

Instrumentación dorso-lumbar asistida con neuronavegación O-arm y cirugía mínimamente invasiva: resultados clínico-quirúrgicos

Assisted dorso-lumbar instrumentation with O-arm neuronavigation and minimally invasive surgery: clinical-surgical outcome

Georgy M. Daneri-Allis^{1*}, Jesús Violante-Mejía¹, Antonio Villa-Benites², Roberto Anaya-Prado³ y José D. Zepeda-Ochoa^{1,3}

¹Servicio de Neurocirugía; ²Servicio de Anestesiología; ³Dirección de Educación e Investigación. Centro Médico Puerta de Hierro, Zapopan, Jalisco, México

Resumen

Objetivo: Evaluar los resultados clínico-quirúrgicos de la instrumentación dorso-lumbar mediante neuronavegación asistida con O-arm y cirugía mínimamente invasiva. **Método:** En esta cohorte retrospectiva se estudiaron 104 pacientes sometidos a instrumentación dorso-lumbar con uso de O-arm, operados entre septiembre de 2013 y mayo de 2020. Las variables investigadas fueron sintomatología, cantidad de tornillos, niveles abordados, sangrado, tiempo quirúrgico, estancia hospitalaria, complicaciones y mejoría clínica posterior al procedimiento quirúrgico. **Resultados:** La sintomatología más frecuente fue radiculopatía unilateral o bilateral de extremidades pélvicas, parestesias, lumbalgia mecánica y disminución progresiva de la fuerza. Se utilizaron en total 542 tornillos, siendo la columna lumbar el sitio de mayor prevalencia. Los promedios de sangrado, tiempo quirúrgico y estancia hospitalaria fueron de 50 ml, 160 minutos y 24 horas, respectivamente. Las complicaciones más frecuentes fueron neuropatía residual, rasgadura de la duramadre e infección del sitio quirúrgico. La mejoría clínica a las 24 horas, 4 semanas y 6 meses se logró en el 77.3%, el 86.5% y el 94.8% de los pacientes, respectivamente. **Conclusiones:** La neuronavegación con O-arm junto con el abordaje quirúrgico de tipo mini-open permite buenos resultados clínico-quirúrgicos en la corrección de los trastornos complejos de la columna dorso-lumbar.

Palabras clave: Neuronavegación. Cirugía mínimamente invasiva. O-arm. Instrumentación. Dorso-lumbar.

Abstract

Objective: To evaluate the clinical-surgical outcomes after dorso-lumbar instrumentation using O-arm assisted neuronavigation and minimally invasive surgery. **Method:** In this retrospective cohort, 104 patients who underwent dorso-lumbar instrumentation with the use of O-arm from September 2013 to May 2020 were studied. Variables investigated included: symptoms, number of screws, levels approached, bleeding, surgical time, hospital stay, complications and clinical improvement after the surgical procedure. **Results:** The most frequent symptoms were: unilateral or bilateral radiculopathy of the pelvic extremities, paresthesia, mechanical low back pain and progressive decrease in strength. A total of 542 screws were placed, with the lumbar spine being the site with the highest prevalence. The average bleeding, surgical time, and hospital stay was: 50 ml, 160 min-

Correspondencia:

*Georgy M. Daneri-Allis

Boulevard Puerta de Hierro 5150, Int. 201C
C.P. 45110, Zapopan, Jalisco, México

E-mail: georgydaneri@hotmail.com

0009-7411/© 2020 Academia Mexicana de Cirugía. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 18-07-2020

Fecha de aceptación: 24-10-2020

DOI: 10.24875/CIRU.20000784

Cir Cir. 2021;89(5):595-602

Contents available at PubMed

www.cirugiaycirujanos.com

utes, and 24 hours, respectively. The most frequent complications were: Residual neuropathy, dura mater tear and surgical site infection. Clinical improvement at 24 hours, 4 weeks and 6 months was achieved in: 77.3%, 86.5% y 94.8% of the patients, respectively. **Conclusions:** Neuronavigation with the use of O-arm along with mini-open surgery approach results in good clinical-surgical outcomes in the correction of complex disorders of the dorso-lumbar spine.

Key words: Neuronavigation. Minimally invasive surgery. O-arm. Instrumentation. Dorso-lumbar.

Introducción

Las patologías que involucran con más frecuencia enfermedad degenerativa lumbar son principalmente la herniación discal, la estenosis del canal lumbar y la espondilolistesis¹. Desde hace años, la instrumentación vertebral con colocación de tornillos transpediculares ha sido la técnica de elección para lograr la estabilización de algún segmento de la columna¹⁻³. La espondilolistesis, que es el «desalineamiento» anormal de una vértebra sobre otra, ya sea anterior, lateral o posterior, es una de las principales indicaciones por las cuales se decide la colocación de tornillos transpediculares⁴. Existen diferentes tipos de espondilolistesis, entre los cuales los más comunes son de tipo congénito, ístmica (resultado de una fractura vertebral previa que genera desestabilización del segmento óseo), traumática, patológica (secundaria a osteoporosis, infección o tumor), posquirúrgica y degenerativa (desgaste del disco intervertebral que se vuelve menos capaz de resistir la movilidad de los segmentos vertebrales, condicionando el deslizamiento progresivo intervertebral). Este último tipo de espondilolistesis es el más común y el que es sometido a intervención quirúrgica con mayor frecuencia. La espondilolistesis se clasifica según el porcentaje de deslizamiento en comparación con el segmento vertebral adyacente. Se cataloga como de grado I cuando el deslizamiento es menor del 25%, de grado II cuando es del 25-50%, de grado III cuando es del 50-75% y de grado IV cuando es superior al 75%. El área más común de afectación por espondilolistesis es la región de la articulación lumbosacra, seguida por la columna lumbar media, la columna cervical y muy raramente la columna torácica⁴. Los pacientes con antecedentes de espondilolistesis presentan una gran mejoría de los síntomas lumbociáticos si son sometidos a cirugía de descompresión, artrodesis e instrumentación lumbar posterior^{1,4}. Los objetivos de cualquier procedimiento espinal son lograr la descompresión medular, prevenir o corregir alguna deformidad, y la fijación espinal mediante la colocación de tornillos transpediculares con técnicas de imagen transoperatorias convencionales, como

rayos X o fluoroscopía^{2,5}. En los últimos años se han utilizando con una mayor frecuencia en el transoperatorio las plataformas de imagen como la fluoroscopía 3D y la tomografía o la resonancia magnética. Estas han facilitado la colocación de tornillos transpediculares, una localización más exacta del sitio de colocación y una menor dosis de radiación para el cirujano⁵. Con la técnica estándar de colocación de tornillos mediante rayos X o fluoroscopía (imágenes bidimensionales [2D]), la tasa de colocación errónea se ha reportado en rangos que van del 14% al 55%, y un 7% de estos casos resultan con alguna lesión neurológica⁶.

La neuronavegación espinal se introdujo en 1995 con el objetivo de mejorar la precisión en la colocación de los tornillos transpediculares y de esa manera disminuir el porcentaje de lesiones neurovasculares y mejorar el resultado funcional^{2,6}. Los sistemas de imagen que utilizan tecnología tridimensional (3D) ofrecen proyecciones del campo quirúrgico y de la instrumentación en tiempo real y en tres planos. Esto permite identificar la anatomía de la región sometida al procedimiento quirúrgico con relación a los instrumentos quirúrgicos, dando mayor exactitud a la manipulación del instrumento y reduciendo el riesgo de complicaciones². La mala colocación de los tornillos transpediculares puede comportar secuelas neurológicas y funcionales importantes que contribuyen de manera negativa a la morbilidad del paciente. La penetración en el plano sagital puede causar daño a la raíz neural, mientras que la penetración medial puede causar rasgadura de la duramadre o daño espinal³. Diversos estudios han demostrado que la precisión en la colocación de los tornillos transpediculares asistida por navegación O-arm es mejor que cuando se instrumenta de forma visual sin navegación, y además que se reduce de manera considerable el tiempo quirúrgico^{3,6}.

El O-arm (Medtronic®, Inc., Minneapolis, Minnesota, USA) es un aparato en forma de O que ofrece imágenes con rayos X. Combina la fluoroscopía tradicional (C-arm) con modo escáner en 2D y un escáner de tomografía computada en 3D (Figs. 1 y 2). En el

paciente anciano es de gran utilidad cuando existe degeneración de tres niveles, necesidad de descompresión medular o resección de lesiones tumorales^{1,3,7}. Con la neuronavegación con O-arm se pueden tener diversas referencias anatómicas de manera multiplana y en tiempo real. Se utilizan la apófisis espinosa, el ápex de la apófisis transversa o la cresta ilíaca como puntos de referencia, de tal manera que con el sistema O-arm se correlaciona la estructura anatómica y se puede visualizar la trayectoria de los instrumentos quirúrgicos que se proyectan en el monitor, pudiendo determinar la posición del instrumento en relación a la anatomía vertebral. El propósito de este estudio es evaluar los resultados clínico-quirúrgicos de la instrumentación dorso-lumbar con neuronavegación asistida con O-arm y cirugía mínimamente invasiva.

Método

En este estudio de cohorte retrospectiva se analizaron 104 pacientes sometidos a instrumentación dorso-lumbar con un abordaje combinado de neuronavegación con O-arm y cirugía mínimamente invasiva (Figs. 1 y 2). Todos los pacientes fueron intervenidos por un mismo equipo quirúrgico en el periodo comprendido entre septiembre de 2013 y mayo de 2020. Las variables investigadas fueron el sexo, la edad, la sintomatología más recurrente, la localización de la instrumentación, la cantidad de tornillos transpediculares utilizados, el promedio de sangrado, el tiempo promedio de la cirugía, las complicaciones posquirúrgicas, el tiempo promedio de estancia hospitalaria y la mejoría clínica a intervalos de tiempo en el posoperatorio de radiculopatía unilateral o bilateral, parestesias unilaterales o bilaterales, lumbalgia mecánica y disminución de la fuerza. Todos los pacientes recibieron antiinflamatorios, antineuríticos y adyuvantes de la regeneración neural en el posquirúrgico, y se derivaron a rehabilitación física 2 semanas después de la cirugía, la cual se indicó por 5 semanas. La rehabilitación física consistió en terapia con ultrasonido, terapia térmica y colocación de electrodos en la región dorso-lumbar. Para los pacientes que manifestaron disminución de la fuerza, además de la terapia previamente indicada se agregaron ejercicios contra resistencia y de fortalecimiento muscular.

Integración de la neuronavegación

Todos los pacientes fueron sometidos a cirugía mediante bloqueo regional. Una vez colocado el paciente



Figura 1. Sistema O-arm Stealth Navigation 7.



Figura 2. Escáner tomográfico prequirúrgico con O-arm.

en decúbito ventral, se realiza un primer escaneo con el O-arm (Fig. 2). Acto seguido, se registra una imagen fluoroscópica que ubica la extensión del sitio quirúrgico a incidir. Se instila entonces anestésico local (lidocaína al 2%) sobre la línea media y se procede al abordaje mini-open (v. más adelante). Una vez expuesta el área anatómica en la que se va a trabajar, se coloca un instrumento guía sobre la apófisis espinosa que automáticamente calibra el instrumento con la antena del O-arm por medio de una cámara óptica que es un receptor de imagen. A su vez, este emite y detecta una luz infrarroja que es reflejada de manera continua por medio de esferas de diodos localizadas en los instrumentos quirúrgicos; de esta manera, se logra la calibración del O-arm con la anatomía vertebral. Así queda incorporada la neuronavegación (Fig. 3). Se completa entonces el procedimiento quirúrgico con la colocación de tornillos transpediculares y se evalúa la necesidad de procedimientos adicionales (p. ej., laminectomía). Habiendo



Figura 3. Proyección multiplanar del nivel vertebral donde se aprecia el instrumento guía sobre el pedículo vertebral que se va a instrumentar, realizando una adecuada calibración con la pantalla del O-arm y marcando el trayecto digital en el cuerpo vertebral.

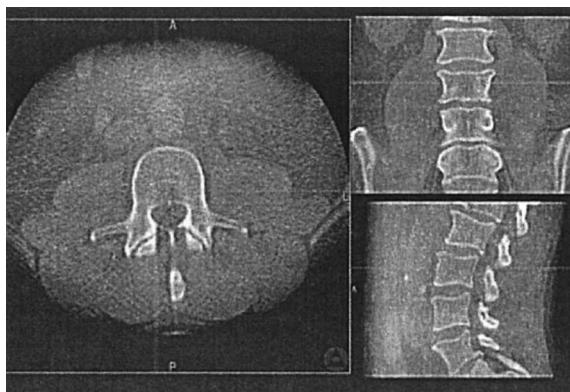


Figura 4. Resultado digital del primer escáner vertebral prequirúrgico por parte del O-arm donde se proyecta el nivel vertebral que se va a instrumentar en los planos axial, coronal y sagital.

hecho esto, se realiza un escaneo final con el O-arm para verificar la colocación correcta de los tornillos transpediculares y se repara el sitio quirúrgico.

Abordaje con el neuronavegador O-arm

Este abordaje ya ha sido descrito previamente por Ao, et al.⁸. Brevemente, el primer escaneo con el sistema O-arm proporciona una imagen 3D de toda la columna (Fig. 4). Las imágenes son transferidas de manera automática al sistema de navegación Stealth Station. Posteriormente, el cirujano puede obtener una visualización de la reconstrucción multiplanar, tanto en el plano sagital como en el axial, anteroposterior y lateral, e incluso una imagen 3D de la columna dorso-lumbar. El último paso de la preparación de la neuronavegación es el registro de los instrumentos quirúrgicos, los cuales son monitorizados por el

sistema O-arm de manera continua durante toda la cirugía y así se logra incorporar la navegación esterotáctica de manera transoperatoria.

Abordaje mínimamente invasivo (mini-open)

Este abordaje fue descrito originalmente por Skovrlj, et al.⁹. Brevemente, se realiza una incisión en la línea media de una longitud promedio de 5 cm, dependiendo del número de tornillos que se van a colocar. A continuación se separa el tejido celular subcutáneo, se diseña la fascia toracolumbar y se separan los músculos paravertebrales longísimo y multífido de manera subperióstica y bilateral hasta exponer el proceso espinoso, la lámina vertebral y la pared lateral de la articulación facetaria. Se colocan entonces los retractores internos para mantener una visualización adecuada del pedículo a instrumentar y con los instrumentos quirúrgicos ya previamente calibrados. El terreno quirúrgico queda listo para la colocación de los tornillos transpediculares.

Resultados

De los 104 pacientes, 56 eran mujeres (53.8%) y 48 eran hombres (46.1%). La edad promedio fue de 58 años para las mujeres y de 54 años para los hombres. En el total de la muestra, el rango de edad fue de 46 a 85 años, con una media de 65 años. La principal sintomatología identificada, por orden de frecuencia, fue radiculopatía unilateral o bilateral en las extremidades pélvicas ($n = 57$, 54.8%), parestesias en la región distal de las extremidades pélvicas ($n = 24$, 23%), lumbalgia mecánica posterior a la deambulación o al realizar extensión de la columna lumbar ($n = 16$, 15.3%) y disminución progresiva de la fuerza en las extremidades pélvicas que limitaba la función y la estabilidad de la marcha ($n = 7$, 6.7%) (Tabla 1).

El tiempo quirúrgico promedio fue de 160 ± 80 minutos. El 92.3% ($n = 96$) de los pacientes requirieron la realización de algún procedimiento adicional como tratamiento coadyuvante a la instrumentación; de ello dependió la variación en los tiempos quirúrgicos. El sangrado promedio fue de 50 ml. Se utilizaron en promedio 6 ± 2 tornillos por paciente, lo que representó un total de 542 tornillos colocados (Tabla 2). En el control tomográfico posquirúrgico se pudo identificar, en un paciente, dos tornillos violando más de 2 mm la pared del pedículo, motivo por el cual fueron recolocados.

Tabla 1. Variables analizadas en la muestra de pacientes

Variables	Número de pacientes
Sexo	
Hombres	48 (46.1%)
Mujeres	56 (53.8%)
Edad más frecuente	
Hombres (54 años)	14 (13.46%)
Mujeres (58 años)	19 (18.2%)
Síntomas más frecuentes	
Radiculopatía	57 (54.8%)
Parestesias	24 (23%)
Lumbalgia mecánica	16 (15.3%)
Disminución de fuerza	7 (6.7%)
Duración del procedimiento	
< 160 minutos	71 (68.2%)
160-240 minutos	33 (31.7%)
Complicaciones quirúrgicas	
Neuropatía residual	10 (9.6%)
Rasgadura de duramadre	2 (1.9%)
Infección de herida	1 (0.96%)
Estancia hospitalaria	
24 horas	98 (94.2%)
24-72 horas	6 (5.7%)

Tabla 2. Niveles de instrumentación dorso-lumbar abordados y número de tornillos utilizados

Sitio de colocación	Total pacientes	Total tornillos colocados (total niveles)
Columna dorsal	8 (7.6%)	64
Columna lumbar	96 (92.3%)	478
Un nivel	50 (48%)	200
Dos niveles	46 (44.2%)	276
Tres o más niveles	8 (7.6%)	66

Otro paciente presentó compresión radicular foraminal con manifestación de radiculopatía unilateral, por lo que el tornillo fue retirado en el posquirúrgico.

Las actividades desempeñadas por los pacientes intervenidos eran conducción de maquinaria pesada o vehículo de carga ($n = 19$, 18.2%) y labores de oficina o trabajo del hogar ($n = 67$, 64.4%); el resto de los pacientes eran trabajadores jubilados ($n = 18$, 17.3%). Al término de la rehabilitación física, todos los pacientes retomaron las actividades a las que se dedicaban.

Entre las complicaciones que se presentaron se observó que en primer lugar de frecuencia se encontraba

la neuropatía residual ($n = 10$, 9.6%), la cual se lograba reducir con tiempo de reposo relativo, antiinflamatorios no esteroideos, antineuréticos y sesiones de fisioterapia, resolviéndose en la mayoría de los casos a los 6 meses posteriores al procedimiento quirúrgico. La segunda complicación en orden de frecuencia fue la rasgadura de la duramadre ($n = 2$, 1.9%), que se resolvió de manera trasquirúrgica con puntos de sutura y sellado posterior con tejido muscular y aplicación de sellador biológico (Tissucol Duo S®, Baxter. Valencia, España). Estos pacientes se mantuvieron en vigilancia y reposo absoluto, y presentaron resolución y mejoría total a la semana del procedimiento, corroborándose con uso de ultrasonido Doppler de región lumbar y descartando una colección de líquido cefalorraquídeo. La tercera y última complicación que se presentó en la serie de casos fue la infección de la herida quirúrgica ($n = 1$, 0.96%), que ocurrió en una paciente de la tercera edad con antecedente de diabetes mellitus, la cual refirió no haber cuidado la higiene de la herida. La infección se resolvió de manera exitosa en 2 semanas, requiriendo tres lavados quirúrgicos y antibioticoterapia de amplio espectro.

El tiempo promedio de hospitalización en los pacientes sometidos a instrumentación dorso-lumbar fue de solo 24 horas. Únicamente seis pacientes (5.7%) permanecieron 3 días en hospitalización debido a dolor en el sitio quirúrgico, necesidad de reposo absoluto por desgarro de duramadre o presencia de neuropatía periférica residual que necesitaba mayor tiempo de reposo y tratamiento médico hospitalario. En un caso (0.96%) se requirió hospitalización ambulatoria en tres ocasiones por presentar infección de la herida quirúrgica.

La remisión de la sintomatología se logró en el 77.3% ($n = 75$) de los pacientes a las 24 horas del posoperatorio, en lo que se refiere a radiculopatía (unilateral o bilateral), parestesias (unilateral o bilateral) y lumbalgia mecánica. La completa mejoría clínica se logró, en estos mismos síntomas, hasta en el 94.8% ($n = 92$) de los casos a los 6 meses de la neuronavegación asistida con O-arm y abordaje mini-open. La recuperación de la fuerza se obtuvo en el 85.7% ($n = 6$) de los casos a los 6 meses del posoperatorio, con el apoyo de la rehabilitación. En la tabla 3 se muestran los promedios de recuperación clínica por sintomatología y diferentes intervalos de tiempo.

Discusión

Las enfermedades degenerativas de la columna lumbar, como la escoliosis degenerativa, el canal lumbar

Tabla 3. Completa mejoría clínica tras la instrumentación dorso-lumbar con neuronavegación

Variables clínicas	Pacientes con mejoría clínica según el tiempo posquirúrgico		
	24 horas	4 semanas	6 meses
Radiculopatía	46 (80.7%)	51 (89.4%)	55 (96.4%)
Parestesias	17 (70.8%)	19 (79.1%)	22 (91.6%)
Lumbalgia mecánica	12 (75%)	14 (87.5%)	15 (93.7%)
Disminución de fuerza	4 (57.1%)	5 (71.4%)	6 (85.7%)

estrecho y la espondilolistesis, son causas comunes de lumbalgia y dolor en las extremidades pélvicas en pacientes añosos, lo que afecta de manera importante su calidad de vida⁸. La introducción de la cirugía mínimamente invasiva en la columna con la colocación de tornillos transpediculares ha mostrado un beneficio superior en comparación con otras técnicas quirúrgicas tradicionales en las que se necesita realizar una mayor disección muscular para lograr visualizar la anatomía, y por consiguiente se produce más daño a los tejidos blandos. Dentro de los beneficios de la mínima invasión se encuentran la reducción del dolor posquirúrgico, el acortamiento de la estancia hospitalaria, la disruptión mínima de las estructuras posteriores que estabilizan la columna, la disminución del riesgo de infección y un menor tiempo quirúrgico^{8,10-13}.

Así como reportaron Singh y Haldar¹⁴, la intervención quirúrgica espinal, cuando se realiza de manera convencional con una amplia disección de tejido subcutáneo, de los músculos adyacentes y de los ligamentos, es un procedimiento que origina un dolor incapacitante por lo menos los primeros 3 días del posoperatorio. En nuestra serie de casos, el 94.2% ($n = 98$) de los pacientes fueron dados de alta 24 horas después del procedimiento quirúrgico debido a que el dolor era mínimo en el sitio quirúrgico, no era incapacitante, cedía con la administración de analgésicos y, sobre todo, había una mejoría sustancial de la principal sintomatología. Nuestros resultados contrastan con algunos reportes en la literatura que establecen unos promedios de estancia hospitalaria de 5 días^{10,11}. Una corta estancia hospitalaria favorece la deambulación temprana, disminuye el riesgo de trombosis y de infecciones nosocomiales, y favorece una temprana reintegración a la vida cotidiana y laboral, lo cual es difícil de lograr con el abordaje abierto convencional⁵.

La colocación de tornillos transpediculares se realiza más habitualmente en la columna lumbar, sitio de mayor frecuencia de presentación de patología no traumática vertebral y también de artrosis degenerativa, lo que explica la razón por la cual el mayor número de pacientes en la serie de casos requirieron instrumentación y algún abordaje de liberación radicular en este nivel. Nuestro reporte coincide con otras series de casos publicadas, como la de Tajsic, et al.¹³, en la que se reportó de igual manera que la columna lumbar era el sitio de mayor incidencia de patología vertebral y la región que es sometida a instrumentación con mayor frecuencia.

Por otro lado, la columna dorsal, a pesar de tener menor incidencia de patología, es el sitio con mayor índice de complicaciones debido a su anatomía más compleja y por la disminución de las dimensiones del pedículo, sobre todo en los niveles T4 a T6, lo que hace que esta zona vertebral sea más propensa a presentar violaciones de la pared vertebral y, por tanto, mayor número de complicaciones en la vasculatura y los órganos adyacentes^{15,16}.

La preocupación por una instrumentación inadecuada en vértebras anatómicamente complicadas y la exposición a una radiación excesiva en el equipo quirúrgico con la fluoroscopía convencional han incentivado la evolución y la adaptación de nuevas modalidades de imagen intraoperatoria^{3,17,18}. El uso de imagen guiada 3D, al facilitar la visualización anatómica vertebral y la trayectoria del tornillo en múltiples dimensiones, ha resultado en una colocación más exacta de los tornillos en la columna torácica^{8,15}. La utilización de la neuronavegación O-arm ha permitido tener una mejor visualización en tiempo real del pedículo vertebral al presentar una imagen multiplanar (axial, coronal y sagital) y simultánea de la anatomía espinal, e igualmente muestra la trayectoria de cualquier instrumento quirúrgico en relación con la anatomía regenerada en la pantalla de la computadora en tiempo real, y con ello se ha logrado disminuir el riesgo de complicaciones transquirúrgicas^{3,10}.

En la cirugía mínimamente invasiva, el acceso visual a la estructura ósea, sobre todo en el plano axial, se reduce naturalmente por el tamaño de la incisión que se realiza, lo que podría aumentar la tasa de error durante la colocación del tornillo. Sin embargo, si se utiliza en conjunto la neuronavegación con O-arm, que proporciona imágenes virtuales en tiempo real y ofrece una visualización profunda de la anatomía vertebral, se incrementa de manera considerable la exactitud de la colocación del tornillo, ofreciendo en

la mayoría de los casos una mínima probabilidad de colocación errónea en el pedículo^{5,19}. Con el uso del sistema O-arm se ha reportado una disminución estadísticamente significativa de la tasa de perforación de la pared del pedículo, siendo del 12.8-29% utilizando fluoroscopía, del 30% con técnica de manos libres y de solo un 2.7-3% con O-arm^{13,20,21}. Por tanto, esta combinación de abordaje resulta de gran utilidad en casos complejos, como pacientes obesos, mujeres con patología dorsal o espondilolistesis de grado 3¹⁶.

En un estudio prospectivo de evaluación de casos que presentaron complicaciones posteriores a una instrumentación vertebral se definió que la principal causa de complicaciones es un mal posicionamiento de los tornillos, lo que originó un déficit neurológico en alguna de las extremidades pélvicas. Se considera que hasta un 50% de las complicaciones neurológicas podrían evitarse con guías robóticas que faciliten una visualización más exacta del sitio que se va a instrumentar²². En esta serie de casos, afortunadamente las complicaciones que se presentaron fueron mínimas y por completo reversibles (neuropatía residual, rasgadura de duramadre e infección de la herida quirúrgica). En ningún caso hubo déficit neurológico ni daño vascular importante.

Además de una reducción considerable en el número y el grado de complicaciones con el uso de neuronavegación O-arm, las instrumentaciones guiadas con este sistema logran una reducción significativa del tiempo quirúrgico en comparación con las técnicas convencionales, ya que se evitan numerosos cambios de proyección anteroposterior y lateral con fluoroscopía convencional. En esta serie de casos, el tiempo quirúrgico promedio en la mayoría de los pacientes fue menor de 160 minutos, mientras que otros reportes de la literatura refieren un tiempo promedio de 222 minutos con O-arm y de 255 minutos con la técnica de manos libres³. Las variaciones en el tiempo quirúrgico se deben generalmente a la diferencia en el número de tornillos utilizados y a la experiencia del neurocirujano. Se ha estipulado que con el uso de O-arm podría reducirse hasta un 50% el tiempo quirúrgico en comparación con las técnicas convencionales, siempre y cuando realice el procedimiento un neurocirujano experimentado^{10,20}.

En diferentes meta-análisis se describe una tasa de éxito del 89-96% para la adecuada colocación de tornillos dentro del pedículo correspondiente sin lesionar ninguna estructura nerviosa o plexo arterial y sin penetrar el pedículo más de 2 mm con el uso de neuronavegación O-arm. También se ha definido que con la neuronavegación asistida se reduce el riesgo

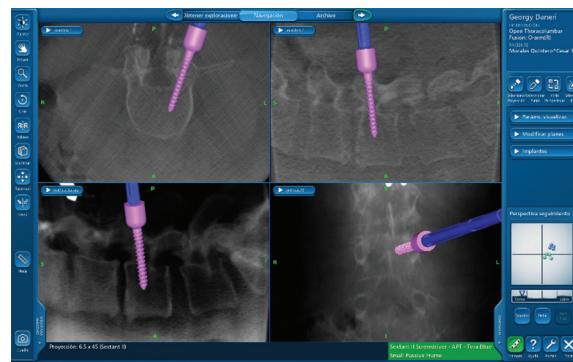


Figura 5. Proyección multiplanar del nivel vertebral donde se aprecia el tornillo transpedicular entrando adecuadamente en el cuerpo vertebral, siguiendo el trayecto previamente delimitado por el instrumento guía.

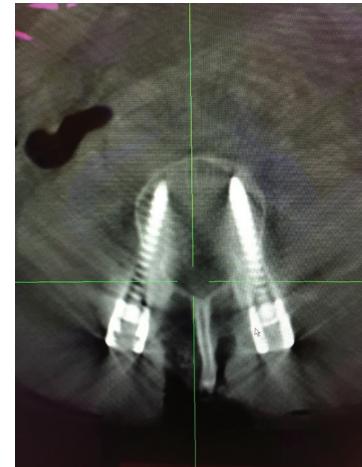


Figura 6. Escáner tomográfico transquirúrgico de control con O-arm que muestra el adecuado posicionamiento de los tornillos transpediculares en la vértebra dorsal.

de reintervención quirúrgica en un futuro hasta un 50% en comparación con las estrategias de manos libres o con fluoroscopía^{11,23}. En esta serie de casos se obtuvo una tasa de éxito del 95.7% con una adecuada colocación de los tornillos transpediculares mediante neuronavegación desde el primer intento, sin violar ninguna estructura de la anatomía vertebral y sin necesidad de reacomodación (Figs. 5 y 6).

Quizás uno de los grandes retos en nuestro estudio, que tiene que ver con el diseño metodológico, es la falta de una cohorte comparativa. Aun tratándose de una cohorte retrospectiva, el mismo abordaje realizado por otro grupo podría dar más solidez a las bondades de un procedimiento combinado de neuronavegación con cirugía mini-open. Es decir, un estudio de casos y

controles, o con dos cohortes prospectivas, confrontaría adecuadamente la evidencia presentada en este trabajo. Más aún, un ensayo clínico abierto que comparara nuestro abordaje con una técnica convencional daría más solidez metodológica.

Conclusiones

Este trabajo pone de manifiesto que la neuronavegación asistida con O-arm más el uso de un abordaje mínimamente invasivo permiten una instrumentación segura de los trastornos complejos de la columna dorso-lumbar, con menores tiempos quirúrgicos, menos sangrado, corrección de la sintomatología, menos complicaciones y menor tiempo de estancia hospitalaria.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Pescador D, Rendón D, Blanco J, González R, Martín JM, Cano C. Navegación O-arm en cirugía vertebral para casos complejos. *Acta Ortop Mex.* 2016;30:100-4.
2. Rahmathulla G, Nottmeier EW, Pirris SM, Gordon H, Pichelmann MA. Intraoperative image-guided spinal navigation: technical pitfalls and their avoidance. *Neurosurg Focus.* 2014;36:3-9.
3. Wang Y, Chen K, Chen H, Zhang K, Lu J, Mao H, et al. Comparison between free-hand and O-arm based navigated posterior interbody fusion in elderly cohorts with three-level lumbar degenerative disease. *Int Orthop (SICOT).* 2018;43:351-7.
4. Valles E, Escobedo C, Ugalde E. Artrodesis posterolateral e instrumentación posterior en pacientes con espondilolistesis, reporte preliminar. *Acta Ortop Mex.* 2004;18:61-5.
5. Moses ZV, Mayer RR, Strickland BA, Kretzer RM, Wolinsky J, Gokaslan ZL, et al. Neuronavigation in minimally invasive spine surgery. *Neurosurg Focus.* 2013;35:E12-6.
6. Mason A, Paulsen R, Babuska JM, Rajpal S, Burneikiene S, Nelson EL. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems. *J Neurosurg Spine.* 2014;20:196-203.
7. Zhang J. The cone beam O-arm imaging system: radiation dose, image quality, and clinical applications. *Recent Pat Medical Imaging.* 2013;3:103-10.
8. Ao S, Wu J, Tang Y, Zhang C, Li J, Zheng W, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy assisted by O-arm-based navigation improves the learning curve. *Biomed Res Int.* 2019;2019:6509409.
9. Skovrij B, Gilligan J, Cutler HS, Qureshi SA. Minimally invasive procedures on the lumbar spine. *World J Clin Cases.* 2015;3:1-9.
10. Kochanski RB, Lombardi JM, Laratta JL, Lehman RA, O'Toole JE. Image-guided navigation and robotics in spine surgery. *Neurosurg.* 2019;1:1-11.
11. Xiao R, Miller JA, Sabharwal NC, Lubelski D, Alentado VJ, Healy AT, et al. Clinical outcomes following spinal fusion using an intraoperative computed tomographic 3D imaging system. *J Neurosurg Spine.* 2017;26:628-37.
12. Sadrameli SS, Jafrani R, Staub BN, Radaideh M, Holman PJ. Minimally invasive, stereotactic, wireless, percutaneous pedicle screw placement in the lumbar spine: accuracy rates with 182 consecutive screws. *Int J Spine Surg.* 2018;12:650-8.
13. Taisic T, Patel K, Farmer R, Mannion RJ, Trivedi RA. Spinal navigation for minimally invasive thoracic and lumbosacral spine fixation: implications for radiation exposure, operative time, and accuracy of pedicle screw placement. *Eur Spine J.* 2018;27:1918-24.
14. Singh SJ, Haldar R. Pain management following spinal surgeries: an appraisal of the available options. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2015;6:105-10.
15. Nottmeier EW, Pirris SM. Placement of thoracic transvertebral pedicle screws using 3D image guidance. *J Neurosurg Spine.* 2013;18:479-83.
16. Jeswani S, Drazin D, Hsieh JC, Shweikeh F, Friedman E, Pashman R. Instrumenting the small thoracic pedicle: the role of intraoperative computed tomography image-guided surgery. *Neurosurg Focus.* 2014;36:1-7.
17. Tabarae E, Gibson AG, Karahalios DG, Potts EA, Mobasser JP, Burch S. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM). *Spine Surg.* 2013;38:1953-8.
18. Balling H. Learning curve analysis of 3D-fluoroscopy image-guided pedicle screw insertions in lumbar single-level fusion procedures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018;138:1501-9.
19. Kim TT, Drazin D, Shweikeh F, Pashman R, Patrick JJ. Clinical and radiographic outcomes of minimally invasive percutaneous pedicle screw placement with intraoperative CT (O-arm) image guidance navigation. *Neurosurg Focus.* 2014;36:1-7.
20. Houter JK, Nasser R, Baxi N. Clinical assessment of percutaneous lumbar pedicle screw placement using the O-arm multidimensional surgical imaging system. *Neurosurg.* 2012;70:990-5.
21. Oba H, Ebata S, Takahashi J, Koyama K, Uehara M, Kato H, et al. Pedicle perforation while inserting screws using O-arm navigation during surgery for adolescent idiopathic scoliosis: risk factors and effect of insertion order. *Spine.* 2018;43:1463-8.
22. Shillingford JN, Laratta JL, Sarpong NO, Alrabaa RG, Cerpa MK, Lehman RA. Instrumentation complication rates following spine surgery: a report from the Scoliosis Research Society morbidity and mortality database. *J Spine Surg.* 2019;5:110-5.
23. Rivkin MA, Yocom SS. Thoracolumbar instrumentation with CT-guided navigation (O-arm) in 270 consecutive patients: accuracy rates and lessons learned. *Neurosurg Focus.* 2014;36:1-8.