

Caso clínico

doi: 10.35366/106761

Tratamiento de deformidad severa de la columna vertebral con modelos de impresión 3D

Treatment of severe spinal deformity with 3D printing models

Evia-Cabral RG,* Hermida-Ochoa EH,[‡] Benavides-Rodríguez D,[§]
Cuevas-Andrade JL,[¶] Uribe-Cortés TB,^{||} Hermida-Ochoa JC**

Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo».

RESUMEN. Introducción: La escoliosis es una deformidad compleja que afecta los tres planos del eje de la columna vertebral. La asociación entre patología neuromuscular y la alineación vertebral fue descrita inicialmente en 1960. La patología neuromuscular es progresiva y resulta en anomalías posturales. Las metas quirúrgicas en pacientes con deformidad neuromuscular engloban la corrección anatómica para la sedestación y deambulación, así como mejoría funcional. El estándar de oro de tratamiento es por vía posterior con tornillos transpediculares. La técnica de «manos libres» ahorra tiempo quirúrgico, disminuye la radiación al reducir el uso de fluoroscopía. El advenimiento de la tecnología de impresión 3D permite estudio preciso del área anatómica y detalle de la deformidad en sus tres planos. Este modelo puede ser esterilizado para guía transoperatoria. Paciente femenino de 13 años de edad que desarrolla escoliosis neuromuscular toracolumbar secundario a parálisis cerebral infantil (PCI) espástica, con instrumentación previa T11-L3 de la cual desarrolla curva severa proximal. Finalizada la segmentación del modelo tridimensional se detectó

ABSTRACT. Introduction: Scoliosis is a complex deformity that affects all three planes of the axis of the spine. The association between neuromuscular pathology and vertebral alignment was initially described in 1960. Neuromuscular pathology is progressive and results in postural abnormalities. Surgical goals in patients with neuromuscular deformity include anatomical correction for sedation and ambulation, as well as functional improvement. The gold standard of treatment is by posterior approach with transpedicular screws. The «hands-free» technique saves surgical time, decreases radiation by reducing the use of fluoroscopy. The advent of 3D printing technology allows precise study of the anatomical area and detail of the deformity in its three planes. This model can be sterilized for transoperative guidance. A 13-year-old female patient who develops thoracolumbar neuromuscular scoliosis secondary to spastic cerebral palsy (CP), with previous instrumentation T11-L3 of which he develops severe proximal curve. After the segmentation of the three-dimensional model, pedicle violation greater than 2 mm towards bilateral medullary

* Residente de la Alta Especialidad en Cirugía de Columna. Facultad Mexicana de Medicina de la Universidad La Salle México con sede en el Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo». México.

[‡] Director General y Cirujano de Columna del Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo». México.

[§] Subdirector y Cirujano de Columna del Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo». México.

[¶] Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica de la Sección de Estudios de Postgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional. México.

^{||} Maestra en Ciencias, Asistente de Investigación del Centro de Investigación y Laboratorio de Biomecánica (CILAB) del Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo». México.

** Director del Centro de Investigación y Laboratorio de Biomecánica (CILAB) del Hospital de Ortopedia para Niños «Dr. Germán Díaz Lombardo». México.

Correspondencia:
Ramon Guillermo Evia-Cabral
Carmen No. 18, Col. Chimalistac, C.P. 01070, Álvaro Obregón, Ciudad de México, México.
E-mail: ramoneviacabral@gmail.com

Recibido: 10-02-2020. Aceptado: 05-01-2022.

Citar como: Evia-Cabral RG, Hermida-Ochoa EH, Benavides-Rodríguez D, Cuevas-Andrade JL, Uribe-Cortés TB, Hermida-Ochoa JC. Tratamiento de deformidad severa de la columna vertebral con modelos de impresión 3D. Acta Ortopopédica Mexicana 2022; 36(1): 58-63. https://dx.doi.org/10.35366/106761



www.medigraphic.com/actaortopedica



violación pedicular mayor a 2 mm hacia canal medular bilateral en los pedículos de L1 y L2 de instrumentación previa, displasia pedicular y se observaron las características morfológicas de los pedículos. La planeación tridimensional y el uso de guías quirúrgicas representan una herramienta para la planeación quirúrgica, sobre todo en casos severos y con displasia pedicular. Ayuda como guía quirúrgica para la colocación de tornillos transpediculares a manos libres con posible reducción de radiación y tiempo anestésico.

Palabras clave: Escoliosis, cirugía, modelos 3D, planeación preoperatoria.

canal was detected in the pedicles of L1 and L2 of previous instrumentation, pedicle dysplasia and the morphological characteristics of the pedicles were observed. Three-dimensional planning and the use of surgical guides represent a tool for surgical planning, especially in severe cases and with pedicle dysplasia. It helps as a surgical guide for the placement of hands-free transpedicular screws with possible reduction of radiation and anesthetic time.

Keywords: Scoliosis, surgery, 3D models, preoperative planning.

Introducción

La escoliosis es una deformidad compleja que afecta los tres planos del eje coronal, sagital y axial de la columna vertebral.¹ Corresponde a la patología espinal más frecuente y afecta de 1 a 3% de los niños de los 10 a los 16 años.² La asociación entre patología neuromuscular y la alineación vertebral fue descrita inicialmente en 1960 y hasta la fecha continúa controversial.³ La patología neuromuscular es usualmente progresiva y comúnmente resulta en anormalidades posturales.⁴ Las metas quirúrgicas en pacientes con deformidad escoliótica neuromuscular incluyen no sólo la corrección anatómica, sino mejoría de calidad de vida, condiciones de manejo del paciente en términos musculoesqueléticos que incluyen postura para la sedestación y postural, mejoría de función respiratoria y gastrointestinal, así como mejoría del dolor.^{3,5} La clasificación de las deformidades de la columna secundario a escoliosis ha evolucionado con base en el tipo y estructuración de la curva escoliótica, las clasificaciones morfológicas actuales clasifican la deformidad con base en un modelo bidimensional y da la pauta para la elección de los niveles de fusión en el manejo quirúrgico;

incluye por primera vez el plano sagital y curvas toracolumbares estructuradas simples.⁶

Esta modificación, tomando en cuenta la dirección de entrada pedicular y el plano sagital, determina el ángulo transverso pedicular, el cual confiere menor probabilidad de penetración del cuerpo vertebral, mayor seguridad, estabilidad y se estima el incremento de la estabilidad en 20% descrita con la variante de entrada (*Figura 1*).⁷

En la actualidad el estándar de oro de tratamiento para la escoliosis es un constructo para corregir y estabilizar la deformidad escoliótica y puede constar de tornillos, ganchos, cable, barras y travesaños.⁸ Los tornillos transpediculares representan el componente de fijación más utilizado en la cirugía de columna, pues otorgan una fijación estable para colocar las barras de estabilización. La técnica preferida para la colocación de tornillos transpediculares es la de «manos libres», pues ahorra tiempo quirúrgico y disminuye la radiación al prescindir del brazo fluoroscópico.^{8,9} Sin embargo, esta técnica podría no ser óptima cuando se usa en el tratamiento de deformidades estructurales que alteran la topología anatómica normal de la columna, como el caso de la displasia pedicular, en la cual la relación corticomedular del pedículo impide la inserción habitual de los tornillos transpediculares (*Figura 2*).^{1,10}

En los casos donde el pedículo presenta grados de displasia pedicular avanzados tipo C y D el cirujano previa planificación quirúrgica puede optar por la inserción yuxtapedicular del pedículo, esto es con una violación intencionada de la cortical lateral para la inserción del tornillo (*Figura 3*).

Existe tecnología como los sistemas de navegación que permiten la guía digital de la colocación de tornillos en el pedículo; sin embargo, este recurso es de alto costo y muchas veces fuera del alcance de grupos económicos de bajo desarrollo. El advenimiento de la tecnología de impresión 3D permite la elaboración de modelos anatómicos tridimensionales que han sido utilizados como parte de la planeación operatoria en columna.⁸ La obtención de modelos tridimensionales a partir de estudios tomográficos mediante segmentación de imágenes permite el estudio del área anatómica de interés y conocer la deformidad en sus tres planos, así como la medición de los pedículos donde se intenta colo-

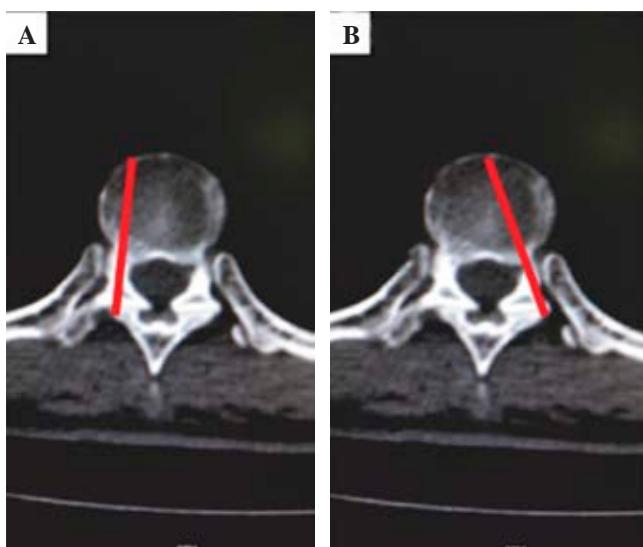
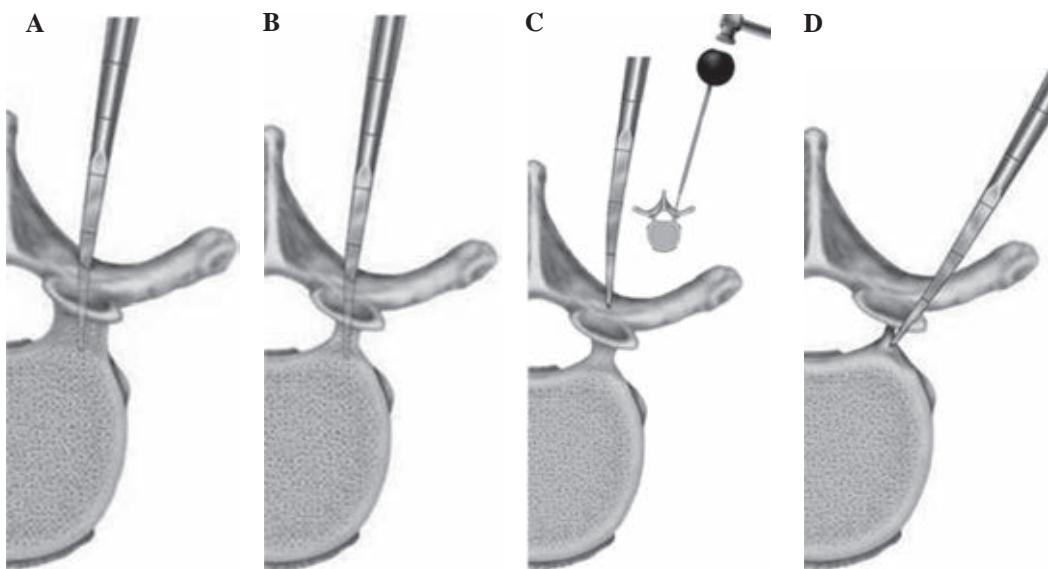
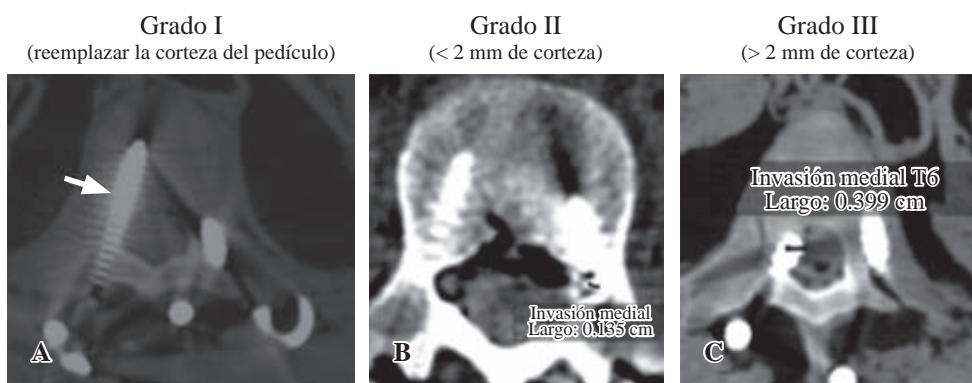


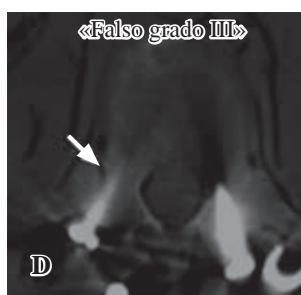
Figura 1: Variación de entrada pedicular.

**Figura 2:**

Grados de displasia pedicular en relación corticomédula.



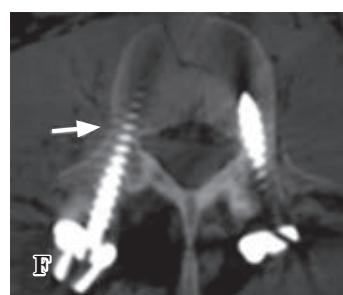
Rotura lateral intencionada de la columna torácica



Rotura lateral no intencional



Tornillo bien posicionado

**Figura 3:**

Tipos de invasión del pedículo.

car tornillos.¹¹ Este modelo numérico puede ser impreso en un modelo de polímero que se esteriliza para servir de guía transoperatoria.^{4,12}

Caso clínico

Se presenta un caso de paciente femenina de 13 años, con antecedentes de prematuridad y bajo peso al nacer, parálisis cerebral infantil con hemiplejia espástica derecha. La paciente desarrolló escoliosis de etiología neuromuscular con vértice espacio T12-L1 y que le condiciona dificultad

para la marcha y la movilización. En 2018 es intervenida fuera de nuestra institución mediante instrumentación y artrodesis posterior de L3 a T11. Posterior al evento quirúrgico evoluciona con disminución de capacidad de marcha, marcha agazapada, así como disminución de fuerza muscular en grupo de flexores de cadera. La paciente es derivada al Servicio de Columna de nuestro hospital donde se realiza valoración y denota progresión de la curva escoliótica a partir del punto superior de instrumentación previa, la cual se clasifica con base en las condiciones de curva en región torácica T12-T11. La valoración neurológica presenta fuer-

za muscular derecha de L2 hacia distal 2/5 en la escala de Daniels, reflejos osteotendinosos rotuliano y Aquileo ausente bilateral. La paciente es propuesta para tratamiento quirúrgico consistente en instrumentación y corrección de la deformidad escoliótica del nivel T3 al L5 (*Figura 4*).

Segmentación tomográfica y planeación preoperatoria e impresión del modelo: a partir de la tomografía axial de la paciente, se obtuvo un modelo tridimensional estereolitográfico mediante un software de segmentación (IP Scanner) y posteriormente fue importado a un software de manipulación y medición de estereolitografías (Rhino-ceros 3D), donde se realizó el análisis morfológico visual para detectar displasia pedicular y la medición del diámetro transversal de cada uno de los pedículos en los niveles de T3 a L5. Posterior al análisis del modelo virtual se procesó el archivo estereolitográfico para impresión 3D, al cual se

le asignaron propiedades de solidez interna parcial de 20% para evitar un peso excesivo y una resolución superficial de 0.19 mm para permitir la fácil visualización de la topología (*Figura 5*). El material utilizado consistió en un polímero tipo ABS (Z-ULTRAT, Zortrax). El modelo fue impreso en dos segmentos, superior e inferior, para facilitar el manejo en quirófano. Se utilizó una impresora de última generación (Zortrax 300). El modelo es lavado en un detergente enzimático y enviado a quirófano para su esterilización en gas, óxido de etileno (*Figura 6*).

Finalizada la segmentación del modelo tridimensional virtual de la columna escoliótica, a la inspección visual se detectó violación pedicular mayor a 2 mm hacia canal medular bilateral en los pedículos de L1 y L2 producidas en la instrumentación previa. La impresión del modelo 3D también mostró la violación pedicular mencionada, por lo que

Figura 4:

A) Radiografía con instrumentación lumbar previa. Se observa formación de curva escoliótica en segmento proximal de la instrumentación. **B)** Reconstrucción tridimensional de tomografía axial computarizada. Se observan datos de fusión de la porción instrumentada.

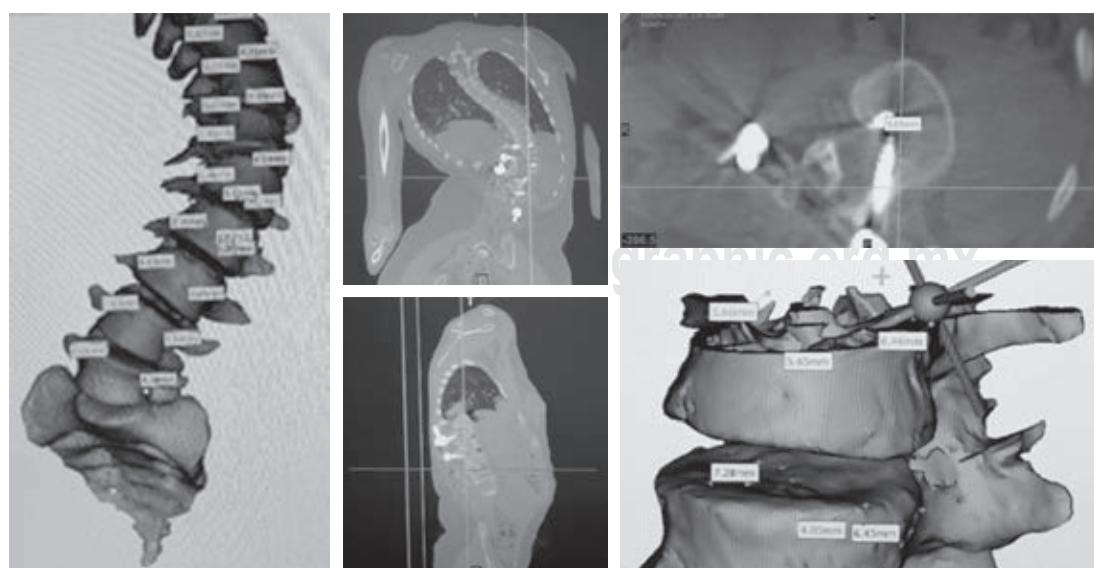


Figura 5:

Segmentación a partir de tomografía con reconstrucción 3D. Se realizan mediciones y características por nivel vertebral.

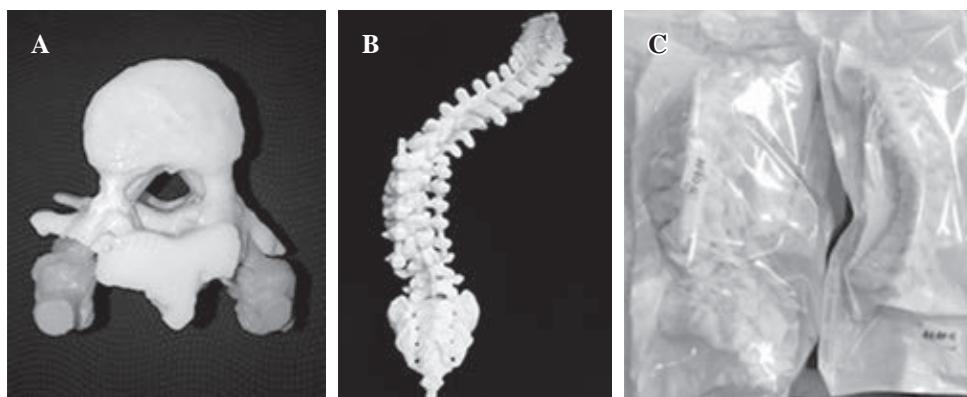


Figura 6:

A) Impresión de segmento L1-L2 donde se observa invasión de canal medular. **B)** Impresión completa de modelo 3D escala 1:1. **C)** Modelo segmentado en parte superior e inferior y posterior a esterilización para uso transquirúrgico.

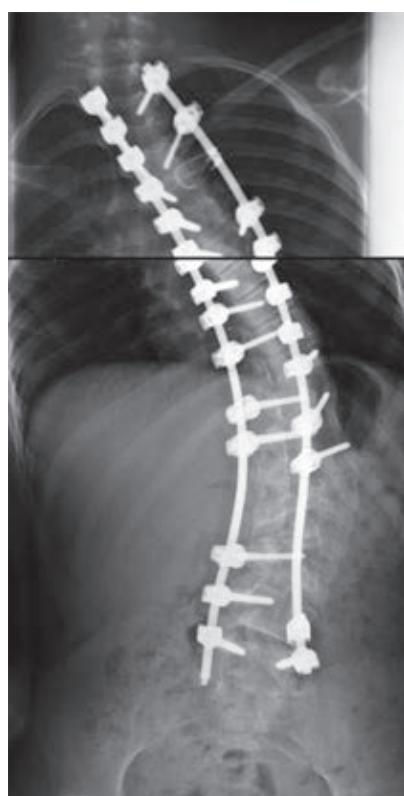


Figura 7:

Radiografía simple compuesta de dos imágenes que muestra el resultado post instrumentación donde se aprecia una corrección de 50% de la deformidad en general. La corrección inicial de 95 grados se dificultó aún más por la fusión preexistente de los segmentos lumbares de la primera cirugía.

se decidió imprimir un modelo extra, conteniendo sólo este segmento de L1 y L2, mostrando los tornillos en un color diferente al del modelo óseo para corroborar su ubicación y grado de violación. El evento quirúrgico se realizó con monitorización con potenciales evocados somatosensoriales de miembros torácicos y pélvicos que dieron una lectura basal con captación menor de 50% en los niveles L1-L2 de predominio derecho, por lo que se realiza el retiro de tornillos transpediculares en niveles de violación en L1 y L2 bilateral en los cuales no se recoloca fijación pedicular. Se realizó instrumentación de T3 hacia L5 con técnica a manos libres siguiendo las mediciones del diámetro pedicular y su orientación sagital previamente medidas. La guía quirúrgica tridimensional fue utilizada durante la cirugía para facilitar la orientación espacial topográfica del cirujano. En los nive-

les con displasia pedicular en T4 a T5 derechos se decidió colocar fijación con alambre Atlas. Para la corrección de las curvas se realizaron osteotomías de resección facetaria parcial, tipo 1 en la clasificación descrita por Schwab (Smith-Petersen)¹³ de la región cóncava de la curva desde T9 hacia T3 derecho y T9-T6 vértice izquierdo. El tiempo quirúrgico fue de 480 minutos, con sangrado cuantificado en 700 cm³, tiempo de fluoroscopio de 2.30 minutos. Diez días después de la cirugía la paciente evoluciona con mejoría neurológica con fuerza muscular 4/5 y presencia de reflejos rotulianos y Aquileo disminuidos (*Figura 7*).

Discusión

Las deformidades escoliáticas neuromusculares severas representan un reto en el tratamiento quirúrgico debido a su complejidad estructural tridimensional. Es indispensable que se haga un análisis exhaustivo del caso clínico y se haga la clasificación correcta para poder brindar un tratamiento adecuado. En el presente caso, es evidente que la corrección inicial de la escoliosis no fue suficiente y la violación pedicular provocada a canal medular probablemente agravó el estado neurológico de la paciente. La detección de la violación de los pedículos a nivel de L1 y L2 bilateral mediante el análisis tridimensional con la segmentación y el modelo impreso permitieron decidir sobre el retiro de los tornillos a esos niveles, con la consecuente mejoría neurológica postoperatoria. La inserción a manos libres de los tornillos transpediculares fue con mayor seguridad al contar con la orientación y tamaño de los pedículos previamente medidos y al tener en su mano una réplica tridimensional del segmento espinal que estaba instrumentando y logramos reducir a la mitad el tiempo de exposición a radiación promedio de este tipo de intervención en nuestro hospital.

La planeación tridimensional y el uso de guías quirúrgicas tridimensionales representan una nueva herramienta para decidir el tipo de material y configuración de la instrumentación, sobre todo en casos de deformidad como en la escoliosis severa. Puede ayudar al cirujano a realizar la colocación de tornillos transpediculares con la técnica de manos libres y reducir el tiempo de radiación y anestesia durante el acto quirúrgico.

Referencias

1. Davis CM, Grant CA, Pearcy MJ, Askin GN, Labrom RD, Izatt MT, et al. Is there asymmetry between the concave and convex pedicles in adolescent idiopathic scoliosis? A CT investigation. *Clin Orthop Relat Res.* 2017; 475(3): 884-93.
2. Gao B, Gao W, Chen C, Wang Q, Lin S, Xu C, et al. What is the difference in morphologic features of the thoracic pedicle between patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects? A CT-based case-control Study. *Clin Orthop Relat Res.* 2017; 475(11): 2765-74.
3. Protopsaltis TS, Boniello AJ, Schwab FJ. Management of spinal deformity in adult patients with neuromuscular disease. *J Am Acad Orthop Surg.* 2016; 24(9): 634-44.
4. Ferrero E, Skalli W, Lafage V, Maillot C, Carlier R, Feydy A, et al. Relationships between radiographic parameters and spinopelvic muscles in adult spinal deformity patients. *Eur Spine J.* 2020; 29: 1328-39.
5. Mary P, Servais L, Vialle R. Neuromuscular diseases: diagnosis and management. *Orthop Traumatol Surg Res [Internet].* 2018; 104(1): S89-95. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2017.04.019>
6. Lenke LG, Edwards CC 2nd, Bridwell KH. The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: how it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003; 28(20): S199-207.
7. Sun Z, Yang K, Chen H, Sui T, Yang L, Ge D, et al. A novel entry point for pedicle screw placement in the thoracic spine. *J Biomed Res.* 2017; 32(2): 123-9.
8. Cerpa M, Tuchman A, Tan LA, Lenke LG, Lehman Jr RA, Yermenli K, et al. Utilization of the 3D-printed spine model for freehand pedicle screw placement in complex spinal deformity correction. *J Spine Surg.* 2018; 4(2): 319-27.
9. Ege T, Bilgic S, Koca K, Oguz E, Kilic E, Kose O, et al. Fluoroscopy for transpedicular screw placement in scoliosis: to what extent can radiation exposure be reduced by the freehand technique? *Turk Neurosurg.* 2013; 23(3): 344-8.
10. Kim YJ, Lenke LG, Cheh G, Riew KD. Evaluation of pedicle screw placement in the deformed spine using intraoperative plain radiographs: a comparison with computerized tomography. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005; 30(18): 2084-8.
11. Alpizar-Aguirre A, Cabrera-Aldana EE, Rosales-Olivares LM, Zárate-Kalfópolos B, Gómez-Crespo S, Reyes-Sánchez AA. A new technique of pedicle screw placement with the use of sequential multilevel navigation templates based on patient-specific 3D CT reconstruction model: applicability in spine deformity. *Acta Ortop Mex.* 2017; 31(6): 312-8.
12. Garg B, Gupta M, Singh M, Kalyanasundaram D. Outcome and safety analysis of 3D-printed patient-specific pedicle screw jigs for complex spinal deformities: a comparative study. *Spine J.* 2019; 19(1): 56-64.
13. Diebo B, Liu S, Lafage V, Schwab F. Osteotomies in the treatment of spinal deformities: indications, classification, and surgical planning. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014; 24 Suppl 1: S11-20.