

Fijación transpedicular para el tratamiento de espondilolistesis, espondilolisis y canal lumbar estrecho de la columna lumbosacra

Experiencia multicéntrica -10 años

Dr. Javier Ernesto Matta I.,* Dr. César Jacobo Díaz S.,† Dr. César Enrique Gamba S.*

* Ortopedista y Traumatólogo, cirugía de columna vertebral y pelvis. Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Militar Central. Docente Investigador, Facultad de Medicina, Universidad Militar Nueva Granada.

† Residente tercer año, Servicio de Neurocirugía, Universidad Militar Nueva Granada, Hospital Militar Central.

* Residente tercer año, Servicio de Ortopedia y Traumatología, Universidad Militar Nueva Granada, Hospital Militar Central.

Correspondencia: Dr. Javier Matta I., Hospital Militar Central, Servicio de Ortopedia y Traumatología, Transversal 3 No. 49-00 Piso Séptimo Norte. Teléfono 3486868 ext.5260-5261. e-mail: jmatta@claustru.urosario.edu.co

Asesor metodológico: Ricardo Rodríguez Sastre, División de educación e investigación científica. Hospital Militar Central

Resumen

Se diseñó un estudio descriptivo, prospectivo, serie de casos, con el objetivo de analizar la experiencia con la técnica de fijación transpedicular, para el tratamiento de espondilolistesis degenerativa, espondilolisis y canal lumbar estrecho. Ochenta pacientes (42 hombres y 38 mujeres) fueron intervenidos entre febrero de 1992 y febrero de 2002; el promedio de edad era de 46,3 años y el seguimiento mínimo de 7 meses. Los casos se tabularon según diagnóstico, presentación clínica, intervenciones previas, procedimientos descompresivos asociados a la fijación, nivel anatómico de lesión, número de vértebras fijadas, número de tornillos colocados, tipo de injertos óseos y complicaciones. En 33 pacientes (41,3%) se diagnosticó espondilolistesis degenerativa, espondilolisis en 24 (30%), canal lumbar estrecho en 20 (25%), espondilolistesis displásica en 2,5% y espondiloptosis en 1%. Las presentaciones clínicas más frecuentes fueron dolor radicular y dolor lumbar, con 33,8% cada una. Se realizó artrodesis L5-S1 en 38 pacientes (47,5%) y L4 L5 en 15 pacientes (18,7%). Como complicaciones encontramos infección profunda en 7,5% de los casos, déficit neurológico en 5%, ruptura de duramadre 3,8%, falsa ruta de tornillos, falla ósea y ruptura de material en 2,5% cada uno y seroma en 1,3%. No se presentó pseudoartrosis.

La fijación transpedicular es una técnica segura para el tratamiento de la espondilolistesis degenerativa, espondilolisis y canal lumbar estrecho. Con la fijación transpedicular el promedio de vértebras fijadas es menor que con las técnicas de Harrington y Luque, preservando en mayor grado la movilidad articular. La asociación de la fijación transpedicular con artrodesis y fusión mediante colocación de injertos autógenos, disminuye la incidencia de pseudoartrosis.

Palabras clave: Fijación transpedicular, espondilolistesis degenerativa, espondilolisis, canal lumbar estrecho.

Introducción

Las instrumentaciones tradicionales de Harrington y Luque se utilizaron para patologías no traumáticas de la columna lumbar hasta el advenimiento de la fijación transpedicular; dicha técnica ha evolucionado de manera sustancial desde los reportes iniciales de Roy Camille¹ y posteriormente de Steffe.² Con la técnica transpedicular se logra mayor estabilidad, ya que fija los tres pilares de la columna descritos por Denis³; de otra parte, involucra un menor número de vértebras, preservando la movilidad articular en mayor grado.

Entre las patologías que afectan el segmento lumbosacro, vale la pena destacar como las más frecuentes

el canal lumbar estrecho, espondilolistesis degenerativa, espondilolistesis secundaria a espondilolisis, espondilolistesis displásica y espondiloptosis. El canal lumbar estrecho degenerativo consiste en la disminución progresiva de las dimensiones del canal espinal lumbar y del foramen neural, que conduce a una constricción de las raíces nerviosas y de la cauda equina; este estrechamiento es causado por un proceso degenerativo crónico con hipertrofia de las facetas articulares y del ligamento amarillo asociado a una enfermedad discal degenerativa central y paracentral.

La espondilolistesis se define como el desplazamiento de una vértebra sobre otra en el plano transversal, más frecuentemente en L4-L5 y L5-S1 y se clasifica como

displásica en presencia de anomalías congénitas de la unión lumbosacra, más frecuentemente de los arcos y facetas sacras, secundaria a espondilolisis o *istmica* cuando hay un defecto de la *pars interarticularis* (espondilolisis) que permite el deslizamiento de la quinta vértebra lumbar hacia delante, degenerativa, si el desplazamiento es debido a inestabilidad y degeneración del disco y las facetas de manera crónica, patológica, debida a destrucción de la *pars interarticularis*, pedículo o facetas, por enfermedades que produzcan reblandecimiento óseo, o de origen traumático.

Las indicaciones generales para la intervención operatoria de los pacientes con este tipo de afecciones son el dolor lumbar y/o radicular incapacitante, que no haya respondido al tratamiento médico y a la rehabilitación integral, la presencia de un déficit neurológico progresivo o la progresión radiográfica de la listesis.

Para el manejo de las patologías descritas del segmento lumbosacro, se dispone hoy en día de la técnica de fijación transpedicular, la cual tiene como ventajas en relación con otras técnicas tradicionales, que permite la estabilización de deformidades e inestabilidades, el control del dolor, la descompresión nerviosa, una mejor tasa de fusión y la preservación de la función articular en mayor grado, gracias a un menor número de vértebras involucradas en la fijación.

Este trabajo reporta la experiencia de los últimos 10 años utilizando la técnica convencional de fijación transpedicular para el tratamiento del canal lumbar estrecho, espondilolistesis degenerativa, espondilolisis, espondilolistesis displásica y espondiloptosis, empleando como implantes la Instrumentación Analítica,^{4,5} y el fijador interno AO,⁶ entre otros.

Materiales y métodos

Se diseñó un estudio descriptivo, tipo serie de casos, prospectivo y multicéntrico que describe y analiza la experiencia con la fijación transpedicular de las patologías objeto de estudio. La población está constituida por pacientes con espondilolistesis degenerativa, espondilolisis y canal lumbar estrecho, espondilolistesis displásica y espondiloptosis tratados con la técnica de fijación transpedicular.

El estudio comprende 80 pacientes ingresados de manera secuencial durante un período de 10 años, comprendidos entre febrero de 1992 y febrero de 2002. Fueron intervenidos en el Hospital Militar Central 53 de ellos y, los restantes, en otras instituciones del país. Se incluyeron en el estudio los pacientes seleccionados en la consulta externa, que cumplieran los criterios de indicación quirúrgica, para las patologías objeto de estudio.

El primer autor participó, de manera directa, en todas las intervenciones y se empleó la misma técnica quirúrgica en todos los pacientes. El seguimiento mínimo postoperatorio fue de 7 meses.

Fueron excluidos del estudio los pacientes que fallecieron durante la realización del mismo, aquellos a quienes se les aplicó la técnica de fijación transpedicular para patologías diferentes a las objeto de estudio o que fueron manejados mediante otros procedimientos; así mismo no fueron incluidos para su análisis los pacientes intervenidos por un cirujano diferente al primer autor del trabajo y quienes no cumplieron el tiempo mínimo de seguimiento posquirúrgico.

Los datos recolectados fueron procesados mediante el programa estadístico Epiinfo 6.0.

Resultados

Se analizaron 80 pacientes intervenidos quirúrgicamente en un periodo de 10 años, con una distribución por sexo de 42 hombres (52,5%) y 38 mujeres (47,5%); el promedio de edad fue 46,3 años (rango 11-79 años) con una desviación estándar de 18,8. Cincuenta y tres pacientes (66,3%) fueron operados en el Hospital Militar Central y 27 (33,8%) en otras instituciones del país, todos ellos con la participación directa del primer autor del presente trabajo. El promedio de seguimiento clínico fue 69,2 meses (rango 5-120 meses).

Para una mejor ilustración del tratamiento de las patologías descritas (tabla 1), se presenta un caso clínico de canal lumbar estrecho secundario a espondilolistesis degenerativa (figura 1). Considerando que la presentación clínica de las patologías incluidas en la tabla 1 son muy variadas, escogimos como más relevantes las siguien-

Tabla 1. Distribución según diagnóstico

Diagnóstico	Frecuencia	Porcentaje
Espondilolistesis degenerativa	33	41,3
Espondilolisis	24	30,0
Canal lumbar estrecho	20	25,0
Espondilolistesis displásica	2	2,5
Espondiloptosis	1	1,3



Figura 1 Vista lateral donde se observa corrección de la espondilolistesis.

tes: dolor lumbar o radicular y déficit neurológico motor o sensorial (tabla 2 y figura 2).

Con respecto a la fusión y artrodesis como técnica asociada a la fijación, se involucró el segmento L5-S1 en 38 casos (47,5%) y el segmento L4-L5 en forma aislada en 15 casos (18,7%). El número de vértebras fijadas y artrodesadas en todo el grupo de pacientes, fue de 203 (2,5 vértebras por paciente); en la mayoría de los casos se fijaron y se realizó artrodesis de dos vértebras (48 casos: 60%), seguido por tres vértebras en 23 casos (28,8%).

La técnica de Bohlman,⁷ consistente en artrodesis circunferencial L5-S1, se practicó en 7 de nuestros pacientes, quienes presentaban espondilolistesis de alto grado o espondiloptosis (figuras 3A-3D)

Se colocaron 376 tornillos pediculares en total en los 80 casos, con un promedio de 4,7 tornillos por caso; en la mayoría se realizó fijación con cuatro tornillos 57 casos (71,3%), seguido por fijación con seis tornillos 18 casos (22,5%). La patología que requirió colocación de mayor número de tornillos, fue la espondilolistesis degenerativa en 33 casos (158 tornillos).

Respecto a las complicaciones, se presentó seroma en un paciente (1,3%), infección superficial en otro y en 6 casos (7,5%) se presentó infección profunda; reportándose como gérmenes estafilococo dorado, enterococo, pseudomona, estreptococo beta hemolítico del grupo A y enterococo fecalis; de estos, 3 fueron manejados con lavado quirúrgico y 3 con retiro tardío del material de osteosíntesis (figura 4). En 2 casos (2,5%) se presentó falla ósea: (en el primero de ellos, un paciente de 51 años con diagnóstico de artritis reumatoidea y osteoporosis, se detectó subsidencia de los tornillos, siendo manejado

con retiro tardío del material⁸; en el segundo paciente, de 72 años, con espondiloartrosis severa, se detectó radiolucencia alrededor de los tornillos pero, por encontrarse asintomático, se encuentra en observación).

La ruptura de material se registró en dos casos y falsa ruta al introducir los tornillos en el pedículo igualmente en otros dos (2,5%); en el primero de estos casos un tornillo invadió el foramen L5-S1 y lesionó la raíz L5 y, en el segundo, un tornillo perforó lateralmente el pedículo sin fijar el cuerpo vertebral; los dos casos se solucionaron en el postquirúrgico inmediato revisando la fijación y recolocando el tornillo respectivo.

Con respecto a la lesión de estructuras neurológicas, durante la descompresión se perforó la duramadre en tres casos (3,8%) y se presentó déficit neurológico radicular con pie caído en el caso ya descrito.; en otros dos pacientes se presentó pie caído como complicación durante la descompresión, probablemente debido a la tracción de estructuras neurales durante la cirugía y a edema o isquemia postoperatorios. No se ha requerido revisión quirúrgica por pseudoartrosis en ningún caso.

Discusión

Acorde con la literatura internacional,⁹ en el presente trabajo se encontró mayor incidencia de canal lumbar estrecho y espondilolistesis degenerativa en pacientes de la quinta y sexta década de la vida, con predominio del sexo femenino; por el contrario la espondilolistesis fue más frecuente por debajo de la cuarta década de la vida y con predominio masculino. Con referencia al diagnóstico, predominaron las patologías degenerativas (espondilolistesis y canal lumbar estrecho (66,3%) sobre la espondilolistesis (30%), espondilolistesis displásica y espondiloptosis^{10,11,12} lo cual refleja que la población estudiada estaba conformada por adultos mayores.

Con respecto a la presentación clínica analizada, (dolor radicular, dolor lumbar déficit neurológico motor,

Tabla 2. Distribución según presentación clínica

Presentación clínica	Frecuencia	Porcentaje
Dolor radicular	27	33,8
Dolor lumbar	27	33,8
Déficit sensorial	16	20,0
Déficit motor	10	12,5

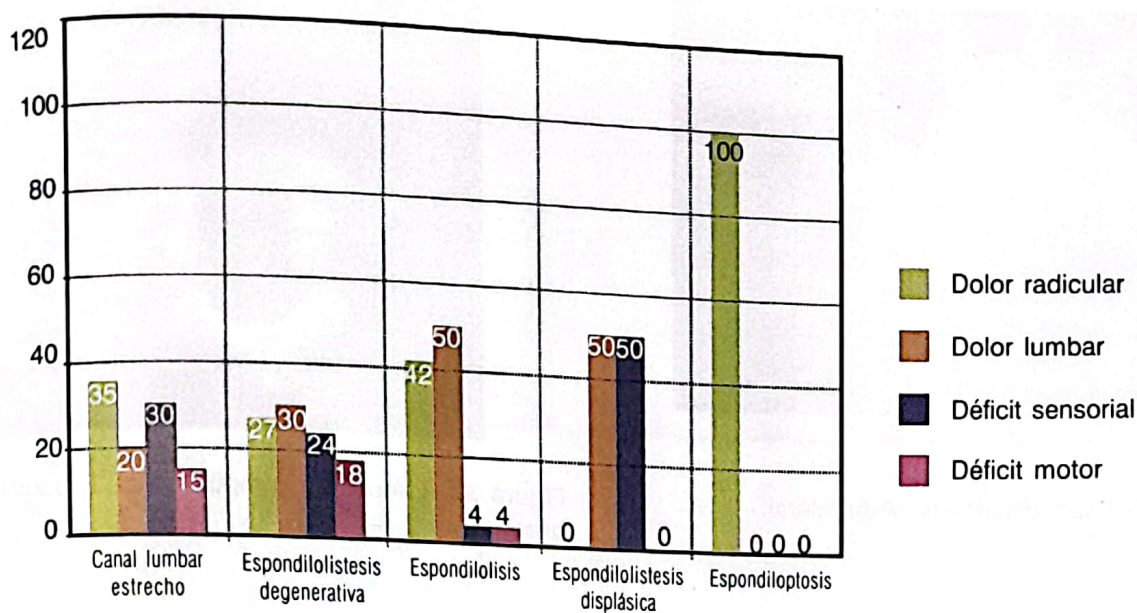


Figura 2. Distribución porcentual de diagnóstico y su presentación clínica.

déficit neurológico sensorial) las de mayor frecuencia fueron dolor radicular lumbar con 33,8% cada una, acorde con otros trabajos publicados,^{11,13-18} esto deja entrever que los pacientes se están tratando oportunamente antes de que se instaure un déficit neurológico objetivo. Como era de esperarse, los pacientes que requirieron procedimientos descompresivos asociados a la fijación, fueron aquellos que tenían signos o síntomas neurológicos, específicamente dolor radicular (26,2%) y déficit neurológico (30%).

En cuanto a la fijación y artrodesis, en la mayoría de los pacientes se involucraron segmentos cortos de dos o tres vértebras (60 y 28,8%) siendo este uno de los principales objetivos de la fijación transpedicular, que preserva un mayor número de segmentos móviles¹⁹⁻²¹. La espondilolistesis degenerativa involucró y ameritó fijación-artrodesis principalmente del segmento L4-L5, en contraste con la espondilolisis que comprometió preferencialmente el segmento L5-S1, hallazgos consecuentes con lo reportado en la literatura.

Los pacientes con espondilolisis sin déficit neurológico sometidos a estabilización sin descompresión presentaron un resultado satisfactorio con remisión de los síntomas de dolor lumbar y radicular y ninguno de ellos ha requerido en el seguimiento cirugía de revisión.

Sobre los casos de espondilolistesis de alto grado (7 en nuestra serie), que requirieron de la técnica de Bohlman,⁷ es importante resaltar que esta permite la artrodesis intercorporal

e intertransversa L5-S1 por un solo abordaje quirúrgico vía posterior y aunque en los casos reportados por Bohlman, no se adicionaba fijación transpedicular, en nuestra casuística siempre se realizó con el objeto de proporcionar mayor estabilidad biomecánica. De otra parte, con un adecuado planeamiento y técnica operatoria es factible fijar y artrodesar únicamente las dos vértebras involucradas en la espondilolistesis (L5-S1), preservando el nivel L4-L5, que con frecuencia era fijado con las técnicas clásicas.

La incidencia de infección profunda (7,5%), aunque dentro de los reportes de la literatura,²² probablemente se explique por el elevado número de procedimientos descompresivos asociados a la fijación y artrodesis, que por convenio en nuestra institución se efectúan entre los servicios de Ortopedia y Neurocirugía, con la consecuente participación de un mayor número de cirujanos y por ende mayor tiempo quirúrgico. De todos los pacientes sólo uno falleció en el postoperatorio inmediato debido a una infección de senos paranasales (estreptococo beta-hemolítico del grupo A) que vía hematogena causó un absceso en el área quirúrgica de la columna, ocasionándole finalmente septicemia, choque séptico y muerte.

La incidencia de fallas óseas (2,5%) y de material (2,5%) en nuestra serie, se encuentra por debajo de algunos reportes de otras series, como la de Matsuzaki²³ que reportó 6% de ruptura de material. La ausencia de pseudoartrosis

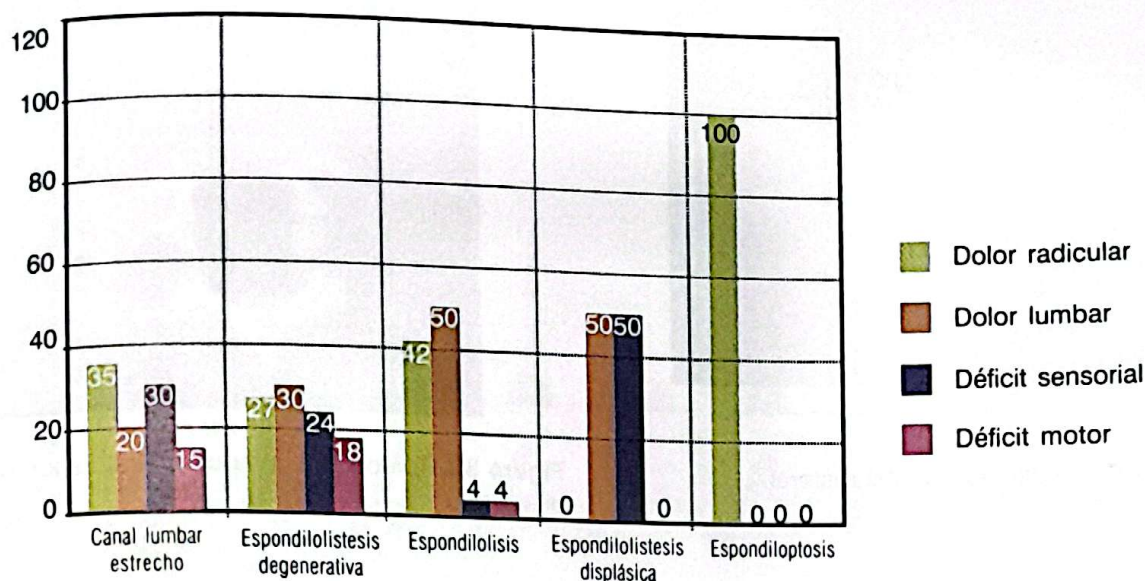


Figura 2. Distribución porcentual de diagnóstico y su presentación clínica.

déficit neurológico sensorial) las de mayor frecuencia fueron dolor radicular lumbar con 33,8% cada una, acorde con otros trabajos publicados,^{11,13-18} esto deja entrever que los pacientes se están tratando oportunamente antes de que se instaure un déficit neurológico objetivo. Como era de esperarse, los pacientes que requirieron procedimientos descompresivos asociados a la fijación, fueron aquellos que tenían signos o síntomas neurológicos, específicamente dolor radicular (26,2%) y déficit neurológico (30%).

En cuanto a la fijación y artrodesis, en la mayoría de los pacientes se involucraron segmentos cortos de dos o tres vértebras (60 y 28,8%) siendo este uno de los principales objetivos de la fijación transpedicular, que preserva un mayor número de segmentos móviles¹⁹⁻²¹. La espondilolistesis degenerativa involucró y ameritó fijación-artrodesis principalmente del segmento L4-L5, en contraste con la espondilolisis que comprometió preferencialmente el segmento L5-S1, hallazgos consecuentes con lo reportado en la literatura.

Los pacientes con espondilolisis sin déficit neurológico sometidos a estabilización sin descompresión presentaron un resultado satisfactorio con remisión de los síntomas de dolor lumbar y radicular y ninguno de ellos ha requerido en el seguimiento cirugía de revisión.

Sobre los casos de espondilolistesis de alto grado (7 en nuestra serie), que requirieron de la técnica de Bohlman,⁷ es importante resaltar que esta permite la artrodesis intercorporal

e intertransversa L5-S1 por un solo abordaje quirúrgico vía posterior y aunque en los casos reportados por Bohlman, no se adicionaba fijación transpedicular, en nuestra casuística siempre se realizó con el objeto de proporcionar mayor estabilidad biomecánica. De otra parte, con un adecuado planeamiento y técnica operatoria es factible fijar y artrodesar únicamente las dos vértebras involucradas en la espondilolistesis (L5-S1), preservando el nivel L4-L5, que con frecuencia era fijado con las técnicas clásicas.

La incidencia de infección profunda (7,5%), aunque dentro de los reportes de la literatura,²² probablemente se explique por el elevado número de procedimientos descompresivos asociados a la fijación y artrodesis, que por convenio en nuestra institución se efectúan entre los servicios de Ortopedia y Neurocirugía, con la consecuente participación de un mayor número de cirujanos y por ende mayor tiempo quirúrgico. De todos los pacientes sólo uno falleció en el postoperatorio inmediato debido a una infección de senos paranasales (estreptococo beta-hemolítico del grupo A) que vía hematogena causó un absceso en el área quirúrgica de la columna, ocasionándole finalmente septicemia, choque séptico y muerte.

La incidencia de fallas óseas (2,5%) y de material (2,5%) en nuestra serie, se encuentra por debajo de algunos reportes de otras series, como la de Matsuzaki²³ que reportó 6% de ruptura de material. La ausencia de pseudoartrosis



Figura 3A. Espondilolistesis. Vista lateral.

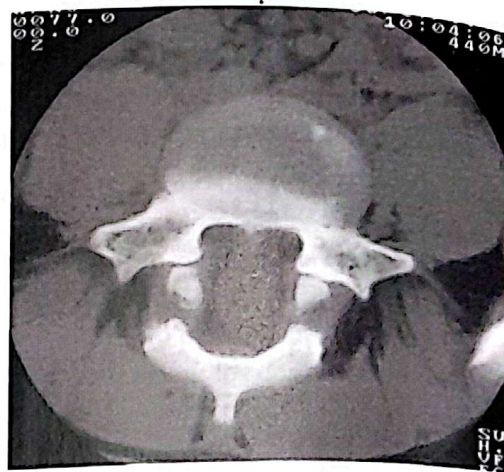


Figura 3B. Tomografía computarizada. Espondilolisis L5 bilateral.

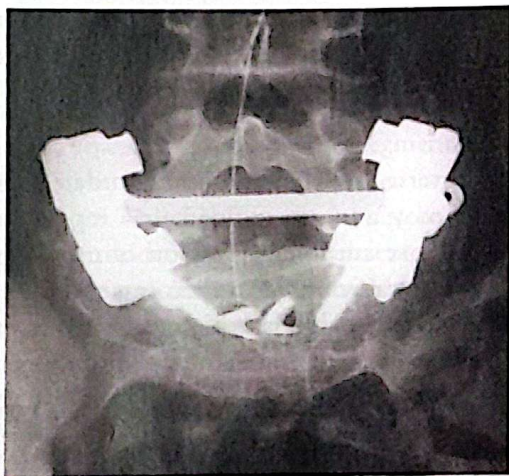


Figura 3C. Imagen postoperatoria que muestra fijación transpedicular L5-S1.



Figura 3D. Vista lateral donde se destacan la fijación y artrodesis selectiva L5-S1.

nos estimula a continuar efectuando minuciosas fusiones y artrodesis con injertos óseos autógenos.

El déficit neurológico es una complicación frecuente en manos inexpertas²⁴ cuya incidencia se ha reportado hasta en un 12 % y, según los informes de la *Scoliosis Research Society*,²⁵ alcanza un 3,2 %. En nuestra casuística fue de 4,9%, sin embargo, todos resolvieron durante el seguimiento a excepción de un paciente que persiste con pie caído.

La fijación transpedicular debe considerarse como una técnica segura^{22,23,26-33} ya que, en nuestra experiencia (376 tornillos colocados), el índice de complicaciones es similar o inferior en algunos casos a las publicaciones de otros autores. De otra parte se puede inferir que la técnica quirúrgica estandarizada (con la participación directa del pri-

mer autor en todos los casos operados) aunada a la fijación transpedicular y a una exhaustiva fusión y artrodesis con injertos óseos autógenos, se reflejó en la ausencia de casos de pseudoartrosis.^{16,29,34,35}

Recomendaciones

- La técnica de fijación transpedicular es un procedimiento seguro para el manejo de espondilolistesis degenerativa, espondilolisis y canal lumbar estrecho.
- En pacientes con espondilolisis sin déficit neurológico objetivo, basta realizar la estabilización (fusión-artrodesis-instrumentación) sin descompresión neurológica.
- Para la espondilolistesis de alto grado (III y IV), sugerimos la técnica de artrodesis circunferencial vía posterior.

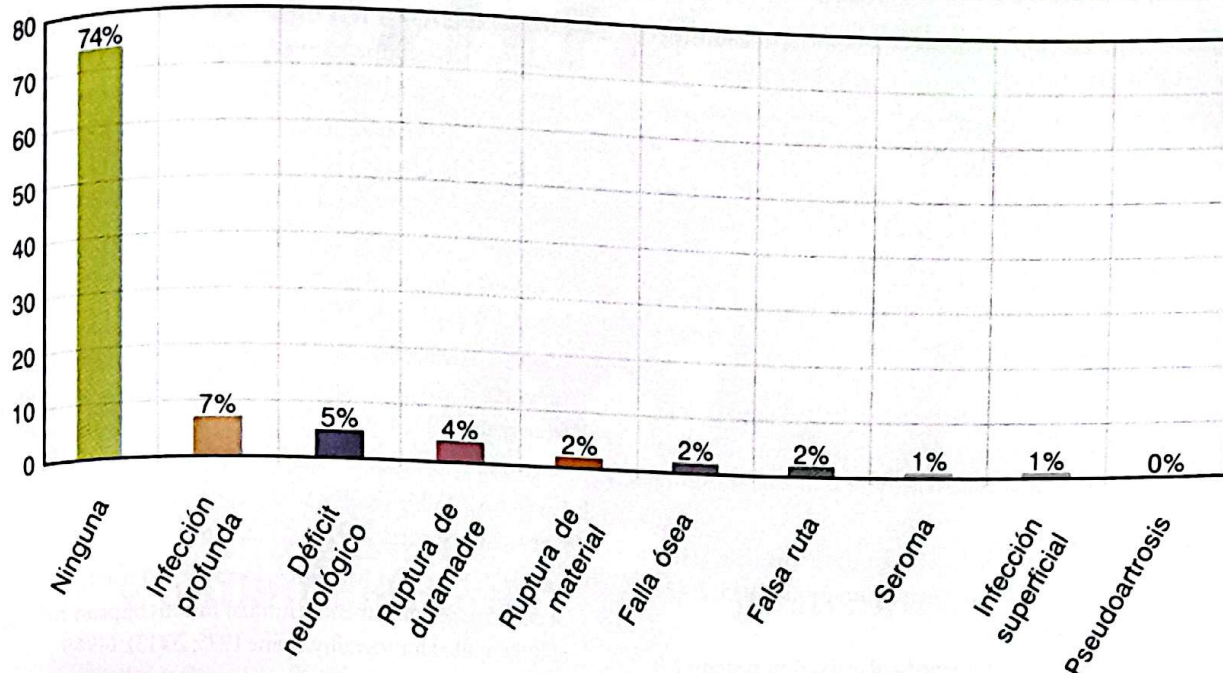


Figura 4. Distribución porcentual de las complicaciones.

- En la fijación transpedicular el promedio de vértebras fijadas es menor que con las técnicas de Harrington y Luque, preservando en mayor grado la movilidad articular.
- La asociación de fijación transpedicular con artrodesis y fusión con injertos autógenos, disminuye la incidencia de pseudoartrosis.

Consideramos que el presente trabajo puede servir como base para profundizar hacia el futuro el tema de investigación.

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al servicio de Ortopedia y Traumatología del Hospital Militar Central por su permanente apoyo y estímulo para realizar este tipo de estudios.

Al servicio de Neurocirugía del Hospital Militar Central, por su cooperación con el manejo de los pacientes con déficit neurológico.

Al grupo de especialistas de otras instituciones por su colaboración con el manejo de los pacientes incluidos en este trabajo.

Referencias

1. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C: Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop 1986; 203: 7-17.
2. Steffee AD, Biscup RS, Sitkowski DJ: Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine. Clin Orthop 1986; 203: 45-53.
3. Denis F: The three-column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spine injuries. Spine 1985; 8:817
4. Matta JE, Rodríguez JM, Ochoa G, Alvarado C: Diseño y evaluación clínica de las técnicas de fijación interna modificadas del esqueleto axil. Instrumentación analítica. Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología 1995; 9(1): 37-47.
5. Matta JE, Ferguson A, Salamanca JH: Diseño y modificación de técnicas de fijación interna del esqueleto axil. Instrumentación analítica. Investigación básica. Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología 1995; 9(1): 27-35.
6. Magerl F, Seeman P: Stable posterior fixation of the lower thoracic and lumbar spine. Currents concepts of external fixation of fractures. Berlin, Springer-Verlag, 1982.
7. Bohlman HH, Cook SS: One stage decompression and posterolateral and interbody fusion for lumbosacral spondylolisthesis through a posterior approach: report of two cases. J Bone Joint Surg. 1982; 64-A: 415.
8. Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, Whitecloud TS 3er, Cook SD: Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation. Spine 1994; 19(21):2415-20.
9. Roberson GH, Taveras JM: The narrow lumbar spinal canal syndrome. Radiology 1973; 107:89-97.
10. Floman Y: Progression of lumbosacral isthmic spondylolisthesis in adults. Spine 2000; 25(3): 342-7.
11. Herkowitz HN, Kanwaldeep SS: Lumbar spine fusion in the treatment of degenerative conditions: Current indications and recommendations. J Am Acad Orthop Surg 1995; 3: 123-135.

12. Vaccaro AR, Garfin SR: Pedicle screw fixation in the lumbar spine. *J Am Acad Orthop Surg* 1995; 3(5): 263-274.
13. Esses SI, Huler RJ : Indications for lumbar spine fusion in the adult. *Clin Orthop* 1992; 279: 87-100.
14. Gaines RW Jr.: The use of pedicle - screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82-A(10):1458-76.Review
15. Herkowitz HN:Lumbar spinal stenosis: Indications for arthrodesis and spinal instrumentation. *Instr Course Lect* 1994; 43: 425-433.
16. Masferrer R, Gómez CH, Karahalios DG, Sonntag VK: Efficacy of pedicle screw fixation in the treatment of spinal instability and failed back surgery: a 5-year review. *J Neurosurg* 1988; 89(3): 371-7.
17. Vaccaro AR, Garfin SR: Internal fixation (pedicle screw fixation) for fusions of the lumbar spine. *Spine* 1995; 20(24 Suppl): 157S-165S.Review.
18. Zindrick MR: The role of transpedicular fixation systems for stabilization of the lumbar spine. Review. *Orthop Clin North Am* 1991; 22(2): 333-44.
19. Gurr KR, McAfee PC, Shih CM: Biomechanical analysis of posterior instrumentation systems after decompressive laminectomy. *J Bone Joint Surg* 1988; 70A: 680-691.
20. Krag MH: Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation: A review. *Spine* 1991; 16 (3 Suppl): S84-S99.
21. Yamagata M, Kitahara H, Minami S, Takahashi K, Isobe K, Moriya H, Tamaki T: Mechanical stability of the pedicle screw fixation systems for the lumbar spine. *Spine* 1992; 17 (3 Suppl): S51-4.
22. Whitecloud TS III, Butler JC, Cohen JL: Complications with the variable spinal plating system. *Spine* 1989; 14: 172-176
23. Matsuzaki LL, Tokuhashi Y, Matsumoto F : Problems and solutions of pedicle screw plate fixation of lumbar spine. *Spine* 1990; 15: 1159-1165.
24. Ebraheim NA, Xu R, Darwich M, Yeasting RA: Anatomic relations between the lumbar pedicle and the adjacent neural structures. *Spine* 1997; 22:20:2338-41.
25. Crawford MJ, Esses SI: Indications for pedicle fixation. Results of NASS/SRS faculty questionnaire. North American Spine Society and Scoliosis Research Society. *Spine* 1994; 19: 2584-2589.
26. Castro WH, Halm H, Jerosch J, Malms J, Steinbeck J, Blasius S: Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae. *Spine* 1996; 21(11):1320-4.
27. Cagli S, Crawford NR, Soontag VK, Dickman CA: Biomechanics of grade I degenerative lumbar spondylolisthesis. Part 2: treatment with threaded interbody cages/dowels and pedicle screws. *J Neurosurg* 2001; 94(1 Suppl): 51-60.
28. Faraj AA, Webb JK: Early complications of spinal pedicle screw. *Eur Spine J* 1997; 6(5): 324-6.
29. Farber GL, Place HM, Mazur RA, Jones DE, Damiano TR : Accuracy of pedicle screw placement in lumbar fusions by plain radiographs and computed tomography. *Spine* 1995; 20(13): 1494-9.
30. Kabins MB, Weinstein JN, Spratt KF: Isolated L4L5 fusions using the variable screw placement system: Unilateral VS. bilateral. *J Spinal Disord* 1992; 5: 39-49.
31. Macdessi SJ, Leong AK, Bentivoglio JE: Pedicle fracture after instrumented posterolateral lumbar fusion: a case report. *Spine* 2001; 26(5): 580-2.
32. Michelle AA, Krueger FJ: Surgical approach to the vertebral body. *J Bone Joint surg.* 1949;31: 873-97.
33. West JL III, Ogilvie JW, Bradford DS: Complications of the variable screw plate pedicle screw fixation. *Spine* 1991; 16: 576-579.
34. Jones DP, Robertson PA, Lunt B, Jackson SA: Radiation exposure during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion in the lumbar spine. *Spine* 2000; 25(12): 1538-41.
35. Muller A, Gall C, Marz U, Reulen HJ : A key hole approach for endoscopically assisted pedicle screw fixation in lumbar spine instability. *Neurosurgery* 2000; 47(1):85-95; discussion 95-6.