

Cambios en la lordosis lumbar luego de una artrodesis vertebral posterior de la columna torácica y su relación con la incidencia pelviana

MIGUEL PUIGDEVALL, SANTIAGO BOSIO, CAROLINA HALLIBURTON,
JORGE HOKAMA, RUBEN MAENZA

Centro de Escoliosis Pediátrica, Hospital Italiano de Buenos Aires

Recibido el 6-10-2014. Aceptado luego de la evaluación el 4-5-2015 • Dr. MIGUEL PUIGDEVALL • miguel.puigdevall@hospitalitaliano.org.ar

Resumen

Objetivo: Evaluar las variables del plano sagital en pacientes con escoliosis idiopática del adolescente tratados mediante una artrodesis vertebral posterior instrumentada con tornillos pediculares y establecer relaciones entre ellas.

Materiales y Métodos: Se evaluó retrospectivamente a 20 pacientes. Se compararon los cambios en la lordosis cervical, la cifosis torácica, la lordosis lumbar, la incidencia pelviana, el balance sagital global y la cifosis de la unión proximal en los espinogramas preoperatorio, posoperatorio inmediato y a los dos años de la cirugía. Se correlacionaron los cambios en la lordosis lumbar con la cifosis torácica y la incidencia pelviana.

Resultados: Se observó una disminución significativa en la cifosis torácica y en la lordosis lumbar en el espinograma posoperatorio inmediato. Ambos parámetros mostraron un aumento en el espinograma a los dos años. Se halló un aumento significativo en la cifosis de la unión proximal y en la lordosis cervical entre el preoperatorio y el posoperatorio a los dos años. La única correlación posoperatoria significativa fue entre la lordosis lumbar y la incidencia pelviana en el espinograma a los dos años de la cirugía.

Conclusiones: La artrodesis vertebral posterior instrumentada con tornillos pediculares en curvas Lenke 1 provoca una reducción posoperatoria de la cifosis torácica y de la lordosis lumbar, y un aumento posoperatorio de la lordosis cervical y de la cifosis de la unión proximal. A los dos años, se observó un aumento de la lordosis lumbar no instrumentada, y que dicha lordosis lumbar se correlaciona significativamente con la incidencia pelviana.

Palabras clave: Lordosis lumbar; artrodesis vertebral posterior; escoliosis idiopática del adolescente; tornillos pediculares.

Nivel de Evidencia: IV

CHANGES IN LUMBAR LORDOSIS AFTER FURTHER SPINAL FUSION OF THORACIC SPINE AND ITS RELATIONSHIP TO PELVIC INCIDENCE

Abstract

Objective: To evaluate the sagittal profile variables in patients with adolescent idiopathic scoliosis who underwent selective thoracic posterior spinal instrumentation and fusion with pedicle screws and to determine relationships among them.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

Methods: Twenty consecutive patients were retrospectively evaluated. Changes in cervical lordosis, thoracic kyphosis, proximal junctional kyphosis, lumbar lordosis, pelvic incidence and global sagittal balance were compared in standing lateral radiographs performed before surgery, at the immediate postoperative period, and two years after surgery. Changes in postoperative lumbar lordosis were correlated with changes in thoracic kyphosis and pelvic incidence.

Results: There was a significant decrease in thoracic kyphosis and lumbar lordosis between preoperative and immediate postoperative radiographs, but both parameters showed an increase in the radiographs two years later. A significant increase in proximal junctional kyphosis and cervical lordosis was also found between preoperative and 2-year postoperative radiographs. The only significant postoperative correlation found was between lumbar lordosis and pelvic incidence at 2-year follow-up control.

Conclusions: Posterior spinal instrumentation and fusion with pedicle screws in Lenke type 1 deformities reduces thoracic kyphosis and lumbar lordosis, and increases cervical lordosis and proximal junctional kyphosis. Uninstrumented lumbar lordosis increased at 2-year follow-up and it is strongly related to the pelvic incidence.

Key words: Lumbar lordosis; posterior spinal fusion, adolescent idiopathic scoliosis, pedicle screws.

Level of Evidence: IV

Introducción

La escoliosis idiopática del adolescente (EIA) produce una deformidad de la columna vertebral en los tres planos del espacio. El objetivo de su tratamiento quirúrgico consiste en corregir esta deformidad mediante una artrodesis vertebral sólida y estable que se encuentre bien balanceada en estos tres planos: frontal, sagital y axial. Los primeros instrumentales utilizados corregían la escoliosis mediante una distracción posterior de la columna que mejoraba el plano frontal a expensas de una pérdida de las cifosis y lordosis normales de la columna.¹ Los instrumentales actuales realizan una fijación vertebral segmentaria que permite la corrección del plano frontal por vía posterior, al mismo tiempo que recuperan el balance sagital y axial normal de la columna.

Los tornillos pediculares han ganado, en estos últimos años, mucha popularidad para la fijación segmentaria de la columna por vía posterior. Una de las consecuencias del uso de tornillos pediculares es el efecto lordotizante que se produce en la columna torácica.²⁻⁴ Esto probablemente tenga que ver con la mayor corrección y elongación que se produce en el plano frontal con esta instrumentación en relación con otros sistemas de fijación.^{2,3} Algunos autores^{4,5} sugirieron que esta lordotización de la columna torácica produciría una pérdida de la lordosis normal de la columna lumbar no instrumentada. En sus trabajos, concluyen en que, al fusionar la columna torácica, es fundamental preservar la cifosis torácica para mantener una lordosis lumbar normal. Por el contrario, otros autores sostienen que la lordosis lumbar depende más de la incidencia pelviana propia de cada paciente que de la cifosis torácica, tanto en pacientes sin deformidad espinal,⁶ como en pacientes con EIA⁷ y en aquellos que fueron sometidos a una artrodesis vertebral posterior (AVP) instrumentada de la columna torácica por una EIA.⁸

El objetivo de este trabajo fue evaluar las variables del plano sagital en pacientes con EIA que fueron operados mediante una AVP instrumentada con tornillos pediculares y establecer la existencia de relaciones entre ellas.

Materiales y Métodos

En este estudio, se incluyeron: 1) pacientes con diagnóstico de EIA y curvas torácicas Lenke 1,⁹ 2) tratados en forma quirúrgica mediante una AVP instrumentada con tornillos pediculares, 3) cuya última vértebra instrumentada fue T12 o L1, 4) con un seguimiento posoperatorio mínimo >2 años y 5) tres espinogramas digitales (realizados antes de la cirugía, en el posoperatorio inmediato y a los dos años de la intervención) que incluyan la columna cervical completa y ambas cabezas femorales. Se excluyó a los pacientes que: 1) tenían una cirugía de columna previa, 2) fueron sometidos a una vía anterior sumada a la vía posterior, 3) tenían alteraciones de cadera, pelvis o discrepancia de miembros inferiores y 4) presentaban una espondilosis o espondilolistesis asociada.

Para el análisis radiográfico, se incluyeron los espinogramas digitales tomados en la posición de perfil: 1) inmediatamente antes de la cirugía, 2) dentro del primer mes luego de la AVP instrumentada y 3) a los dos años de la cirugía. Los parámetros analizados en el plano sagital fueron: 1) el balance sagital global respecto de C7 y el ángulo posterosuperior del sacro, 2) la lordosis cervical desde el platillo caudal de C2 hasta al platillo caudal de C7, 3) la cifosis torácica desde el platillo cefálico de T5 hasta el platillo caudal de T12, 4) la lordosis lumbar del platillo cefálico de L1 al platillo cefálico de S1, 5) la incidencia pelviana y 6) la cifosis de la unión proximal de la instrumentación (del platillo caudal de la vértebra más cefálica instrumentada al platillo cefálico de dos vértebras proximales a la vértebra más cefálica instrumentada).

Se compararon los cambios ocurridos en cada uno de estos parámetros evaluados en el plano sagital, en los diferentes momentos del seguimiento posoperatorio (espinograma posoperatorio inmediato y a los dos años de la cirugía) con los valores medidos en el preoperatorio. Además, los cambios posoperatorios ocurridos en la lordosis lumbar se correlacionaron con los cambios posoperatorios en la cifosis torácica y en la incidencia pelviana, en cada una de las dos mediciones posoperatorias (inmediata y a los dos años).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa EPI Info versión 3.3.2, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Para el análisis estadístico comparativo de los resultados preoperatorios y posoperatorios, se empleó la prueba t de Student y, para la correlación entre los diferentes parámetros evaluados, el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados

Se evaluó, en forma retrospectiva, a 20 pacientes que cumplieron con los criterios (19 de sexo femenino y uno de sexo masculino). La edad promedio al momento de la cirugía fue de 14 años (rango de 10 a 25). Según la clasificación de Lenke,⁹ nueve pacientes tenían una variante lumbar A; seis, una variante lumbar B y cinco, una variante lumbar C. En el plano sagital, 14 pacientes presentaban una variante sagital torácica normal (cifosis torácica entre 10° y 40°) y seis, una variante sagital torácica positiva (cifosis torácica $>40^\circ$). El límite inferior de la instrumentación espinal fue T12 en tres pacientes y L1 en 17 pacientes. En dos pacientes, la fusión espinal comprometió nueve niveles vertebrales; en cinco casos, 10 niveles y en 13 pacientes, 11 niveles. Las técnicas de corrección utilizadas fueron las maniobras de desrotación de la barra,

modelado *in situ* de la barra, compresión-distracción segmentaria de los puntos de anclaje a la columna y la desrotación vertebral directa de los tornillos del ápex de la deformidad. Se utilizó una densidad promedio de implantes de 1,72 (rango de 1,63 a 1,91) por vértebra instrumentada.

En la Tabla 1, se detallan los resultados de las mediciones radiográficas preoperatorias y posoperatorias. Se halló un aumento significativo en la magnitud promedio de la lordosis cervical y de la cifosis de la unión proximal de $10,6^\circ$ y $7,3^\circ$, respectivamente, en la medición a los dos años de la cirugía. Nueve de los 20 pacientes (45%) tenían un aumento de la cifosis $>10^\circ$ entre el preoperatorio y el posoperatorio alejado a los dos años. También, se observó una pérdida significativa de la cifosis torácica de $9,4^\circ$ en el posoperatorio inmediato, que disminuyó a $5,5^\circ$ a los dos años, respecto de la magnitud promedio preoperatoria. En cuanto a la lordosis lumbar, esta también disminuyó, en forma significativa, unos $20,5^\circ$ en el posoperatorio inmediato, la pérdida mejoró a solo $7,9^\circ$ a los dos años de la intervención.

En las Tablas 2 y 3, se muestran las correlaciones entre las variables medidas en el posoperatorio inmediato y en el posoperatorio a los dos años, respectivamente. En las variables medidas en los espinogramas posoperatorios inmediatos, se observó una buena correlación entre la cifosis torácica y la lordosis lumbar. Además, se halló una

Tabla 1. Mediciones preoperatorias, posoperatorias inmediatas y a los dos años

	Preoperatorio	Posoperatorio inmediato		Posoperatorio a los dos años	
Lordosis cervical	$-4,2^\circ \pm 17,5^\circ$	$-6,5^\circ \pm 14,7^\circ$	$p = 0,57$	$-14,8^\circ \pm 17,3^\circ$	$p = 0,025$
Cifosis de la unión proximal	$5,1^\circ \pm 6,1^\circ$	$6,2^\circ \pm 6,7^\circ$	$p = 0,49$	$12,4^\circ \pm 5,1^\circ$	$p < 0,0001$
Cifosis torácica	$24,2^\circ \pm 10,4^\circ$	$14,8^\circ \pm 7,3^\circ$	$p < 0,0001$	$18,7^\circ \pm 6,9^\circ$	$p = 0,021$
Lordosis lumbar	$-60,3^\circ \pm 11,6^\circ$	$-39,8^\circ \pm 9,1^\circ$	$p < 0,00001$	$-52,4^\circ \pm 10^\circ$	$p = 0,0036$
Incidencia pelviana	$52,5^\circ \pm 13,2^\circ$	$49,6^\circ \pm 15^\circ$	$p = 0,16$	$49,6^\circ \pm 12,8^\circ$	
Balance sagital global	$-30,7 \pm 22,3$ mm	-3 ± 24 mm	$p = 0,0008$	$-20,8 \pm 28,1$ mm	$p = 0,12$

Tabla 2. Correlación entre las variables medidas en el espinograma posoperatorio inmediato

	Cifosis de la unión proximal	Cifosis torácica	Lordosis lumbar	Incidencia pelviana
Lordosis cervical	0,161	-0,6235 ($p = 0,0033$)	0,1305	-0,0781
Cifosis de la unión proximal		-0,1314	-0,3043	-0,1869
Cifosis torácica			-0,1277	-0,436
Lordosis lumbar				-0,3466

Tabla 3. Correlación entre las variables medidas en el espinograma posoperatorio a los dos años

	Cifosis de la unión proximal	Cifosis torácica	Lordosis lumbar	Incidencia pelviana
Lordosis cervical	0,0164	-0,4265	0,0484	-0,0073
Cifosis de la unión proximal		-0,3278	-0,1127	0,1079
Cifosis torácica			-0,0241	-0,2861
Lordosis lumbar				-0,6107 (p = 0,0042)

correlación moderada entre la cifosis torácica y la incidencia pelviana. La correlación entre la cifosis torácica y la lordosis lumbar fue mínima. Entre la incidencia pelviana y la lordosis lumbar, la correlación fue baja.

Por último, a los dos años de la AVP, solamente se observó una correlación buena entre la incidencia pelviana y la lordosis lumbar. Hubo una correlación moderada entre la cifosis torácica y la lordosis cervical, y una correlación baja entre la cifosis torácica y la cifosis de la unión proximal, y entre la cifosis torácica y la incidencia pelviana. Entre la cifosis torácica y la lordosis lumbar, la correlación fue mínima.

Discusión

En nuestra serie de 20 pacientes con EIA tratados mediante una AVP instrumentada con tornillos pediculares, se observó una disminución significativa de la cifosis torácica y de la lordosis lumbar en el espinograma posoperatorio inmediato. Varios autores han publicado sobre el efecto lordotizante que se produce en la columna torácica cuando se emplean tornillos pediculares por vía posterior.²⁻⁴ Sin embargo, ese efecto lordotizante sobre la columna torácica también se observó cuando se usaron otros sistemas de fijación por vía posterior, tanto en sistema híbridos,² como cuando se utilizaron solamente ganchos pediculares y laminares en todos los puntos de fijación de la columna.¹⁰ Este efecto lordotizante a nivel de la columna torácica de las correcciones por vía posterior fue propuesto ya por Newton y cols.⁴ y estaría relacionado con la elongación de la columna que se realiza al corregir la deformidad con instrumentaciones posteriores. Siguiendo esta línea de pensamiento, es esperable que los tornillos pediculares sean lordotizantes a nivel de la columna torácica, ya que, con ellos, se consiguen correcciones muy importantes en el plano frontal,^{2,11} con una mayor elongación de la columna y, en consecuencia, un mayor efecto lordotizante. Ocurre lo contrario cuando se instrumenta la columna por vía anterior, corrigiendo la deformidad mediante un acortamiento de la columna y logrando entonces una mayor cifosis de la columna torácica,^{10,12,13}

En nuestra serie, se observó que tanto la cifosis torácica como la lordosis lumbar mostraron un aumento en el espinograma realizado a los dos años de la AVP. Este

aumento fue mayor en la lordosis lumbar (12,6°) que en la cifosis torácica (3,9°). Otros estudios mostraron también un aumento en estos dos parámetros tras algunos años de la artrodesis posterior.^{4,5} Incluso, estos autores relacionaron estos cambios en la lordosis lumbar no instrumentada con los cambios que se producen a nivel de la columna torácica instrumentada. Concluyeron en que la pérdida de la lordosis lumbar, tanto en el posoperatorio inmediato como a los dos años de la intervención, sería una consecuencia de la pérdida de cifosis torácica en estos pacientes.^{4,5} Newton y cols.⁴ comunican una correlación baja ($r = 0,3$) en el posoperatorio inmediato y moderada ($r = 0,4$) a los dos años de la cirugía. Por su parte, Khakinahad y cols.⁵ hallaron entre estos valores una correlación moderada tanto en el posoperatorio inmediato ($r = 0,47$) como a los dos años ($r = 0,5$). En nuestra serie, hallamos una correlación mínima entre estos dos valores en los espinogramas posoperatorios inmediatos ($r = 0,1277$) y a los dos años de la cirugía ($r = 0,0241$). En nuestros pacientes, los cambios en la lordosis lumbar posoperatoria tuvieron una mejor correlación con la incidencia pelviana ($r = 0,3466$ en el posoperatorio inmediato y $r = 0,6107$ a los dos años) que con la cifosis torácica. Los dos estudios antes citados^{4,5} no midieron la incidencia pelviana de los pacientes de sus series y, por ende, no correlacionaron los cambios ocurridos en la lordosis lumbar con ese parámetro, para poder entonces comparar la correlación entre lordosis lumbar e incidencia pelviana con la que reportaron entre cifosis torácica y lordosis lumbar. A diferencia de estos dos trabajos, Tanguay y cols.⁸ publicaron un estudio en el que, además de la cifosis torácica y la lordosis lumbar, también evaluaron la incidencia pelviana y, al igual que en los resultados de nuestra serie, encontraron una mayor correlación entre la incidencia pelviana y los cambios posoperatorios ocurridos en la lordosis lumbar ($r = 0,67$) que entre los cambios de la lordosis lumbar y los de la cifosis torácica posoperatoria ($r = 0,12$). Concluyen en que cada paciente tiene un valor individual de lordosis lumbar que depende fundamentalmente de la geometría pelviana propia. Siguiendo este concepto, es posible que esta pérdida inicial de la lordosis lumbar se asocie más con la vía posterior y el abordaje a través de los músculos paravertebrales, que con la instrumentación utilizada o la pérdida de cifosis torácica posoperatoria. Asimismo, es posible que

también estén involucrados en esta pérdida posoperatoria inmediata de la lordosis lumbar otros factores no analizados, porque, en el estudio de Newton y cols.,⁴ se observó también esta pérdida en la lordosis lumbar posoperatoria inmediata en el grupo de pacientes tratados mediante una vía anterior que cifotizó la columna torácica en el posoperatorio inmediato.

En nuestra serie, asimismo, se detectó un aumento significativo en el posoperatorio a los dos años, en la cifosis de la unión proximal y en la lordosis cervical, resultado que también ha sido reportado por otros autores.^{14,15} Estos cambios posiblemente se relacionen con la disminución de la cifosis torácica en el posoperatorio, ya que encontramos una correlación moderada entre los cambios ocurridos en la cifosis torácica y en la lordosis cervical ($r = 0,4265$) y baja entre la cifosis torácica y la cifosis de la unión proximal ($r = 0,3267$). La pérdida de la cifosis torácica posiblemente pueda ser compensada mediante un aumento de la cifosis de la unión proximal y de la lordosis cervical.

Los resultados obtenidos en nuestra población sugieren que los sectores de la columna que no fueron instrumentados luego de una artrodesis selectiva de la columna torácica tratan de compensar los cambios que ocurren en los sectores distales próximos. Es así que observamos que, si bien hay una pérdida posoperatoria inmediata de la lordosis lumbar, descrita por varios autores independientemente de la vía y el instrumental utilizado,^{4,5,10} posteriormente existe un aumento de la lordosis lumbar intentando alcanzar el valor preoperatorio. Estos cambios en nuestra población tenían una buena correlación con la incidencia pelviana propia de cada paciente y casi nula con su cifosis torácica posoperatoria. Sería interesante reevaluar a estos pacientes dentro de unos años para constatar si la lordosis lumbar sigue aumentando hasta finalmente llegar a los valores preoperatorios. Aunque parece que los cambios en la

cifosis torácica no tienen relación con los ocurridos en la lordosis lumbar, sí parecería que estos condicionarían un aumento de la cifosis de la unión proximal y de la lordosis cervical, ya que en nuestros pacientes, la pérdida de cifosis torácica en el posoperatorio tuvo una mejor correlación con el aumento de la lordosis cervical y de la cifosis de la unión proximal que con los cambios posoperatorios en la lordosis lumbar. Este mismo trabajo debería ser repetido en una población de pacientes operados mediante distintas vías de abordaje y diferentes instrumentaciones, para corroborar que los cambios y las correlaciones observados en este estudio se reproducen en poblaciones tratadas de manera diferente.

Este estudio fue realizado en forma retrospectiva, por lo que, si bien todas las radiografías fueron tomadas en el mismo Centro de Diagnóstico por Imágenes, puede haber habido pequeñas variaciones en la posición de los pacientes que podrían alterar los resultados de las mediciones. Otra de las debilidades es el número bajo de pacientes, pero priorizamos realizar un estudio con una población consecutiva bien uniforme, en la cual todos fuesen operados por el mismo equipo quirúrgico y con la misma técnica quirúrgica.

Conclusiones

La AVP instrumentada con tornillos pediculares en pacientes con curvas Lenke 1 provoca una reducción posoperatoria de la cifosis torácica y de la lordosis lumbar, y un aumento posoperatorio de la lordosis cervical y de la cifosis de la unión proximal. En las radiografías tomadas a los dos años de la cirugía, se observó un aumento de la lordosis lumbar no instrumentada respecto del valor posoperatorio inmediato, y también que dicha lordosis lumbar se relaciona significativamente con la incidencia pelviana del paciente.

Bibliografía

1. La Grone MO. Loss of lumbar lordosis. A complication of spinal fusion for scoliosis. *Orthop Clin North Am* 1988;19(2):383-93.
2. Kim YJ, Lenke LG, Kim J, Bridwell KH, Cho SK, Cheh G, et al. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31(3):291-8.
3. Lowenstein JE, Matsumoto H, Vitale MG, Weidenbaum M, Gomez JA, Lee FY, et al. Coronal and sagittal plane correction in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between all pedicle screw versus hybrid thoracic hook lumbar screw constructs. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007;32(4):448-52.
4. Newton PO, Yaszay B, Upasani VV, Pawelek JB, Bastrom TP, Lenke LG, et al. Preservation of thoracic kyphosis is critical to maintain lumbar lordosis in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35(14):1365-70.
5. Khakinahad M, Ameri E, Ghandhari H, Tari H. Preservation of thoracic kyphosis is critical to maintain lumbar lordosis in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Acta Med Iran* 2012;50(7):477-81.
6. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthounaud E, Betz RR, Roussouly P. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16(2):227-34.
7. Mac-Thiong JM, Labelle H, Charlebois M, Huot MP, de Guise JA. Sagittal plane analysis of the spine and pelvis in adolescent idiopathic scoliosis according to the coronal curve type. *Spine (Phila Pa 1976)* 2003;28(13):1404-9.

8. Tanguay F, Mac-Thiong JM, de Guise JA, Labelle H. Relation between the sagittal pelvic and lumbar spine geometries following surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2007;16(4):531-6.
9. Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83(8):1169-81.
10. Sucato DJ, Agrawal S, O'Brien MF, Lowe TG, Richards SB, Lenke L. Restoration of thoracic kyphosis after operative treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a multicenter comparison of three surgical approaches. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(24):2630-6.
11. Jaquith BP, Chase A, Flinn P, Sawyer JR, Warner WC, Freeman BL, et al. Screws versus hooks: implant cost and deformity correction in adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop* 2012;6(2):137-43.
12. Betz RR, Harms J, Clements DH 3rd, Lenke LG, Lowe TG, Shufflebarger HL, et al. Comparison of anterior and posterior instrumentation for correction of adolescent thoracic idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24(3):225-39.
13. Rhee JM, Bridwell KH, Won DS, Lenke LG, Chotigavanichaya C, Hanson DS. Sagittal plane analysis of adolescent idiopathic scoliosis: the effect of anterior versus posterior instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27(21):2350-6.
14. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Kim J, Cho SK, Cheh G, et al. Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007;32(24):2731-8.
15. Legarreta CA, Barrios C, Rositto GE, Reviriego JM, Maruenda JI, Escalada MN, et al. Cervical and thoracic sagittal misalignment after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of all pedicle screws versus hybrid instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2014;39(16):1330-7.