

Valoración por tomografía axial computadorizada de la posición de tornillos pediculares en raquis lumbosacro

Evaluation by computed axial tomography of pedicular screw position in the lumbosacral spine

BEGUIRISTAIN GÚRPIDE, J. L.*; BERJANO COQUILLAT, P.**; ALFONSO OLMOS, M.*; ZUBIETA ZÁRRAGA, J.L.***, y VILLAS TOMÉ, C.*

*Departamentos de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Clínica Universitaria de Navarra. (Pamplona).

**Hospital Monográfico ASEPEYO. Coslada. (Madrid).

***Unidad de Neurorradiología. Servicio de Radiodiagnóstico. Clínica Universitaria de Navarra. (Pamplona).

RESUMEN: Estudios previos sugieren una alta incidencia de errores en la introducción de los tornillos pediculares. La frecuencia de tales errores detectada por TAC ha resultado ser mayor que la detectada por las radiografías simples. El objetivo de este estudio es evaluar la precisión de la radiografía simple *versus* la TAC para el diagnóstico de errores en la colocación de tornillos, su fiabilidad intraobservador e interobservadores y para proveer datos cuantitativos y cualitativos de la incidencia de malposiciones y complicaciones relacionadas.

Métodos: En 38 pacientes se realizó una instrumentación en columna lumbosacra con tornillos pediculares de titanio insertados en dirección recta sagital (232 tornillos). En todos los pacientes se realizaron radiografías en proyección anteroposterior y lateral, y TAC en el plano en el cual los tornillos fueron introducidos. Un observador evaluó las TAC. Tres observadores evaluaron independientemente las radiografías, considerando que los tornillos estaban mal colocados cuando habían penetrado cualquier cortical vertebral o pedicular.

Resultados: La concordancia interobservador e intraobservador fue regular a moderada para la valoración radiográfica de la situación del tornillo pedicular. La TAC *versus* radiografía mostró una concordancia regular a moderada.

La TAC demostró 28% de tornillos que penetraban alguna cortical, 2,6% de los tornillos perforaron la cortical medial pero ninguno entró completamente en el canal. En un paciente se presentó lesión radicular incompleta (2,6% de pacientes; 0,3% de tornillos).

Conclusiones: La radiología simple en dos proyecciones no es un método preciso para la valoración de la posición de los tornillos pediculares. En nuestras series se ha observado una alta incidencia de penetraciones corticales, más frecuentes en la corteza lateral y anterior, sin embargo, la incidencia de complicaciones neurológicas fue baja.

PALABRAS CLAVE: Artrodesis vertebral. Tornillos pediculares. Tomografía axial computadorizada.

ABSTRACT: Previous studies suggest that errors often occur in the introduction of pedicular screws. These errors are detected more frequently by CT scan than by plain radiography. The purpose of this study was to evaluate the precision of plain radiography *versus* CT scan for the diagnosis of screw placement errors, intraobserver and interobserver reliability, and to obtain quantitative and qualitative data on the frequency of malpositioning and related complications.

Methods: In 38 patients, lumbosacral spinal instrumentation was carried out using pedicular titanium screws inserted in straight anteroposterior direction (232 screws). In all the patients, anteroposterior and lateral radiographs and CT scan were made of the section of screw insertion. An observer evaluated the CT scan. Three observers independently evaluated the radiographs, concluding that the screws were poorly introduced when there was vertebral or pedicular cortical penetration.

Results: Interobserver and intraobserver agreement was regular to moderate for radiographic evaluation of the location of the pedicular screw. CT scan *versus* radiography showed regular to moderate agreement.

CT scan revealed that 28% of screws had penetrated the cortex, 2.6% had perforated the medial cortex, but none had completely entered the spinal canal. One patient had a partial root lesion (2.6% of patients, 0.3% of screws).

Correspondencia:

Dr. JOSÉ LUIS BEGUIRISTAIN.
Clínica Universitaria de Navarra.
Apartado 4209.
31080 Pamplona. España.

Recibido: Junio de 2000.

Aceptado: Noviembre de 2000.

Conclusions: Plain radiography in two projections is an imprecise method for evaluating the position of pedicular screws. In our series, cortical penetration is frequent, particularly in the lateral and anterior cortex, but the incidence of neurological complications is low.

KEY WORDS: Vertebral arthrodesis. Pedicular screws. CT scan.

Introducción

Desde su introducción por King en 1944¹⁵ a través de las articulaciones facetarias, y especialmente después de su difusión por Roy-Camille y cols.²³ y Louis,¹⁸ se ha incrementado el uso e indicaciones de instrumentaciones con tornillos pediculares vertebrales.

Actualmente,^{7,9} existe suficiente consenso en el uso de tornillos pediculares para la artrodesis de la columna lumbar en las siguientes indicaciones: inestabilidad degenerativa cuando más de dos vértebras deben ser fijadas, pseudoartrosis, espondilolistesis, fracturas inestables toracolumbares y escoliosis lumbar en el adulto. Su uso en la fijación de un nivel para patología degenerativa lumbar y escoliosis idiopática juvenil-adolescente todavía se mantiene en controversia.

La instrumentación con tornillos pediculares puede ser una fuente potencial de complicaciones. De especial importancia son las complicaciones neurológicas por intrusión en el canal neural. Davne y Myers,⁸ estudiaron 533 pacientes con radiografías simples (PLIF con tornillos y placas VSP, usando el acceso oblicuo al pedículo) y observaron lesiones radiculares en 1,2% de los pacientes. Consideraron que la mitad de estas lesiones (0,6%) se debían a los tornillos pediculares, aunque sólo el 0,2% presentaban déficit permanente.

Esses y cols.¹⁰ en un cuestionario distribuido a miembros seleccionados de la American Back Society, sobre 617 pacientes con varios tipos de instrumentación, describieron un 5,2% de pacientes con tornillos mal colocados mediante una valoración radiológica, 2,4% con neuroapraxia y 2,3% con déficit neurológico permanente. No se definió ningún criterio sobre el diagnóstico de la mala colocación del tornillo, y los pacientes fueron evaluados basados en la historia clínica y radiografías simples.

Ohlin y cols.²² en una serie de 163 intervenciones por fracturas, espondilolistesis y metástasis, recogieron 17 pacientes (10,4%) con tornillos mal colocados y tres (1,84%) con lesiones radiculares. La posición de los tornillos fue estudiada mediante radiografías simples.

La mayoría de los estudios valoran la posición de los tornillos mediante radiografías simples, aunque algunos otros sugieren que esta técnica no es precisa para la valoración correcta de la posición del tornillo. Weinstein y cols.²⁶ apreciaron en muestras de cadáver 21% de tornillos ubicados incorrectamente (penetración de cualquier cortical de la vértebra), aunque todos los tornillos fueron insertados bajo control fluoroscópico. El 92% de tornillos mal colocados alcanzaron el canal neural. Lo más importante fue que 69,2% (observador A) y 61,5% (observador B) de tornillos mal colocados no fueron detectados en radiografías simples postoperatorias.

Gertzbein y Robbins¹² evaluaron mediante TAC la posición de 167 tornillos para el tratamiento de fracturas de la columna toracolumbar. Los tornillos habían sido insertados bajo control fluoroscópico, con un acceso oblicuo al pedículo y 10-15° de convergencia. Ellos encontraron que el 28,1% de los tornillos perforaban la cortical pedicular en algún lugar, 3,6% en la cortical lateral y 24,5% en la cortical medial. El 6% de los tornillos entraban en el canal de 4 a 8 milímetros.

Actualmente, la indicación más frecuente para la artrodesis lumbosacra con tornillos son las enfermedades degenerativas. Varios estudios han valorado la exactitud de la TAC para la localización de los tornillos pediculares en la columna lumbosacra.^{4,14,24,25,28}

El objetivo de este trabajo es valorar la precisión de las radiografías simples frente a la TAC para el diagnóstico de errores en la ubicación de los tornillos pediculares, su precisión intraobservador e interobservador y proporcionar datos cuantitativos y cualitativos de incidencia de errores y sus complicaciones.

Material y método

Se utilizó una muestra de 38 pacientes intervenidos en un Centro con dedicación especializada en la columna y 14 años de experiencia en la instrumentación pedicular,^{2,3,6} a los que se colocaron 232 tornillos pediculares en total. Los diagnósticos preoperatorios fueron: inestabilidad degenerativa en 12 pacientes, espondilolistesis en 16, de tumores en dos y estenosis del canal en ocho.

La edad fue de 42 años (mínimo y máximo entre 11 y 69 años). Cuatro tornillos fueron colocados en los pedículos de L1, cuatro en L2, 24 en L3, 60 en L4, 73 en L5 y 67 en S1.

En todos los pacientes se empleó la instrumentación CUN desarrollada en la Clínica Universitaria de Navarra (METISA, Pamplona, España) y utilizada en más de 150 pacientes previos.³ Los tornillos tienen

5,5 mm de diámetro de rosca, son autoperforantes y se unen por tallos anillados de 6 mm y conectores tubulares. Toda la instrumentación está hecha de titanio (Ti6Al4V; ImI Titanium Ltd., Birmingham, England).

Técnica quirúrgica

Los pacientes son colocados en decúbito prono. Mediante un abordaje en la línea media, se exponen los arcos posteriores de las vértebras para ser instrumentadas desde la base de las apófisis transversas. La parte posterior de la faceta articular superior de cada vértebra instrumentada se reseca para permitir el acceso sagital al pedículo. Las referencias anatómicas para el acceso al pedículo^{18,23} son identificadas y confirmadas bajo control fluoroscópico (con la apófisis espinosa centrada en el plano AP y el haz perpendicular al platillo epifisario superior de la vértebra instrumentada). Se perfora el punto de entrada. Si éste no parece satisfactorio, se repite bajo control fluoroscópico. En todos los casos se evita un punto de entrada medial y caudal, puesto que el riesgo de daño neurológico es mayor en caso de perforación cortical por el tornillo. Después de obtener una visión lateral, se retira la aguja de Kirschner y se inserta el tornillo en dirección sagital. Siempre se evita una excesiva convergencia. Si la posición del tornillo parece lateral o divergente y muestra una buena fijación se mantiene en la misma.

Postoperatoriamente, se realizaron cortes axiales de TAC los cuales pasaban por el plano de cada tornillo (Fig. 1) y radiografías AP y lateral de la columna lumbosacra. La posición del tornillo fue evaluada separadamente en el TAC y en las radiografías y clasificado como bueno, medial, lateral, craneal, caudal o largo. La posición del tornillo no fue clasificada

como buena cuando cualquier cortical pedicular estaba penetrada.

Tres observadores diferentes evaluaron separadamente cada radiografía para un análisis interobservadores. Un observador repitió la evaluación radiográfica para un análisis intraobservador.

Para un análisis de concordancia se consideraron tres variables dicotómicas: valoración de la posición del tornillo en el plano frontal, valoración de la longitud del tornillo y la combinación de la longitud más la posición del tornillo en el plano frontal.

La concordancia interobservador, intraobservador y TAC-radiografía simple fue medida mediante el test estadístico Kappa. El porcentaje de concordancia (porcentaje de coincidencia entre valoraciones de dos examinadores) fue también calculada para cada categoría estudiada. El grado de concordancia fue establecido según los criterios de Landis y Koch¹⁷ (tabla 1).

Resultados

Posición de los tornillos (TAC) y complicaciones relacionadas

De los 231 tornillos pediculares estudiados con TAC (232 en Rx pero 1 tornillo no entró en los cortes de TAC) 61 (26,4%) tenían algún error de posición, 23 (9,9%) de ellos tenían una excesiva longitud y 40 (17,3%) perforaban alguna cortical en el plano frontal. La mayoría de estas perforaciones en el plano frontal eran debidas a una posición lateral; seis tornillos (2,6%) estaban demasiado mediales y de éstos, cinco entraban en el canal menos de 5 mm y uno por 5,5 mm aunque ninguno de ellos causó una lesión radicular. Un tornillo fue colocado demasiado caudal, invadiendo el foramen por 2,5 mm pero sin causar tampoco lesión en la raíz.

Treinta y tres (14,2%) tornillos fueron colocados demasiado lateralmente (perforando la corteza lateral del pedículo o cuerpo vertebral) y de éstos, siete (3%) penetraron la corteza lateral más de 5 mm. No



Figura 1. TAC mostrando los cortes escogidos sobre los tornillos pediculares.

Tabla 1. Criterios de Landis y Koch para la interpretación de valores estadísticos Kappa

Estadístico Kappa	Grado de concordancia
< 0,00	Pobre
0,00-0,20	Ligera
0,21-0,40	Regular
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Buena
0,80-1,00	Casi perfecta

Tabla 2. Valoración de la posición del tornillo en TAC y Rx (3 examinadores)

	TAC		Examinador 1		Examinador 2		Examinador 3	
	n = 231	%	n = 232	%	n = 232	%	n = 232	%
Bien	170	72,7	143	61,6	148	63,2	160	69,0
Largo	23	10,0	41	17,7	37	15,9	40	17,2
Craneal	0	0,0	1	0,4	0	0,0	1	0,4
Lateral	33	14,2	57	24,6	49	21,1	29	12,5
Caudal	1	0,4	4	1,7	4	1,7	5	2,2
Medial	6	2,6	7	3,0	3	1,3	4	1,7

Bien: el tornillo no perfora ninguna cortical.

Largo: el tornillo perfora o atraviesa la cortical anterior del cuerpo vertebral.

Craneal: el tornillo perfora la cortical craneal o superior del pedículo.

Lateral: el tornillo perfora la cortical lateral del pedículo o del cuerpo vertebral.

Caudal: el tornillo perfora la cortical caudal o inferior del pedículo.

Medial: el tornillo perfora la cortical medial del pedículo.

Nota: un tornillo puede ser p.e. simultáneamente demasiado largo y lateral, así la suma total en las tablas puede ser mayor a los números de casos.

se apreciaron lesiones de raíz relacionados con esta posición lateral. Un paciente incluido en la serie (2,6% de los pacientes; 0,3% de los tornillos) sufrió una lesión radicular incompleta. La causa fue un intento de colocar un tornillo en una posición demasiado lateral y fuera del pedículo. El tornillo fue retirado durante la misma operación y ese pedículo se quedó sin instrumentación. A los 3 meses, el paciente estaba limitado por una lesión en L4 que había recuperado parcialmente a fuerza 3/5, aunque al año la recuperación fue completa.

Una longitud excesiva se observó en 23 (9,9%) tornillos pediculares, con penetración de la cortical anterior de la vértebra. De éstos, seis (2,6%) penetraron más de 5 mm. Aunque no se apreció daño visceral, nervioso o vascular, en algunos de estos pacientes, se vieron los tornillos en proximidad a los vasos pélvicos. La media de tornillos que penetraban la cortical anterior fue de 7,1% para aquellos con una longitud de 35 mm, 3% para los de 40 mm, 16,7% para los de 45 mm, 14% para los de 50 mm y 100% para los de 55mm.

Concordancia TAC-radiografía para la valoración de la posición del tornillo

Los resultados de la posición radiográfica de los tornillos valorados por tres examinadores independientemente (1, 2 y 3) están resumidas en la tabla 2.

Los valores Kappa estaban entre 0,23 a 0,44 de concordancia entre la valoración de tornillos por radiografía y por TAC (tabla 3), con porcentajes de concordancia del 69% al 79%. Siguiendo los criterios de Landis y Koch, el grado de concordancia es regular a moderada.

Concordancia radiográfica interobservadores

La valoración radiográfica de la posición del tornillo mostró unos valores Kappa de concordancia interobservadores de 0,34 a 0,58, con porcentajes de concordancia de 70 a 87% (tabla 4). Siguiendo los criterios de Landis y Koch, el grado de concordancia es regular a moderada.

Tabla 3. Validez de la valoración de la posición de los tornillos pediculares en Rx

	TAC vs examinador 1		TAC vs examinador 2		TAC vs examinador 3	
	Kappa	Concordancia %	Kappa	Concordancia %	Kappa	Concordancia %
Bien en plano frontal	0,41	78,78	0,44	81,81	0,23	69,0
Largo	0,29	83,11	0,39	86,14	0,43	86,58
Mal colocado	0,42	74,45	0,44	75,75	0,23	68,83

Bien en plano frontal: No perforación de cortical pedicular medial, lateral, superior o inferior ni cortical lateral del cuerpo vertebral.

Largo: El tornillo perfora la cortical anterior del cuerpo vertebral.

Mal colocado: El tornillo perfora cualquier cortical vertebral.

Tabla 4. Validez interobservadores de la valoración de la localización de los tornillos pediculares en Rx

	Examinador 1 vs 2		Examinador 2 vs 3		Examinador 3 vs 1	
	Kappa	Concordancia %	Kappa	Concordancia %	Kappa	Concordancia %
Bien en plano frontal	0,55	82,32	0,41	78,44	0,35	72,87
Largo	0,44	84,48	0,35	81,46	0,51	86,63
Mal colocado	0,58	80,60	0,34	70,25	0,36	71,55

Bien en plano frontal: No perforación de cortical pedicular medial, lateral, superior o inferior ni cortical lateral del cuerpo vertebral.

Largo: El tornillo perfora la cortical anterior del cuerpo vertebral.

Mal colocado: El tornillo perfora cualquier cortical vertebral.

Concordancia radiográfica intraobservador

La concordancia intraobservador para la evaluación radiográfica mostró un valor Kappa de 0,37 y el porcentaje de concordancia fue 81% (tabla 5). Siguiendo los criterios de Landis y Koch, el grado de concordancia es regular.

Otras medidas

La sensibilidad o la capacidad de las radiografías AP como test para el diagnóstico de ruptura de la cortical de los tornillos en el plano frontal fue de un 74,3% (examinador 1), 66,6% (examinador 2), y 35,8% (examinador 3) en estas series (tabla 6). Esto significa que el 25,7%, 43,4% y 64,2% de los tornillos colocados incorrectamente (en el plano frontal) no fueron detectados por los observadores 1,2 y 3, respectivamente. (Figs. 2A y 2B).

Discusión

El presente estudio muestra una alta incidencia (28%) de rupturas de la cortical de tornillos pediculares bajo control fluoroscópico en intervenciones realizadas por cirujanos especialistas en columna. Aunque otros autores hayan sugerido este tema, la mayoría de los trabajos valoraban los errores con radiografías simples. Weinstein y cols.²⁶ en su estudio de laboratorio demostraron poca fiabilidad en la va-

loración, por radiología de los tornillos en los pedículos. En su trabajo, un 65% de tornillos mal colocados fueron considerados como buenos en radiografías simples. Ello sugería que las radiografías podía no ser suficiente para establecer con exactitud la posición del tornillo pedicular, en los modelos *in vitro*.

Las radiografías simples tienen valor escaso como método diagnóstico de la posición incorrecta de los tornillos pediculares. Aunque la especificidad y el valor predictivo negativo son valores aceptables, éstos son menos relevantes para la valoración del tornillo. El cirujano necesita una herramienta que le diagnostique con exactitud la posición incorrecta de los tornillos, puesto que pueden ocurrir complicaciones. Esta capacidad del test se predice por una alta sensibilidad (probabilidad de diagnosticar la enfermedad —ej. la mala colocación del tornillo— cuando ésta está presente). La sensibilidad de la radiología valorada en nuestro estudio fue solamente de un 35,8%. (Figs. 3A y 3B).

Como la radiología es una guía importante para la colocación intraoperatoria de los tornillos pediculares, se debe hacer un esfuerzo para mejorar su precisión. Pensamos que realizando diferentes proyecciones intraoperatorias para cada nivel del pedículo (una inclinación apropiada a cada nivel instrumentado y/o proyecciones oblicuas) se podría incrementar la fiabilidad en la técnica de inserción.

Los resultados de los estudios que emplean la TAC como método de evaluación deben ser examinados mediante una valoración crítica por parte del lec-

Tabla 5. Validez intraobservador de la valoración de la localización de los tornillos pediculares en Rx

	Examinador 1 vs bis	
	Kappa	Concordancia %
Bien en plano frontal	0,37	81,40

Bien en plano frontal: No perforación de cortical pedicular medial, lateral, superior o inferior ni cortical lateral del cuerpo vertebral.

Tabla 6. Sensibilidad de las Rx AP para valoración de localización extrapedicular de los tornillos (la posición en TAC es considerada como la cierta)

	Sensibilidad (%)
Examinador 1	74,3
Examinador 2	66,6
Examinador 3	35,8

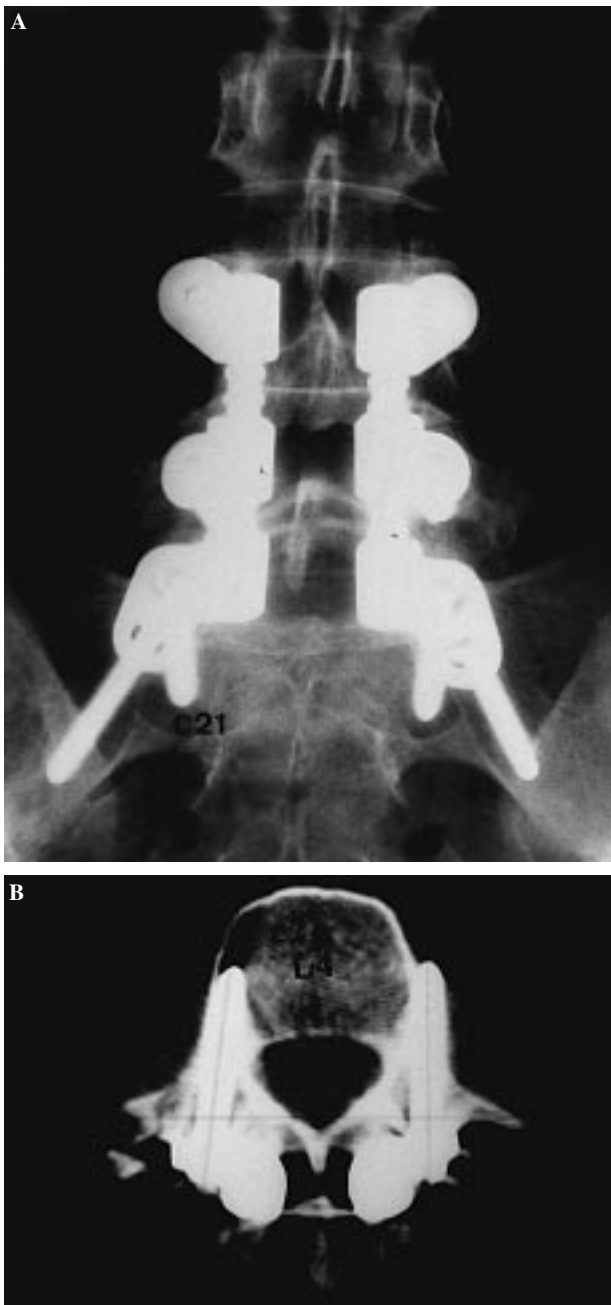


Figura 2. A: Rx mostrando localización correcta en ambos pedículos L4. B: El mismo caso con TAC mostrando localización incorrecta (lateral) en el pedículo L4 izdo.

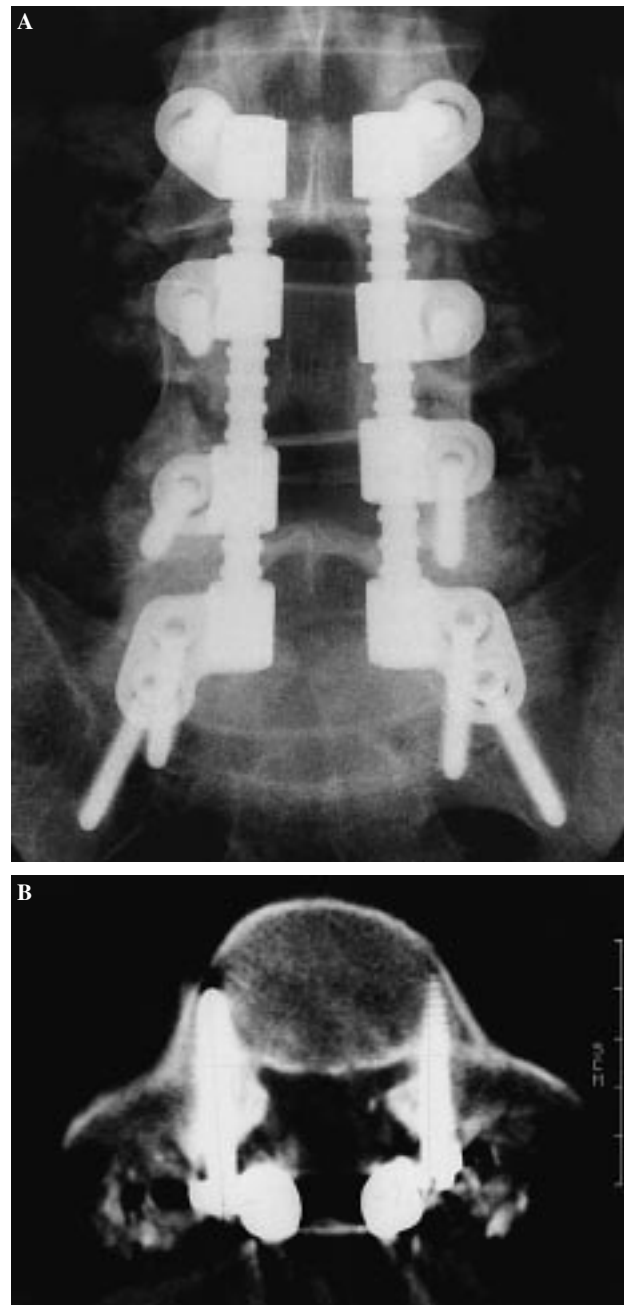


Figura 3. A: Rx mostrando localización incorrecta en pedículo L5 derecho (lateral). B: El mismo caso con TAC mostrando localización correcta en ambos pedículos L5.

tor para que nuestros resultados sean comparables. Existen estudios en los que se omiten o no valoran la ruptura de la cortical anterior vertebral;^{16,25} hay otros en los que se excluyen aquellos tornillos en que se duda que penetren la cortical por el artefacto provocado por el tornillo en la evaluación mediante TAC incluyéndolos en el apartado de «dudosos»^{11,25} o los incluyen en los tornillos que penetran la cortical entre 0 y 2 mm.⁴

Valorando los resultados de la literatura de cualquier ruptura de cortical vertebral o pedicular, incluyendo las rupturas anteriores y los tornillos denominados «dudosos», la incidencia de errores varía entre el 20% publicado por Haaker y cols.¹⁴ y el 86% publicado por Farber y cols.¹¹

Los resultados de la ruptura de la cortical pedicular medial, la que se considera más peligrosa, varía entre el 4,2⁴ y el 32,4% de los tornillos pediculares

introducidos.²⁴ Los resultados de la ruptura de la cortical pedicular lateral varía entre el 3,6¹² y el 24,3%.¹¹ Los resultados de la ruptura de la cortical vertebral anterior o tornillo excesivamente largo, varía entre el 11¹⁴ y el 54,6%.⁴

En nuestra serie, sin embargo, la ruptura lateral (14%) y una excesiva longitud del tornillo o ruptura de la cortical vertebral anterior (10%) fueron más altas que la ruptura de la cortical pedicular medial (3%). Nosotros consideramos estas diferencias relacionadas con el acceso al pedículo (sagital directo) y a la técnica quirúrgica, puesto que la convergencia excesiva del tornillo es siempre evitada. Por el contrario, cuando el tornillo está orientado lateralmente con un buen anclaje, éste se deja en el sitio. Aunque una posición lateral del tornillo puede atrapar a la raíz en la zona extraforaminal lateral, en nuestra serie esta complicación ha sido rara (2,6% de pacientes; 0,3% de tornillos insertados), en contraste con un elevado número de tornillos colocados lateralmente (14% de los tornillos pediculares).

A pesar de la incidencia observada de rupturas de cortical por los tornillos, los autores consideran que las técnicas comunes de inserción no pueden ser consideradas inseguras, como muestra la baja incidencia de complicaciones neurológicas. Otros avances en investigación^{1,11,19-21,27} se pueden considerar para uso rutinario si demostraran que reducen el riesgo de la introducción de los tornillos pediculares; respecto a la cirugía asistida por ordenador, los resultados varí-

an entre un 2% de rupturas de la cortical¹³ y el 63%,⁴ manteniéndose la mayoría de las publicaciones entre un 5 y un 10%.²⁵ Las rupturas de la cortical medial con este método se cifran entre un 0¹³ y alrededor del 3%,²⁵ disminuyendo teóricamente con este método la posibilidad de lesión radicular. Con estos resultados podríamos deducir que se trata de un método seguro, pero no infalible, aunque por contra el coste de la cirugía se eleva por el equipo requerido. De cualquier modo, ninguna de estas ayudas técnicas puede sustituir una evaluación cuidadosa del paciente y una precisa técnica quirúrgica.

El análisis de las imágenes por TAC a nivel de los pedículos (cortes a este nivel no se incluyen normalmente en TAC preoperatorios de rutina) mostró importantes diferencias de un paciente a otro, con respecto a la orientación del pedículo y el diámetro. También diferencias anatómicas en la orientación de las facetas podrían justificar variaciones en la relación entre el límite anatómico posterior y el punto de entrada ideal al pedículo.

Conclusiones

Las proyecciones radiológicas convencionales (AP y lateral) no son un método exacto para valorar la posición del tornillo pedicular, observándose una alta incidencia de rupturas de las corticales más frecuentes en la cortical anterior y lateral, aunque sin embargo, con escasas complicaciones neurológicas.

Bibliografía

1. Amiot, LP; Labelle, H; DeGuise, JA; Sati, M; Brodeur, P, y Rivard CH: Computer- assisted pedicle screw fixation. A feasibility study. *Spine*, 20: 1208-1212, 1995.
2. Beguiristain, JL; Martínez-Peric, R; Barrios, RH, y Villas, C: Lumbosacral arthrodesis with Louis technique. Review of 186. *Eur Spine J*, 3: 169-171, 1994.
3. Beguiristain, JL; Villas, C; Preite, R; Martínez, R, y Barrios, RH: Lumbosacral arthrodesis using pedicular screws and ringed rods. *Eur Spine J*, 6:233-238, 1997.
4. Berlemann, U; Heini, P; Müller, U; Stoupis, C, y Schwarzenbach, O: Reliability of pedicle screw assessment utilizing plain radiographs versus CT reconstructions. *Eur Spine J*, 6: 406-411, 1997.
5. Çolak, A; Kutlay, M; Demircan, N; Seçer, H; Kibici, KM, y Basekim, Ç: MR imaging for early complications of transpedicular screw fixation. *Eur Spine J*, 8: 151-155, 1999.
6. Cornejo, F; Villas, C, y Beguiristain, JL: Arthrodesis lumbosacra con placa de Louis. Valoración de 85 casos. *Rev Ortop Traumatol*, 31: 475-478, 1987.
7. Crawford, MJ, y Esses, SI: Indications for pedicle fixation: Results of NASS/SRS Faculty questionnaire. *Spine*, 19: 2584-2589, 1994.
8. Davne, SH, y Myers DL: Complications of lumbar spinal fusion with transpedicular instrumentation. *Spine*, 17: 184-189, 1992.
9. Dryer, JW, y Errico, TJ: Pedicle screws. *Current Opinion in Orthopedics*, 6: 55-60, 1995.
10. Esses, SI; Sachs, BL, y Dreyzin, V: Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members. *Spine*, 18: 2231-2239, 1993.
11. Farber, GL; Place, HM; Mazur, RA; Jones, DEC, y Damiano, TR: Accuracy of pedicle screw placement in lumbar fusions by plain radiographs and computed tomography. *Spine*, 20: 1494-1499, 1995.
12. Gertzbein, SD, y Robbins, SE: Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine*, 15: 11-14, 1990.
13. Girardi, FP; Cammisa, FP; Sandhu, HS, y Álvarez, L: The placement of lumbar pedicle screws using computerised stereotactic guidance. *J Bone J Surg*, 81-B: 825-829, 1999.
14. Haaker, RG; Eickhoff, U; Schopphoff, E; Steffen, R; Jergas, M, y Krämer, J: Verification of the position of pedicle screws in lumbar spinal fusion. *Eur Spine J*, 6: 125-128, 1997.
15. King, D: Internal fixation for lumbosacral fusion. *Am J Surg*, 66: 357, 1944.

16. **Laine, T; Mäkitalo, K; Schlenzka, D; Tallroth, K; Poussa, M, y Alho, A:** Accuracy of pedicle screw insertion: a prospective CT study in 30 low back patients. *Eur Spine J*, 6: 402-405, 1997.
17. **Landis, JR, y Koch, GG:** The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33: 159-174, 1977.
18. **Louis, R:** Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates. *Clin Orthop*, 203: 18-33, 1986.
19. **Maguire, J; Wallace, S; Madiga, R; Leppanen, R, y Drapper, V:** Evaluation of intrapedicular screw position using intraoperative evoked electromyography. *Spine*, 20: 1068-1074, 1995.
20. **Myers, BS; Hasty, CC; Floberg, DR; Hoffman, RD; Leone, BJ, y Richardson, WJ:** Measurement of vertebral cortical integrity during pedicle exploration for intrapedicular fixation. *Spine*, 20: 144-148, 1995.
21. **Nolte, LP; Zamorano, LJ; Jiang, Z; Wang, Q; Langlotz, F, y Berlemann, U:** Image-guided insertion of transpedicular screws. A laboratory set-up. *Spine*, 20: 497-500, 1995.
22. **Ohlin, A; Karlson, M; Düppe, H; Hasserijs, R, y Redlund-Johnell, Y:** Complications after transpedicular stabilization of spine. A survivorship analysis of 163 cases. *Spine*, 19: 2774-2779, 1994.
23. **Roy-Camille, R; Saillant, G, y Mazel, C:** Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop*, 203: 7-17, 1986.
24. **Schulze, CJ; Munzinger, E, y Weber, U:** Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement. *Spine*, 23: 2215-2221, 1998.
25. **Schwarzenbach, O; Berlemann, U; Jost, B; Visarius, H; Arm, E; Langlotz, F; Nolte, L, y Ozdoba, C:** Accuracy of Computer-Assisted pedicle screw placement. *Spine*, 22: 452-458, 1997.
26. **Weinstein, JN; Spratt, KF; Sprengler, D; Brick, C, y Reid, S:** Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors of successful screw placement. *Spine*, 13: 1012-1018, 1988.
27. **Wingo, CH:** Electrical stimulation to guide pedicle fixation. *Orthop Trans*, 17: 129, 1993.
28. **Yoo, JU; Ghanayem, A; Petersilge, Ch, y Lewin, J:** Accuracy of using computed tomography to identify pedicle screw placement in cadaveric human lumbar spine. *Spine*, 22: 2668-2671, 1997.