para mejorar el porcentaje de éxito de la artrodesis, además de disminuir el porcentaje de falla de los implantes o fracaso en la corrección del balance sagital o coronal.

Los requerimientos fundamentales de un injerto para la adecuada fusión espinal y evitar la pseudoartrosis son:

1. Contar con una adecuada población de células osteogénicas.<sup>3,23,26-28</sup>
2. La presencia de matriz osteoconductiva en el sitio de colocación del injerto.<sup>3,2 3,26-28</sup>
3. Las señales osteoinductivas locales, sistémicas o del injerto.<sup>3,23,26-28</sup>

Debido a que no existe un injerto ideal, el éxito en la artrodesis dependerá de la adecuada técnica quirúrgica y la adecuada elección del injerto o injertos.<sup>5</sup> Es por esto que consideramos esencial describir los diferentes tipos de injertos, el material con el que es-

**Cuadro III.** Marcadas con una + se encuentran identificadas las características osteogénicas, osteoinductivas u osteoconductivas de los diferentes tipos de injertos disponibles para la práctica de la artrodesis espinal.

Material	Osteogénicos	Osteoinductivos	Osteoconductivos
<b>Biológicos</b>			
Autólogo hueso poroso	+	+	+
Autólogo hueso cortical	+	+	+
Autoinjerto vascularizado	+	+	+
Alloinjerto		+	+
Xenoinjerto			+
Matriz ósea des-mineralizada		+	+
Proteína morfogenética de hueso		++	
<b>Sintéticos</b>			
Colágeno			
Cerámicas			+
Polímeros (PEEK)			+
Fibra de carbón			+
Metal			+

PEEK = polyether ether ketone.

tán hechos, sus propiedades específicas (Cuadro III) y los factores sistémicos (Cuadro IV) o locales (Cuadro V) que afectan su desempeño.

Como ya es conocido, el uso de implantes o injertos NO es inocuo y puede relacionarse a ciertos riesgos, efectos adversos y complicaciones que van desde rechazo del material, la posibilidad de falla en la fusión, infección, efectos teratógenos, dolor, reacciones alérgicas o crecimiento anómalo de hueso (Cuadro VI).<sup>29-34</sup>

**Cuadro IV.** Factores sistémicos relacionados con un efecto positivo o negativo en el éxito de la artrodesis espinal.

Factores positivos	Factores negativos
Insulina	Corticoesteroides
Factor similar a la insulina	Intoxicación por vitamina A
Testosterona	Deficiencia de vitamina D
Estrógenos	Intoxicación por vitamina D
Hormona de crecimiento	Anemia; deficiencia de hierro
T4	Balance nitrogenado negativo
Hormona paratiroidea	Deficiencia de calcio
Calcitonina	AINES
Vitaminas A, B, C, D	Adriamicina
Esteroides anabólicos	Metotrexate
	Artritis reumatoide
	Síndrome de secreción inapropiada de hormona antidiurética
	Castración
	Tabaco
	Sepsis

**Cuadro V.** Factores locales relacionados con un efecto positivo o negativo en el éxito de la artrodesis espinal.

Factores positivos	Factores negativos
Incrementar el área quirúrgica	Osteoporosis
Población local de células troncales (médula, periostio)	Radioterapia
Andamio osteoconductivo (coágulo, matriz ósea)	Denervación
Estabilidad mecánica	Tumor
Carga mecánica	Infecciones
Factores de reclutamiento (plaquetas, VEGF)	Enfermedad local del hueso
Factores osteoconductivos	Movilidad ósea (inestabilidad)
Factores que promueven angiogénesis (EGF, FDF, VEGF)	Cera ósea en el campo quirúrgico
Estimulación eléctrica o ultrasonido	

EGF = factor de crecimiento endotelial, FDF = factor de crecimiento fibroblástico, VEGF = factor de crecimiento vascular endotelial.



**Cuadro VI.** Información complementaria relacionada con los diferentes tipos de injertos utilizados en la artrodesis espinal.

Injerto	Información complementaria	Referencia
Cresta iliaca	Estándar de injertos con fusiones reportadas de hasta el 89.3%. Se reportan complicaciones que van del 5.8 al 39%. Las complicaciones van de disestesias pélvicas a seromas, hematoma, infección o dolor crónico, que particularmente se puede presentar del 25 al 60%.	5,30,33
Aloinjerto	Se usa en lugar de la cresta iliaca para fijaciones posterolaterales; el uso más común es en las fijaciones cervicales anteriores con placa y su porcentaje de fusión va del 94 al 98%. Se han reportado de 1994 a 2007 aproximadamente 15,000 casos de transmisión de enfermedades por el uso de aloinjertos. Sólo se ha reportado un caso de transmisión de HIV* en un aloinjerto (epifisis femoral) de un donante que era HIV-.	5
Matriz ósea desmineralizada	Proviene de aloinjerto procesado y posee bajo riesgo de transmisión de enfermedades. Conserva cantidades de proteínas morfógenas de hueso, lo cual lo convierte en buen osteoinductor; sin embargo, se desconoce exactamente su potencial. No cuenta con evidencia clase 1 para su uso sobre otros osteoinductores.	5
Concentrados celulares y plasma	En ocasiones, los concentrados celulares o plasma sirven como potenciadores de los injertos. Sus ventajas son que es un autoinjerto con bajo potencial de transmisión de enfermedades. Sus desventajas es que se requiere tomar sangre de los pacientes previo a la cirugía; los factores de crecimiento y su concentración son variables de paciente a paciente. Además, se ha comprobado menor eficacia de fusión cuando se usa plasma y cresta iliaca que con injerto de cresta iliaca solo.	5
Proteína morfogénica de hueso (BMP)	Tienen un gran potencial ontogénico. Existen dos tipos de BMP recombinantes (rhBMP)*: la rhBMP2 y la rhBMP7; la primera de ellas comercializada por Medtronic, asociada a un sinnúmero de complicaciones, desde infección a formación de hueso redundante, osteolisis, teratogenicidad y muerte. Por otro lado, rhBMP7 o Putty, comercializado por Stryker; no se le ha asociado a ninguna comorbilidad directa. La artrodesis con cresta iliaca y Putty puede mejorar la artrodesis de un 40 a un 55%.	5,23,28,31
Titanio ( <i>tantalum</i> )	Se asocia por su rigidez a una mejor formación de densidad ósea. Favorece la formación de crecimiento óseo alrededor y dentro del implante en relación con los implantes PEEK*.	29
Carbón/PEEK	Su porcentaje de éxito como adyuvante en la fusión depende de la densidad ósea mineral y de la rigidez y compresión de la construcción, no de su posición en el espacio intersomático. Poseen menor capacidad de crecimiento óseo y capacidad osteoconductiva que los implantes metálicos. porosos	32-34

\*HIV = virus de inmunodeficiencia humana, \*rhBMP = proteína morfogénica de hueso recombinante humana, \*PEEK = polyether ether ketone.

## DISCUSIÓN

El término «artrodesis» ha remplazado al término «fusión» desde el año 2004, tras la reunión de la Asociación Médica Americana, y hace referencia al procedimiento que tiene por objeto dar soporte a la columna, prevenir o revertir la deformidad y disminuir o desaparecer el dolor del segmento afectado; se basa en los postulados de Hilton, Wolff y Hueter-Volkman.<sup>2</sup>

Los criterios de inestabilidad espinal han sido estudiados desde 1950 y poseen una base sólida a partir de los estudios de White a finales de la década de los años 70. Diversas incorporaciones que consideran a la sintomatología como un criterio más, han modificado la descripción original. Sin embargo, hasta el momento, los criterios descritos en este artículo y su modificación en el 2006 por Panjabi y colaboradores continúan siendo claros y confiables en el diagnóstico de la inestabilidad segmentaria.<sup>9</sup>

Conocer los antecedentes históricos en las técnicas de instrumentación espinal sirve como base en la innovación o actualización de los procedimientos a lo largo del tiempo. El conocimiento de la historia evita cometer errores en los procedimientos que hasta hoy no cuentan con evidencia clase I para su realización.

Una vez que se considera a la artrodesis como la opción terapéutica, se requiere tener un amplio conocimiento de las bases históricas, anatómicas y técnicas para alcanzar el éxito de la artrodesis. Además, es preciso conocer los factores locales, sistémicos y propiedades osteoinductivas, osteoconductivas y osteogénicas que afectan el desempeño de los injertos, así como los efectos secundarios o deletéreos de los mismos.

La artrodesis, por lo tanto, es un procedimiento común entre ortopedistas y neurocirujanos. Las indicaciones y las técnicas quirúrgicas son vastas y dinámicas; por lo tanto, el uso racional, crítico y correcto de la tecnología en el diagnóstico y tratamiento de la

patología espinal determinará el éxito en la calidad de vida y resolución de los padecimientos de los pacientes.

## CONCLUSIÓN

La artrodesis es un procedimiento relativamente sencillo en cuanto a su técnica y sumamente complejo en cuanto a su comprensión o indicación. Se requiere el estudio individualizado de las causas de la inestabilidad, la artrodesis y los injertos para lograr el bienestar del paciente.

Este artículo pretende ser una guía introductoria rápida y comprensible a la artrodesis describiendo los antecedentes históricos, los criterios que definen a la inestabilidad espinal y detalles de los factores y características de los materiales que influyen directamente en el éxito del procedimiento.

Estamos seguros de que el estudio de la cirugía de columna es una disciplina dinámica que se modifica día a día y que los estudios biomecánicos y biomoleculares en la patología degenerativa, traumática y neoplásica influirán considerablemente en el desarrollo de nuevos abordajes al tratamiento de la patología espinal. Sin embargo, también es claro que los principios recopilados en este artículo son básicos y han sido utilizados a lo largo de un siglo, por lo que deben ser conocidos por todo médico general, neurocirujano u ortopedista con la finalidad de evitar diagnósticos y tratamientos incorrectos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Winn HR. *Youmans neurological surgery*. 6th ed. Philadelphia, PA: Elsevier; 2011. p. 265.
- Solano AS. Las leyes de la ortopedia. *Rev Col de Or Tra*. 2006; 20 (4): 115-118.
- Herkowitz HN, Garfin SR, Eismont FJ, Bell GR, Balderston RA. *Rothman-Simeone The spine*. 6th ed. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier; 2011. pp. (1) 29-64.
- García LAG. *Conceptos básicos de cirugía vertebral*. México: Panamericana; 2001. pp. 46-56.
- Glassman SD, Howard JM, Sweet A, Carreon LY. Complications and concerns with osteobiologics for spine fusion in clinical practice. *Spine*. 2010; 35 (17): 1621-1628.
- Kirkaldy WH, Farfan HF. Instability of the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res*. 1982; (165): 110-123.
- Mulholland RC. The myth of lumbar instability: the importance of abnormal loading as a cause of low back pain. *Eur Spine J*. 2008; 17 (5): 619-625.
- Macnab I. The traction spur. An indicator of segmental instability. *J Bone Joint Surg Am*. 1971; 53 (4): 663-670.
- White AA, Panjabi MM. *Clinical biomechanics of the spine*. 2nd ed. Philadelphia, PA: Lippincott; 1990. pp. 120-136.
- Dupuis PR, Yong K, Cassidy JD, Kirkaldy WH. Radiologic diagnosis of degenerative lumbar spinal instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985; 10 (3): 262-276.
- Iguchi T, Kanemura A, Kasahara K, Sato K, Kurihara A, Yoshiya S et al. Lumbar instability and clinical symptoms: which is the more critical factor for symptoms: sagittal translation or segment angulation? *J Spinal Disord Tech*. 2004; 17 (4): 284-290.
- Harmon PH. Indications for spinal fusion in lumbar diskopathy, instability and arthrosis. 2. Surgical results from various types of operations on the lumbar spine in the presence of spinal arthrosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1964; 34: 92-107.
- Murata M, Morio Y, Kuranobu K. Lumbar disc degeneration and segmental instability: a comparison of magnetic resonance images and plain radiographs of patients with low back pain. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1994; 113 (6): 297-301.
- White AH. *Lumbar spine surgery: the history of lumbar spine stabilization*. St. Louis, USA: C.V Mosby; 1987. pp. 220-247.
- Luque ER, Cassis N, Ramírez G. Segmental spinal instrumentation in the treatment of fractures of the thoracolumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1982; 7 (3): 312-317.
- Cotrel Y, Dubousset J. A new technic for segmental spinal osteosynthesis using the posterior approach. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1984; 70 (6): 489-494.
- Hodgson AR, Stock FE. The classic: anterior spinal fusion: a preliminary communication on the radical treatment of Pott's disease and Pott's paraplegia. 1956. *Clin Orthop Relat Res*. 2006; 444: 10-15.
- Moe JH. A critical analysis of methods of fusion for scoliosis: an evaluation in two hundred and sixty-six patients. *J Bone Joint Surg Am*. 1958; 40-A (3): 529-554.
- Harrington PR. Treatment of scoliosis: correction and internal fixation by spine instrumentation. June 1962. *J Bone Joint Surg Am*. 2002; 84-A (2): 316.
- Dwyer AF, Newton NC, Sherwood AA. Anterior approach to scoliosis: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res*. 1969; 62: 192-202.
- Zielke K, Stunkat R, Beaujean F. *Ventrale derotations-spondylodesis author's transl*. *Arch Orthop Unfallchir*. 1976; 85 (3): 257-277.
- Dove J. Segmental wiring for spinal deformity. A morbidity report. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1989; 14 (2): 229-231.
- Vaccaro AR, Anderson DG, Patel T, Fischgrund J, Truumees E, Herkowitz HN et al. Comparison of OP-1 putty (rhBMP-7) to iliac crest autograft for posterolateral lumbar arthrodesis: a minimum 2-year follow-up pilot study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005; 30 (24): 2709-2716.
- Hibbs RA. An operation for progressive spinal deformities: a preliminary report of three cases from the service of the orthopaedic hospital. 1911. *Clin Orthop Relat Res*. 2007; 460: 17-20.
- Ito H, Tsuchiya J, Asami G. A new radical operation for Pott's disease. *J Bone Joint Surg Br*. 1934; 16 (3): 499-515.
- Landriel FA, Hem S, Goldschmidt E, Ajler P, Vecchi E, Carrizo A. Polyetheretherketone interbody cages versus autogenous iliac crest bone grafts with anterior fixation for cervical disc disease. *J Spinal Disord Tech*. 2013; 26 (2): 61-67.
- Hsu WK, Wellington K, Wang JC, Jeffrey C. Bone graft substitutes: the use of genetically engineered bone morphogenetic proteins for spinal fusion. *Curr Opin Orthop*. 2004; 15 (3): 167-171.
- Barr JS. Low-back and sciatic pain; results of treatment. *J Bone Joint Surg Am*. 1951; 33-A (3): 633-649.
- Epstein NE. Pros, cons, and costs of INFUSE in spinal surgery. *Surg Neurol Int*. 2011; 2: 10.
- Lam FC, Alkalay R, Groff MW. The effects of design and positioning of carbon fiber lumbar interbody cages and their subsidence in vertebral bodies. *J Spinal Disord Tech*. 2012; 25 (2): 116-122.
- Van Dijk M, Smit TH, Sugihara S, Burger EH, Wuisman PI. The effect of cage stiffness on the rate of lumbar interbody

- fusion: an in vivo model using poly (l-lactic acid) and titanium cages. *Spine*. 2002; 27 (7): 675-788.
32. Sinclair SK, Konz GJ, Dawson JM, Epperson RT, Bloebaum RD. Host bone response to polyetheretherketone versus porous tantalum implants for cervical spinal fusion in a goat model. *Spine*. 2011; 37 (10): 571-580.
33. Boden SD, Kang J, Sandhu H, Heller JG. Use of recombinant human bone morphogenetic protein-2 to achieve posterolateral lumbar spine fusion in humans: a prospective, randomized clinical pilot trial: 2002 Volvo Award in clinical studies. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002; 27 (23): 2662-2673.
34. Shi Y, Niedzinski JR, Samaniego A, Bogdanský S, Atkinson BL. Adipose-derived stem cells combined with a demineralized cancellous bone substrate for bone regeneration. *Tissue Eng Part A*. 2012; 18 (13-14): 1313-1321.