

## Evaluación Tomográfica del Uso de Tornillos Pediculares en Curvas Torácicas Utilizando Guía Fluoroscópica. *CT Scan Assessment of Fluoroscopic-Guided Pedicular Screw Placement in Thoracic Curves.*

Pineda Fernández A<sup>1</sup> , Soria Brito L<sup>2</sup> , Medina Bereciartu J<sup>1</sup> .

Fecha de recepción: 15/09/2023. Fecha de aceptación: 23/01/2025.

### Resumen

**Introducción:** Los tornillos pediculares son considerados por muchos el sistema ideal para corregir las deformidades de la columna ya que poseen varias ventajas: mejor fijación a la vértebra, mayor capacidad de desrotar la columna, mayor capacidad de corrección en los planos sagital y coronal y menor índice de pseudoartrosis. El objetivo de este estudio es evaluar con TAC la eficacia y seguridad de esta técnica de introducción de tornillos con guía fluoroscópica. **Material y métodos:** Se realizó un estudio descriptivo. Utilizamos la Tomografía Axial Computarizada (TAC) para demostrar la eficacia de la técnica con guía fluoroscópica en la colocación de tornillos pediculares de forma segura en curvas torácicas. El seguimiento mínimo fue de 3 años. **Resultados:** Se incluyeron 79 pacientes con escoliosis. Nuestro estudio evidenció un 90,4% de posicionamiento adecuado y solo un 9,6% de mal posicionamiento de los tornillos. Nuestras complicaciones fueron del 0,9%. **Discusión:** La técnica de colocación de tornillos pediculares en curvas torácicas guiado por fluoroscopia es un método seguro con un porcentaje de posicionamiento adecuado del 90,4% y con muy pocas complicaciones tanto en el postoperatorio inmediato (0,9%) como después de 3 años de seguimiento (0%). Por estos motivos recomendamos su uso en presencia de pedículos torácicos muy pequeños y dismórficos, en curvas con gran rotación, en casos de cirugía de revisión donde se pierden los reparos anatómicos normales y al inicio de la curva de aprendizaje del cirujano de columna. **Rev Venez Cir Ortop Traumatol, 2025, Vol 57 (1): : 45-53.**

**Palabras Clave:** Escoliosis, Pedículos Vertebrales, Curvaturas de la Columna Vertebral, Procedimientos Quirúrgicos Operativos.

**Nivel de Evidencia: 3b**

### Abstract

**Introduction:** Pedicle screws are considered by many to be the ideal system for correcting spinal deformities as they offer several advantages: improved fixation to the vertebra, greater ability to derotate the spine, greater correction capacity in the sagittal and coronal planes, and a lower rate of nonunion. The objective of this study was to evaluate the efficacy and safety of this fluoroscopically guided screw insertion technique using CT. **Material and methods:** A descriptive study was conducted. We used Computed Tomography (CT) to demonstrate the efficacy of the fluoroscopically guided technique for safely placing pedicle screws in thoracic curves. The minimum follow-up was 3 years. **Results:** We included 79 patients with scoliosis. Our study showed 90.4% correct screw positioning and only 9.6% malpositioning. Our complications were 0.9%. **Discussion:** Fluoroscopy-guided pedicle screw placement in thoracic curves is a safe method with an adequate positioning rate of 90.4% and very few complications both in the immediate postoperative period (0.9%) and after 3 years of follow-up (0%). For these reasons, we recommend its use in the presence of very small and dysmorphic thoracic pedicles, in curves with significant rotation, in revision surgery where normal anatomical landmarks are lost, and at the beginning of the spine surgeon's learning curve. **Rev Venez Cir Ortop Traumatol, 2025, Vol 57 (1): : 45-53.**

**Key Words:** Scoliosis, Vertebral Pedicles, Spinal Curves, Operative Surgical Procedures.

**Level of evidence: 3b**

## Introducción

Los tornillos pediculares son considerados por muchos el sistema ideal para corregir las deformidades de la columna<sup>1,2</sup> ya que poseen varias ventajas: mejor fijación a la vértebra, mayor capacidad de desrotar la

<sup>1</sup>Traumatólogo-Ortopedista/Especialista en Cirugía de Columna Vertebral. Clínica Santa Sofía, Caracas, Venezuela. <sup>2</sup>Traumatólogo-Ortopedista/Especialista en Cirugía de Columna Vertebral. Hospital Horacio Oduer, Oranjestad, Aruba.

Autor de correspondencia: Armando Pineda Fernández, email: apinedaspine@gmail.com  
Conflictos de interés: Este trabajo es autofinanciado. No se recibieron ni se recibirán beneficios económicos por la realización de este artículo. Los autores niegan conflictos de interés.

columna, mayor capacidad de corrección en los planos sagital y coronal y menor índice de pseudoartrosis. Casi todos los autores están de acuerdo con estos argumentos, sin embargo, el mayor punto de discusión radica en su uso de forma segura para el paciente<sup>2,3</sup>, especialmente en las curvas torácicas donde los pedículos son más pequeños que los lumbares y pueden presentar diferentes grados de dismorfismo<sup>4-6</sup>, y por ende mayor riesgo de complicaciones.

Existen reportes variables de mal posición de tornillos que van desde 1,2% hasta 20%<sup>7-10</sup>. Esta variabilidad depende de factores como el método utilizado para colocar los tornillos, sea con técnica de manos libres<sup>1,2,6</sup> guiado por fluoroscopia<sup>11,12</sup> o utilizando neuronavegación<sup>13,14</sup>; también depende del método evaluador utilizado, sea radiología simple<sup>7,8</sup> o tomografía computarizada (TC)<sup>9,10</sup>. Los estudios que utilizan la radiología simple como método evaluador reportan un menor porcentaje de mal posición de tornillos que los que utilizaron la TAC y esto se explica por la mayor capacidad de la TAC para detectar la posición del tornillo en la vértebra. A pesar de los reportes de mal posición de los tornillos en escoliosis la literatura reporta relativamente pocas complicaciones<sup>15-18</sup>, no obstante pensamos que estas complicaciones son potencialmente graves y por eso debemos utilizar los métodos que nos ofrezcan mayor seguridad durante la colocación de cada tornillo en especial en la columna torácica y en manos de cirujanos de columna que inician su curva de aprendizaje<sup>19,20</sup>. El propósito de este estudio es evaluar con TAC la eficacia y seguridad de esta técnica de introducción de tornillos con guía fluoroscópica<sup>12</sup>.

## **Material y métodos**

Se realizó un estudio de tipo descriptivo. Entre diciembre del 2014 y mayo 2018, se incluyeron pacientes de ambos sexos, sin restricción de edad, a los cuales se realizó artrodesis vertebral posterior consecutivos con escoliosis, utilizando tornillos pediculares guiados por fluoroscopia. Estos pacientes fueron sistemáticamente evaluados mediante TAC y sólo se tomaron en cuenta para el estudio los tornillos torácicos. El seguimiento mínimo fue de 3 años.

Las cirugías fueron realizadas por 6 diferentes cirujanos ortopédicos de columna, incluyendo a los autores, de 3 centros hospitalarios diferentes, utilizando la misma técnica de inserción de los tornillos que consiste en utilizar solo la proyección posteroanterior (PA) del arco en C12, orientando o rotando el fluoroscopio en dos planos: el plano coronal (orientación medio – lateral), y el plano sagital (orientación céfalo – caudal), con el fin de lograr una verdadera imagen PA, es decir, una imagen simétrica y centrada de cada vertebra a medida que se va instrumentando. Esto se logra girando gradualmente el arco en C siguiendo la rotación de cada vértebra en cada segmento hasta lograr una perfecta imagen PA (plano coronal). Luego se gira el arco en C en sentido céfalocaudal (plano sagital) hasta obtener una imagen nítida y lineal de ambos platos basales superior e inferior. A continuación, se coloca el iniciador de pedículo en el borde lateral de cada pedículo (lado derecho a las 3 o lado izquierdo a las 9, según las agujas del reloj) para luego avanzar con la lezna medial y paralelamente al plato basal superior, teniendo cuidado de no avanzar más allá del punto central de la vértebra

señalado por la apófisis espinosa, siempre en proyección PA.

La evaluación tomográfica de cada paciente se realizó entre 1 y 2 meses posterior a la cirugía y se utilizó la clasificación propuesta por Kasim<sup>21</sup> (Tabla 1, Figura 1) para evaluar la posición de los tornillos en cada vertebra torácica instrumentada. La revisión de las tomografías fue realizada por un cirujano ortopedista diferente a los cirujanos que participaron en las cirugías.

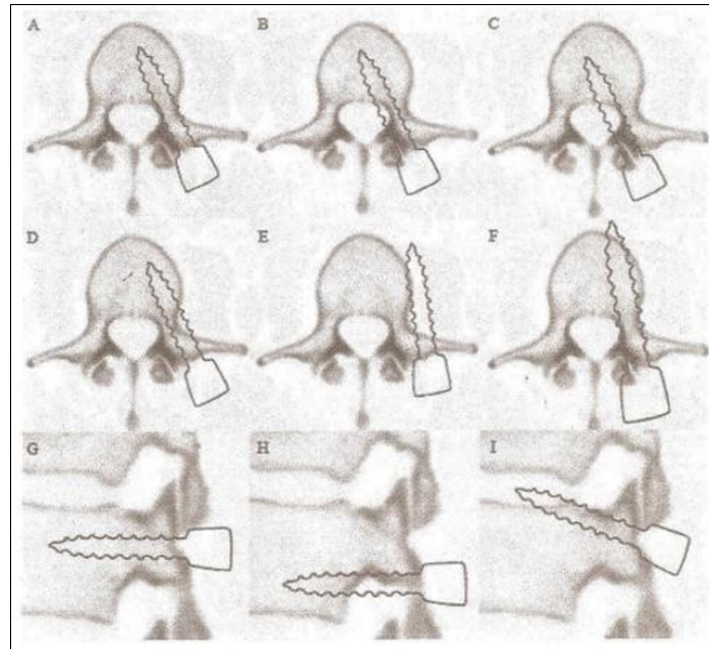
Se excluyeron los casos de revisión, los casos cervicales y los casos de trauma, tumores, espondilolistesis, espina bífida, distrofia muscular y deformidades con displasia ósea.

El seguimiento post operatorio mínimo fue de 3 años (3,0 a 3,8 años).

La información se recogió de las historias clínicas y del análisis de las TAC. Estos datos fueron analizados con el programa

**Tabla 1.** Clasificación de Kasim para evaluar de la posición de los tornillos pediculares<sup>21</sup>.

Perforación de la cortical medial del pedículo	Perforación de la cortical anterior del cuerpo vertebral
<p><b>Grado 0</b> Colocación aceptable. Tornillo pasa totalmente dentro del canal pedicular o con una lesión mínima de la cortical medial del pedículo (menos de la mitad del diámetro del tornillo atraviesa la cortical medial del pedículo)</p> <p><b>Grado 1</b> Tornillo parcialmente medializado (mas de la mitad del diámetro del tornillo atraviesa la cortical medial del pedículo)</p> <p><b>Grado 2</b> Tornillo completamente medializado (tornillo atraviesa totalmente la cortical medial del pedículo)</p>	<p><b>Grado 0</b> Colocación aceptable. La punta del tornillo se encuentra dentro del cuerpo vertebral</p> <p><b>Grado 1</b> Perforación de la cortical anterior. La punta del tornillo penetra la cortical anterior del cuerpo vertebral. Los grados de la perforación son reportados en milímetros.</p>
Perforación de la cortical lateral del pedículo	Perforación de la placa terminal
<p><b>Grado 0</b> Colocación aceptable. Tornillo pasa totalmente dentro del canal pedicular o con una lesión mínima de la cortical lateral del pedículo (menos de la mitad del diámetro del tornillo atraviesa la cortical lateral del pedículo)</p> <p><b>Grado 1</b> Tornillo parcialmente lateralizado. (mas de la mitad del diámetro del tornillo atraviesa la cortical lateral del pedículo)</p> <p><b>Grado 2</b> Tornillo completamente lateralizado. (tornillo atraviesa totalmente la cortical lateral del pedículo)</p>	<p><b>Grado 0</b> Colocación aceptable. La punta del tornillo se encuentra dentro del cuerpo vertebral.</p> <p><b>Grado 1</b> Perforación de la placa terminal. La punta del tornillo penetra la placa superior o inferior de los espacios discales adyacentes.</p>
	Perforación foraminal
	<p><b>Grado 0</b> Colocación aceptable. La punta del tornillo no penetra el borde del pedículo de la parte superior o inferior del foramen.</p> <p><b>Grado 1</b> Perforación foraminal. La punta del tornillo penetra el borde del pedículo en la parte superior o inferior del foramen.</p>



**Figura 1.** Clasificación de Kasim *et al.*<sup>21</sup>. A: Tornillo aceptablemente colocado, B: Perforación Cortical Medial (PCM) Grado 1, C: PCM Grado 2, D: Perforación Cortical Lateral (PCL) Grado 1, E: PCL Grado 2, F: Perforación Cortical Anterior (PCA), G: tornillo aceptablemente colocado en vista sagital, H: Perforación hacia el foramen, I: Perforación hacia el plato basal superior.

Fuente: Kasim *et al.*, Spine 2009,34(9): 941-948

estadístico epi info versión 3.4.3 para Windows, con tablas de frecuencia absolutas y relativas.

Se solicitó autorización y consentimiento informado a cada padre o representante legal de cada paciente según formato utilizado en cada centro de salud involucrado en este estudio. Se respetaron y cumplieron todas las normas de bioética nacionales e internacionales vigentes.

## Resultados

Entre diciembre del 2014 y mayo del 2018, se intervinieron quirúrgicamente 79 pacientes de forma consecutiva, a los cuales se les realizó artrodesis vertebral posterior con

tornillos pediculares bajo guía fluoroscópica y control postoperatorio con TAC entre el 1er y el 2do mes. Los datos demográficos pueden observarse en la tabla 2.

En el 92,4% (n=73) el diagnóstico fue escoliosis idiopática del adolescente, seguido de 3 casos de escoliosis congénita, 2 casos de escoliosis neuromuscular y 1 caso asociado a síndrome de Marfan (Tabla 2).

El valor angular promedio preoperatorio de las curvas fue de 64° (rango, 40° a 95°), lográndose un porcentaje de corrección promedio de 69,6%.

Se colocaron 1359 tornillos pediculares distribuyéndose el 72,2% (n=981) a nivel torácico y el 27,8% (n=378) a nivel lumbar.

**Tabla 2.** Información demográfica de los pacientes incluidos.

Datos Demográficos	n	%
Pacientes	79	100
Edad (años)	15,2 (11 – 31)	
≤de 19	71	89,9
≥de 20	8	10,1
Sexo		
Femenino	69	87,3
Masculino	10	12,7
Total de Tornillos	1.359	100
Torácicos	981	72,2
Lumbares	378	27,8
Densidad promedio de tornillos torácicos	12,4	69,0
Etiología		
Idiopática	73	92,4
Congénita	3	3,7
Neuromuscular	2	2,5
Marfan	1	1,2
Valor angular promedio de las curvas Torácicas	64° (40° - 95°)	
Corrección Lograda	69,6%	
Tiempo Quirúrgico (minutos)	189,5 m (120 – 310 m)	

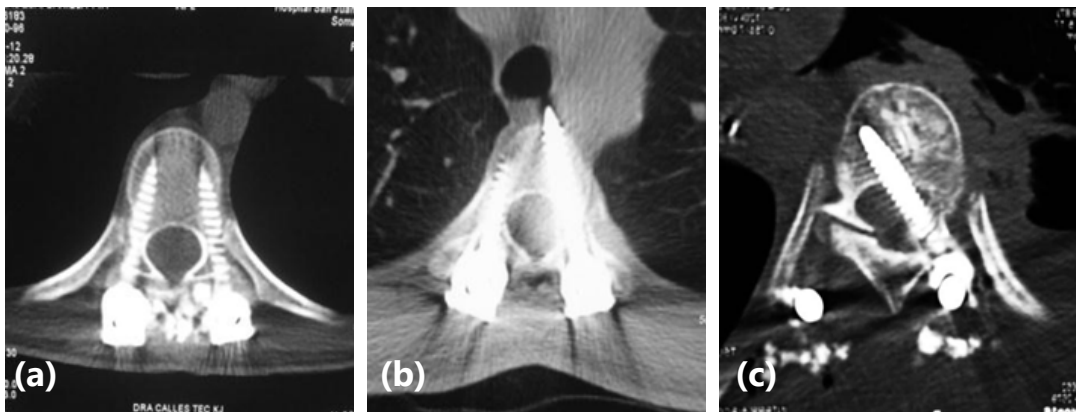
Fuente: Historias Médicas

Todos los tornillos se colocaron bajo guía fluoroscópica. La densidad promedio de los tornillos (relación entre el número de vertebra involucradas en cada curva torácica y el número de tornillos utilizados) fue del 69%, con un promedio de 12,4 tornillos por paciente.

A todos los pacientes se les realizó TAC, realizándose cortes transversos en cada nivel donde se colocó algún tornillo, tomándose en cuenta para este estudio solo los tornillos torácicos (Figura 2).

De los 981 tornillos colocados a nivel torácico, el 90,4% fue colocado de forma aceptable (Grado 0) y el 9,6% presentó algún tipo de mal posición, según la clasificación de Kasim<sup>21</sup>. De este 9,6% que presentó algún tipo de mal posición la perforación medial fue la más frecuente (5,1%), seguida de la perforación anterior (3,6%) y por último la perforación lateral (0,7%) (Tabla 3).

Las complicaciones en el transoperatorio, postoperatorio inmediato y durante el



**Figura 2.** Imágenes tomográficas de los distintos tipos de colocación de tornillos: (a) Colocación Aceptable; (b) Perforación de la Cortical Anterior del Cuerpo Vertebral; (c) Perforación de la Cortical Medial.

**Tabla 3.** Distribución de la posición de los tornillos torácicos según la clasificación de Kasim *et al.*<sup>21</sup>.

Posición de Tornillos	n	%
Tornillos Bien Posicionados (Grado 0)	887	90,4
Tornillos Mal Posicionados (Grados 1 y 2)	94	9,6
Perforación Cortical Anterior	36	3,6
Perforación Cortical Medial	51	5,1
Grado 1	41	4,2
Grado 2	10	1
Perforación Cortical lateral	7	0,7
Grado 1	5	0,5
Grado 2	2	0,2
Total de Tornillos Torácicos	981	100

Fuente: Historias Médicas

período de recolección de datos, alcanzaron el 0,9% (n=9) y pueden observarse en la Tabla 4. Los 3 hemotórax se resolvieron con drenaje torácico, las 2 fugas de líquido céfalo raquídeo ocurrieron al perforar la cortical medial y se resolvieron con solo colocar cera de hueso en el agujero óseo de inicio, las 3 parestesias ocurrieron en la región intercostal y se resolvieron con

**Tabla 4.** Complicaciones.

Complicaciones	n	%
Trans y Post operatorio inmediato	9	0,9
Hemotorax	3	0,3
Fuga de LCR	2	0,2
Parestesias transitorias	3	0,3
Monoparesia miembro inferior	1	0,1
Después de 3 años de seguimiento	0	0

la administración de pregabalina (75 mgr VO, BID por 30 días), y la mono paresia del miembro inferior derecho con alteración de la marcha requirió de cirugía de revisión para retirar 2 tornillos que habían perforado la cortical medial (grado 2, según Kasim<sup>21</sup>). Este caso en particular, se recuperó totalmente después de 2 meses de realizar fisioterapia y rehabilitación. Esos 2 únicos tornillos retirados representan el 0,2% del total de tornillos torácicos colocados.

El seguimiento final fue de 3 años como mínimo (3,0 a 3,8 años) no registrando ninguna complicación neurológica ni vascular a pesar de nuestro 9,6% de mal posición de los tornillos (tabla 4).

## Discusión

En la última década la instrumentación con tornillos pediculares ha ganado popularidad en la cirugía de deformidades debido a su mayor capacidad de fijación y corrección<sup>1,2</sup>. Se han descrito varias técnicas para la colocación de los tornillos pediculares que van desde la técnica a manos libres<sup>1,2</sup>, pasando por técnicas que usan fluoroscopia<sup>11,12</sup>, hasta el uso de la neuronavegación<sup>13,14</sup>. Así mismo, existen varios métodos para evaluar la posición de los tornillos en las vértebras siendo los más usados la radiología simple<sup>7,8</sup> y la TAC<sup>9,10</sup>.

En la literatura existen reportes muy variables de mal posición de tornillos que oscilan entre 2% y 20%<sup>7-10</sup>. Esta gran variabilidad depende básicamente de la técnica utilizada para la introducción de los tornillos y del método evaluador utilizado,

ya que la TAC es mucho más sensible que la radiología simple para evidenciar la posición de los tornillos en las vertebra<sup>9,10</sup>.

Para el presente estudio se decidió primero, colocar todos los tornillos bajo guía fluoroscópica utilizando solo la proyección PA del arco en C12, segundo, evaluar la posición solo de los tornillos torácicos pues su colocación lleva implícito un riesgo neurológico y vascular mayor que los lumbares y tercero, realizar la evaluación del posicionamiento de los tornillos mediante TAC. Este estudio reportó un 9,6% de mal posición de tornillos torácicos, cercano a lo reportado por estudios similares<sup>7-10</sup>.

La mayoría de las perforaciones ocurrieron en dirección medial (5,1%), anterior (3,6%) y lateral (0,7%). A pesar de que el porcentaje total de tornillos mal posicionados fue de 9,6%, la mayoría de estas son de grado 1, que se considera dentro del margen seguro<sup>21</sup>.

En la literatura, los reportes de complicaciones son muy escasos, especialmente si consideramos las estructuras anatómicas cercanas y pocas se reportan como graves<sup>15-18</sup>. De igual manera, el porcentaje reportado de cirugía de revisión para recolocar o retirar tornillos mal posicionados es muy pequeño<sup>13,17</sup>. En el estudio solo 2 tornillos (0,2%) tuvieron que ser retirados en un mismo paciente por presentar perforación de la cortical medial grado 2, que se acompañó de déficit neurológico parcial que mejoró totalmente después de 2 meses de fisioterapia y rehabilitación. La mayoría de los autores concuerdan que la invasión del canal de hasta 2 mm es aceptable

y no conlleva peligro a los elementos nerviosos cercanos<sup>17,21</sup>, pero están descritas complicaciones neurológicas graves por la perforación de la cortical medial del pedículo incluso 2 o más años después de la cirugía en pacientes inicialmente asintomáticos<sup>17,18</sup>, por eso la importancia del seguimiento post operatorio de 3 años como mínimo sin que tuviésemos evidencia de complicaciones neurológicas.

Hicimos especial énfasis en evaluar y seguir los pacientes que presentaron tornillos con perforación de la cortical anterior del cuerpo vertebral<sup>16</sup>. (n=36, 3,6%) por la cercanía de estructuras vasculares importantes y por el hecho de que decidimos no retirar esos tornillos aún después de haber identificado con TAC su posición; ninguno de estos pacientes presentó complicaciones vasculares después de 3 años de seguimiento.

Aunque la tendencia natural nos lleva a introducir los tornillos a manos libres porque reduce la exposición a radiaciones<sup>22</sup>, la técnica fluoroscópica nos resulta muy útil especialmente al inicio de nuestra formación como cirujanos de columna<sup>19,20</sup>.

Otro aspecto resaltante de esta técnica es su reproductibilidad por diferentes cirujanos. En el estudio participaron 6 cirujanos ortopédicos de columna, de 3 centros hospitalarios diferentes, y con diferentes grados de formación y experiencia. Todos obtuvieron resultados equivalentes, lo que demuestra su fácil aprendizaje.

El estudio presenta varias limitaciones. No se realizó un estudio morfométrico de los pedículos para correlacionarlos con el

riesgo de perforación, y no se realizó el análisis de la cantidad de radiación a la que se expusieron los cirujanos y demás personal de quirófano.

En conclusión, la técnica de colocación de tornillos pediculares en curvas torácicas guiado por fluoroscopia es un método seguro con un porcentaje de posicionamiento adecuado del 90,4% y con muy pocas complicaciones tanto en el postoperatorio inmediato (0,9%) como después de 3 años de seguimiento (0%). Por estos motivos recomendamos su uso en presencia de pedículos torácicos muy pequeños y dismórficos, en curvas con gran rotación, en casos de cirugía de revisión donde se pierden los reparos anatómicos normales y al inicio de la curva de aprendizaje del cirujano de columna.

## Referencias

1. Suk S, Lee C, Kim W, Park Y, Chung Y, Song K. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of Thoracic idiopathic scoliosis. *J Korean Orthop Assoc* 1995;30(1):49-58. DOI: 10.4055/jkoa.1995.30.1.49
2. Suk SI, Kim WJ, Lee SM, Kim JH, Chung ER. Thoracic pedicle screw fixation in spinal deformities: are they really safe? *Spine* 2001;26(18):2049-57. DOI: 10.1097/00007632-200109150-00022.
3. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine* 2004;29(3):333-42; discussion 342. DOI: 10.1097/01.brs.0000109983.12113.9b.
4. Watanabe K, Lenke LG, Matsumoto M, Harimaya K, Kim YJ, Hensley M, Stobbs G, Toyama Y, Chiba K. A novel pedicle channel classification describing osseous anatomy: how many thoracic scoliotic pedicles have cancellous channels? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Sep 15;35(20):1836-42. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d3cfde.
5. Chang S, Hernández J, Dávila V. Análisis morfológico de pedículos torácicos en escoliosis idiopática del adolescente. *Rev Venez de Cirug Ortop y Traumatol* 2015;47(1):17-23. DOI: <https://www.svcot.org/ediciones/2015/1/art-2/>
6. Dede O, Ward WT, Bosch P, Bowles AJ, Roach JW. Using the freehand pedicle screw placement technique in adolescent idiopathic scoliosis surgery: what is the incidence of neurological symptoms secondary to misplaced screws? *Spine* 2014;39(4):286-90. DOI: 10.1097/BRS.000000000000127.
7. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, Brick C, Reid S. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. *Spine*;13(9):1012-8. DOI: 10.1097/00007632-198809000-00008.
8. Sapakas GS, Papadakis SA, Stathakopoulos DP, Papagelopoulos PJ, Badekas AC, Kaiser JH. Evaluation of pedicle screw position in thoracic and lumbar spine fixation using plain radiographs and computed tomography. A prospective study of 35 patients. *Spine* 1999;24(18):1926-9. DOI: 10.1097/00007632-199909150-00011.
9. Kwan MK, Chiu CK, Gani SMA, Wei CCY. Accuracy and Safety of Pedicle Screw Placement in Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients: A Review of 2020 Screws Using Computed Tomography Assessment. *Spine* 2017;42(5):326-335. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001738.
10. Rao G, Brodke DS, Rondina M, Bacchus K, Dailey AT. Inter- and intraobserver reliability of computed tomography in assessment of thoracic pedicle screw placement. *Spine* 2003;28(22):2527-30. DOI: 10.1097/01.BRS.0000092341.56793.F1.
11. Hansen-Algenstaedt N, Chiu CK, Chan CY, Lee CK, Schaefer C, Kwan MK. Accuracy and safety of fluoroscopic guided percutaneous pedicle screws in thoracic and lumbosacral spine: a review of 2000 screws. *Spine* 2015;40(17):E954-63. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000958.
12. Lee CS, Kim MJ, Ahn YJ, Kim YT, Jeong KI, Lee DH. Thoracic pedicle screw insertion in scoliosis using posteroanterior C-arm rotation method. *J Spinal Disord Tech*. 2007;20(1):66-71. doi: 10.1097/01.bsd.0000211248.75200.3f.
13. Ughwanogho E, Patel NM, Baldwin KD, Sampson NR, Flynn JM. Computed tomography-guided navigation of thoracic pedicle screws for adolescent idiopathic scoliosis results in more accurate placement and less screw removal. *Spine* 2012;37(8):E473-8. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318238bbd9.

14. Kaur J, Koltsov J, Kwong J, Cheng I, Vorhies J. Does Navigation Make Spinal Fusion for Adolescent Idiopathic Scoliosis Safer? Insights From a National Database. *Spine* 2021;46(19):E1049-E1057. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004037.
15. Sansur CA, Smith JS, Coe JD, Glassman SD, Berven SH, Polly DW Jr, Perra JH, Boachie-Adjei O, Shaffrey CI. Scoliosis research society morbidity and mortality of adult scoliosis surgery. *Spine*. 2011;36(9):E593-7. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182059bfd.
16. Parker SL, Amin AG, Santiago-Dieppa D, Liauw JA, Bydon A, Sciubba DM, Wolinsky JP, Gokaslan ZL, Witham TF. Incidence and clinical significance of vascular encroachment resulting from freehand placement of pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: analysis of 6816 consecutive screws. *Spine* 2014 Apr 15;39(8):683-7. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000221.
17. Hicks JM, Singla A, Shen FH, Arlet V. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine* 2010;35(11):E465-70. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d1021a.
18. Mac-Thiong JM, Parent S, Poitras B, Joncas J, Hubert L. Neurological outcome and management of pedicle screws misplaced totally within the spinal canal. *Spine* 2013;38(3):229-37. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31826980a9.
19. Gonzalvo A, Fitt G, Liew S, de la Harpe D, Turner P, Ton L, Rogers MA, Wilde PH. The learning curve of pedicle screw placement: how many screws are enough? *Spine*;34(21):E761-5. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b2f928. PMID: 19934796.
20. Samdani AF, Ranade A, Sciubba DM, Cahill PJ, Antonacci MD, Clements DH, Betz RR. Accuracy of free-hand placement of thoracic pedicle screws in adolescent idiopathic scoliosis: how much of a difference does surgeon experience make? *Eur Spine J*. 2010;19(1):91-5. DOI: 10.1007/s00586-009-1183-6.
21. Abul-Kasim K, Strömbeck A, Ohlin A, Maly P, Sundgren PC. Reliability of low-radiation dose CT in the assessment of screw placement after posterior scoliosis surgery, evaluated with a new grading system. *Spine* 2009;34(9):941-8. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819b22a4.
22. Yoshihara H, Paulino CB. Radiation Exposure to the Surgeons and Patients in Fluoroscopic-Guided Segmental Pedicle Screw Placement for Pediatric Scoliosis. *Spine* 2018;43(23):E1398-E1402. DOI: 10.1097/BRS.00000000000002718.