



Abril-Junio 2025
Vol. 3, núm. 2 / pp. 97-106

Recibido: 10 de Diciembre de 2024
Aceptado: 15 de Enero de 2025

doi: 10.35366/119619



Moldeamiento de barras usando la clasificación de Roussouly en enfermedad degenerativa lumbar del adulto de segmento largo: reporte de caso y revisión de la literatura

Contoured rods using Roussouly classification in adult long-segment lumbar degenerative disease: a case report and literature review

Sergio Díaz Bello,^{*,†} Jesús Alberto Pérez Contreras,^{*,§} Diana Chávez Lizárraga,^{*,¶}
Pedro Arnulfo Chavira Ramos,^{*,||} Ricardo Axel Gómez López,^{*,**}
Ana Sofía Peña Blesa,^{*,††} Emmanuel Cantú Chávez,^{*,§§}

Palabras clave:
Roussouly, barras,
moldeamiento, deformidad
lumbar, equilibrio sagital.

Keywords:
*Roussouly, rods, contoured,
lumbar deformity,
sagittal balance.*

RESUMEN

Introducción: en cirugía de deformidad de columna vertebral se realiza el moldeado manual de las barras espinales. La mayoría de las veces no es preciso, objetivo ni reproducible. **Objetivo:** moldeamiento de la barra adaptado al tipo sagital específico de cada paciente de acuerdo con Roussouly y colaboradores. **Material y métodos:** los autores realizaron una búsqueda utilizando las bases de datos MEDLINE, PubMed y Google Scholar de la literatura disponible hasta el 2024, utilizando los siguientes términos: “Roussouly”, “barras”, “moldeamiento”, “deformidad lumbar”, “equilibrio sagital”. Luego, crearon pautas operativas para proponer una técnica diferente a las existentes, se puso en práctica con un caso clínico. **Resultados:** según la literatura revisada, los autores definieron los siguientes aspectos a considerar en un moldeamiento de barra espinal basados en: radiografías preoperatorias y transoperatorias, número de vértebras lordóticas, ápex de la curva lumbar y la transición toracolumbar objetiva para un Roussouly (definido por incidencia pélvica y pendiente sacra). Se realizó cirugía para corrección de deformidad coronal y sagital, se moldearon dos barras de cromo-cobalto basados en las características descritas. En la toma de medidas postoperatorias se obtuvo lordosis ideal para la incidencia pélvica y un moldeamiento de barra acorde a la morfología (Roussouly tipo 4) del paciente. **Conclusión:** el método planteado no se ha descrito en lo revisado de la literatura hasta el momento y otorga ventaja respecto a otras técnicas descritas, al contar con una referencia imagenológica preoperatoria y transoperatorias nos ayuda a adaptarlo al tipo ideal de columna.

ABSTRACT

Introduction: manual contoured spine rods is performed in spinal deformity surgery. Most of the time it is not precise, objective or reproducible. **Objective:** contoured rods adapted to the specific sagittal type

Citar como: Díaz BS, Pérez CJA, Chávez LD, Chavira RPA, Gómez LRA, Peña BAS, et al. Moldeamiento de barras usando la clasificación de Roussouly en enfermedad degenerativa lumbar del adulto de segmento largo: reporte de caso y revisión de la literatura. *Cir Columna*. 2025; 3 (2): 97-106. <https://dx.doi.org/10.35366/119619>



* Hospital Ángeles. México.
† Neurocirugía y Cirugía de Columna.
ORCID: 0009-0005-2350-8565
§ Neurocirugía y Cirugía de Columna.
ORCID: 0000-0001-8641-2150
¶ Medicina General e Investigación.
ORCID: 0009-0009-4931-2041
|| Traumatología y Ortopedia,
Cirugía de Columna. ORCID:
0009-0000-0909-7476
** Neurocirugía y Cirugía de
Columna.
ORCID: 0009-0005-0758-0911
†† Anestesia y Medicina del Dolor.
ORCID: 0009-0008-0519-3354
§§ Neurocirugía y Cirugía de
Columna. ORCID: 0009-
0000-6553-6840

Correspondencia:
Diana Chávez Lizárraga
E-mail: diancha@gmail.com

of each patient according to Roussouly et al. **Material and methods:** the authors performed research using the MEDLINE, PubMed and Google Scholar databases for the literature available until 2024, using the following terms: “Roussouly”, “Rods”, “contoured”, “Lumbar deformity”, “sagittal balance”. Then, they created operational guidelines to propose a new and different technique which was put into practice with a clinical case. **Results:** according to the literature reviewed, the authors defined the following aspects to consider for contoured spine rods based on preoperative and intraoperative radiographs: number of lordotic vertebrae, apex of the lumbar curve and the objective thoracolumbar transition for a Roussouly (defined by pelvic incidence and sacral slope). Surgery was performed to correct coronal and sagittal deformity, 2 chrome-cobalt rods were contoured based on the characteristics described. In the postoperative measurements, ideal lordosis was obtained for the pelvic incidence and contoured rods according to the morphology (Roussouly type 4) of the patient. **Conclusion:** the proposed method has not been described in the literature reviewed to date and provides an advantage over other described techniques, as having a preoperative and transoperative imaging reference it helps us to adapt it to the ideal type of spine.

Abreviaturas:

ASD = deformidad espinal del adulto (*Adult Spinal Deformity*)
 CoCr = cobalto-cromo
 DJF = falla de la unión distal (*Distal Joint Failure*)
 EVA = escala visual analógica
 GAP score = puntuación de alineación y proporción global (*Global Alignment and Proportion score*)
 LL = lordosis lumbar.
 PI-LL = incidencia pélvica menos lordosis lumbar (*Pelvic Incidence minus Lumbar Lordosis*)
 PJK = cifosis de la unión proximal (*Proximal Junctional Kyphosis*)
 PT = inclinación pélvica (*Pelvic Tilt*)
 SVA = eje vertical sagital (*Sagittal Vertical Axis*)

INTRODUCCIÓN

El equilibrio sagital es la base de la planificación preoperatoria en la deformidad espinal del adulto (ASD, por sus siglas en inglés). Los datos de la literatura han informado ampliamente sobre el impacto positivo de la realineación sagital en términos de puntuaciones de calidad de vida relacionada con la salud.¹

A pesar del desarrollo en las últimas décadas de herramientas específicas (barras, tornillos e implantes intervertebrales) y técnicas quirúrgicas (osteotomías), una gran proporción de pacientes permanecen subcorregidos después de la cirugía.² Un paso final en el manejo quirúrgico de estos pacientes es el doblado manual de las barras espinales, que la mayoría de las veces no es preciso ni reproducible.

Ya se ha publicado el uso de barras específicas para el paciente (PSR) utilizando software específicos y moldes con el fin de cambiar la planificación preoperatoria en una realidad postoperatoria y que han demostrado estar asociados a una mejor corrección de la deformidad, un menor riesgo de rotura de la varilla y una reducción del tiempo operatorio.³⁻⁵ Sin embargo, los resultados aún no dan a conocer un consenso sobre qué técnica es la más reproducible.

Los parámetros espinopélvicos, en especial la incidencia pélvica y la pendiente sacra, proporcionan la base para los tipos de columna descritas por Roussouly;⁶ sin embargo, para adaptar mejor la base anatómica de la clasificación es imperativo tomar en cuenta el número de vértebras lordóticas, la localización del ápex y la transición toracolumbar.⁷

Los tipos de columna lumbar de acuerdo con Roussouly, se ha vuelto un objetivo quirúrgico en cirugía de columna para disminuir el riesgo complicaciones mecánicas y reintervenciones,^{8,9} una imagen fidedigna, específica y reproducible de cada paciente para conocer de forma (número de vértebras lordóticas, ápex, transición, incidencia pélvica y pendiente sacra) es el estudio de rayos X preoperatorio y transoperatorio al que consideramos se debería adaptar el manejo de las barras después de realizar osteotomías o colocación de un soporte anterior.¹⁰

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue revisar la literatura disponible para moldear las barras espinales y proponer una técnica diferente adaptado al equilibrio sagital ideal individual de acuerdo con los tipos de columna lumbar descritos por Roussouly y colaboradores basados en plantillas de rayos X específicos del paciente preoperatorias y transoperatorias, así como analizar los resultados radiográficos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda utilizando las bases de datos MEDLINE, PubMed y Google Scholar de la literatura disponible hasta el 2024, utilizando los siguientes términos: “Roussouly”, “barras”, “moldeamiento”, “deformidad lumbar”, “equilibrio sagital”. Luego, crearon pautas operativas para proponer una técnica diferente a las existentes, se puso en práctica con un caso clínico.

Sólo se incluyeron artículos en idioma inglés de la población adulta. Se excluyeron los estudios relacionados con cirugía de columna tumoral o infecciosa.

Para ejemplificar la aplicabilidad de la técnica propuesta, presentamos el caso de una mujer de 68 años. Desde hace tres años sufría dolor lumbar mecánico de inicio progresivo que se manifestaba con limitación de la flexión y extensión lumbar; posteriormente se agregaron datos de radiculopatía bilateral y dificultada para deambular más de 250 metros.

Un año después presentó deformidad en cifosis (*Figura 1A*), y escoliosis (*Figura 1B*). Fue manejada con tratamiento conservador durante 12 meses consistente en antiinflamatorios no esteroideos orales, faja lumbar semirrígida y fisioterapia. Dicho tratamiento no alivió el dolor, lo que afectó gravemente su calidad de vida.

La paciente obtuvo una puntuación de 9 en la escala visual analógica (EVA) de 10 puntos y una escala de Oswestry de 64%. En la exploración física se encontró postura en cifosis con pérdida de lordosis lumbar, datos de radiculopatía L4, L5 y S1 bilateral y claudicación neurógena.

Evaluación preoperatoria

Las radiografías simples mostraron pérdida de la lordosis lumbar L1-L4 (12°), incidencia pélvica 67° , pendiente sacra 46° , inclinación pélvica 21.3° , lo que dio a conocer una clasificación tipo 4 de Roussouly. Presentó una lordosis lumbar de 48.5° , incidencia pélvica menos lordosis lumbar 18.8° , ángulo de Cobb en 30.6° y curva fraccional de 13° , cifosis T1-T12 en 34.6° , SVA 80 mm, ángulo pélvico de T1 29° y una inclinación global de 42° , dando como resultado un GAP score de 6 puntos; además, se dilucido un ápex de la curvatura coronal en L3 y un acuñaamiento vertebral en T9 en la radiografía panorámica sagital (*Figura 2*).

Las radiografías dinámicas mostraron signos de inestabilidad L4-L5 y L5-S1. La resonancia magnética mostró signos de degeneración disco lumbar L2-L3 Pfirrmann V, L3-L4, L4-L5 y L5-S1 Pfirrmann IV, hernia discal con compresión foraminal y central L3-L5, L4-L5 y L5-S1 bilateral de predominio izquierdo, así como severa degeneración facetaria bilateral (*Figura 3*).

El diagnóstico final fue deformidad espinal del adulto (ASD) con desalineación coronal y sagital. Debido al desequilibrio sagital y coronal, así como el impacto en la función y la calidad de vida de la paciente, se planteó manejo quirúrgico para reestablecer la alineación sagital y coronal con una fijación larga y soporte anterior en los segmentos inestables, creando barras específicas usando el estudio de rayos X preoperatorio y transoperatorio como molde.

RESULTADOS

De acuerdo con la literatura revisada, los autores definieron los siguientes aspectos a considerar en un moldeamiento de barra espinal basados en: radiografías preoperatorias y transoperatorias, número de vértebras lordóticas, ápex de la curva lumbar y la transición toracolumbar objetiva para un Roussouly (definido por incidencia pélvica y pendiente sacra).

Se realizó cirugía híbrida con apoyo fluoroscópico realizando cirugía de mínima invasión con un miniabordaje anterior a la columna lumbar L4-L5 y L5-S1 (mini ALIF) colocando dos implantes intervertebrales de 10 y 12° grados, respectivamente, y tornillos percutáneos T3-T12. Cirugía abierta L1-S2 para realizar una osteotomía de sustracción pedicular en el ápex de la curva coronal (L3) y osteotomías de Smith-Petersen en L2 y L4, así como tornillos colocados a mano alzada de L1 a S2-alares (*Figura 4*).

Los autores definen la técnica de moldeamiento de barras propuesta con el siguiente paso a paso (*Figura 5*):



Figura 1: A) Postura en cifosis con caída de la plomada por delante del tobillo. B) Postura en escoliosis con caída de la plomada hacia la concavidad, con elevación compensatoria del hombro y flexión de la rodilla ipsilateral.

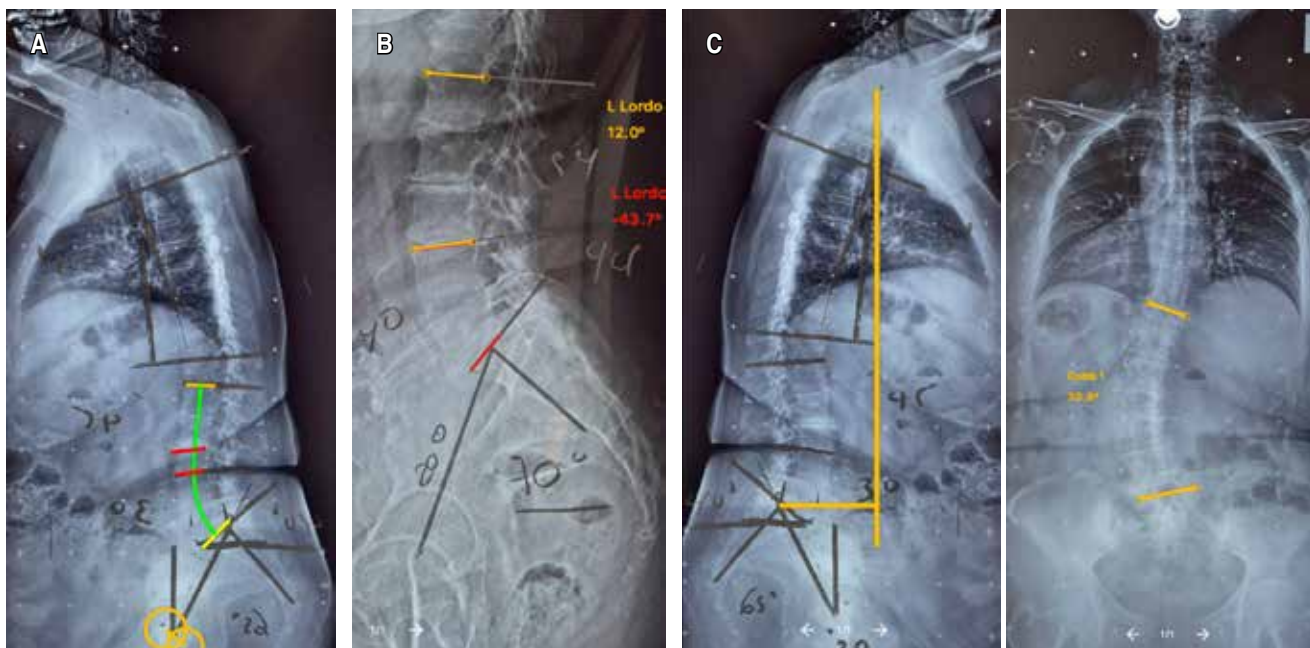


Figura 2: **A)** Radiografía de columna lumbar donde se muestran los parámetros espinopélvicos con incidencia pélvica alta (70°), sin retroversión pélvica (descompensación) y una PI-LL mayor de 10° . **B)** Se muestra la mala distribución de la lordosis con hiperlordosis en segmentos L4-S1 e hipolordosis en L1-L4. **C)** Se muestran los globales con el eje vertical sagital positivo a 60 mm del borde posterosuperior de S1 y un ángulo de Cobb mayor de 32° con el ápex de la curva coronal en L3.

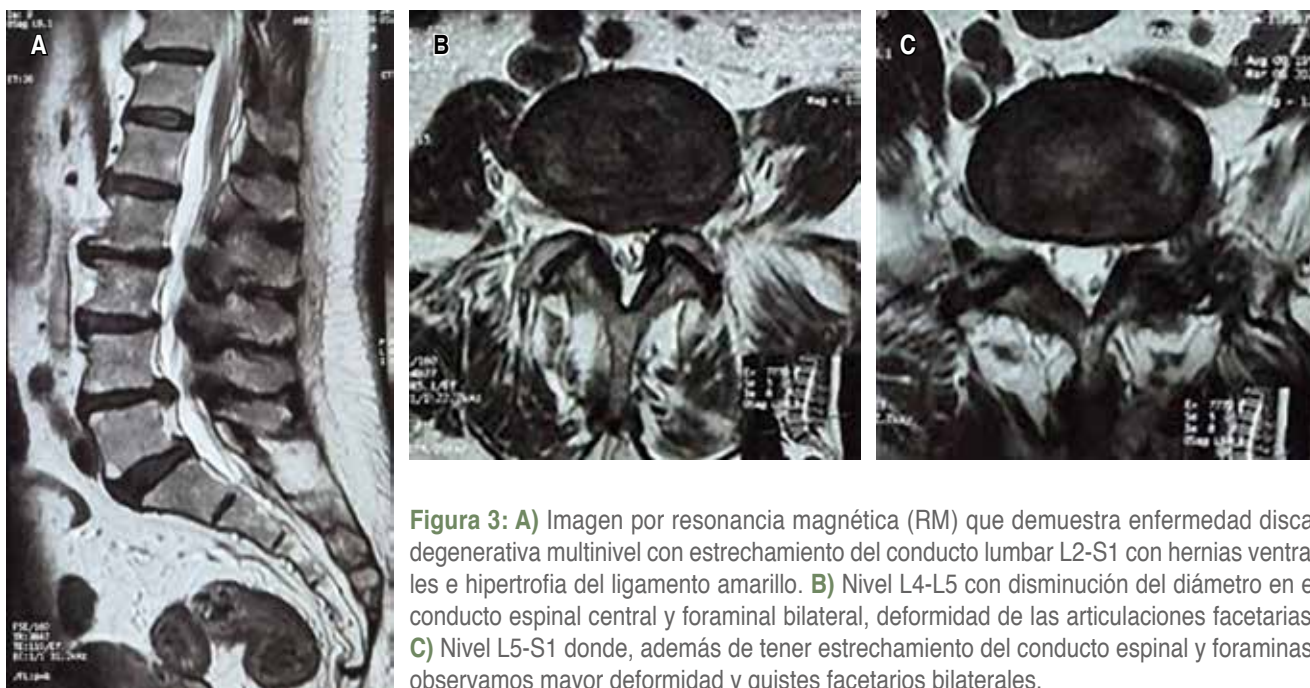


Figura 3: **A)** Imagen por resonancia magnética (RM) que demuestra enfermedad discal degenerativa multinivel con estrechamiento del conducto lumbar L2-S1 con hernias ventrales e hipertrofia del ligamento amarillo. **B)** Nivel L4-L5 con disminución del diámetro en el conducto espinal central y foraminal bilateral, deformidad de las articulaciones facetarias. **C)** Nivel L5-S1 donde, además de tener estrechamiento del conducto espinal y foramina, observamos mayor deformidad y quistes facetarios bilaterales.

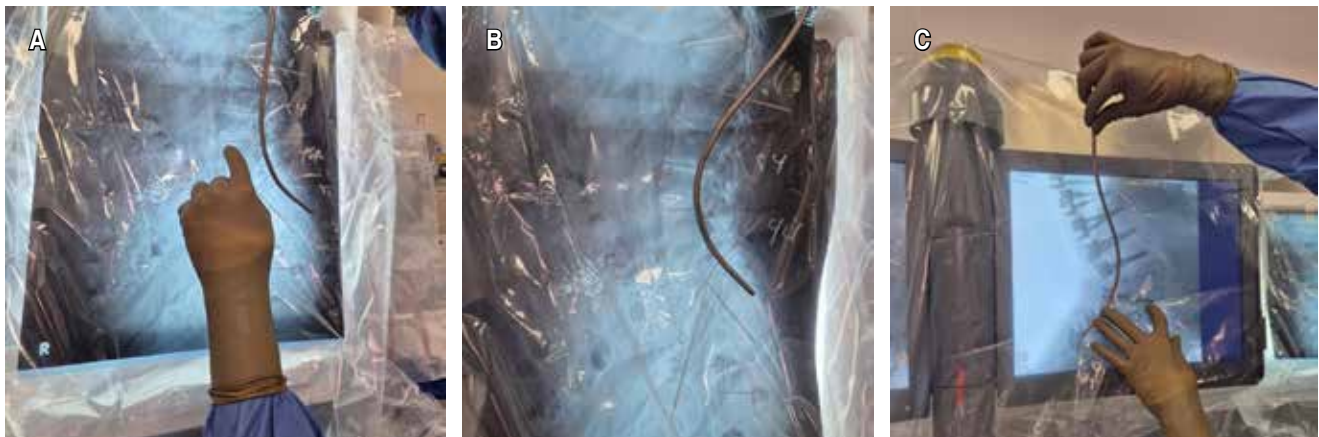


Figura 4: **A)** Moldeo inicial de las barras durante la cirugía de deformidad espinal del adulto. Usamos la radiografía preoperatoria para adaptar el ápex de mayor lordosis de las barras; en este caso L3 (señalado con el dedo) al ser una columna tipo 4 de Roussouly. **B)** Moldeo preliminar de la barra, usando como molde el estudio preoperatorio, dejando una barra con lordosis en las cinco vértebras lumbares con un ápex en L3 y con una transición T11-T9 específica del paciente. **C)** Moldeo final de las barras con apoyo de fluoroscopia transoperatoria para adaptar la barra a la anatomía espinal después de realizar osteotomías y colocación de implantes intervertebrales.

1. Realizar mediciones de los estudios lumbares preoperatorios para reconocer el tipo de morfología de acuerdo con lo clasificado por Roussouly y colaboradores. Se planean las diferentes técnicas quirúrgicas para llevar al paciente a sus parámetros ideales de pendiente sacra, número de vértebras lordóticas, ápex de la curva lumbar y la transición toracolumbar respetando su incidencia pélvica.
2. Efectuar el plan quirúrgico usando el estudio radiográfico preoperatorio como base durante la cirugía para lograr la morfología de Roussouly (osteotomías, colocación de implantes, etcétera).
3. Como paso final, después de realizar osteotomías (en casos necesarios), colocar implantes intersomáticos (en casos necesarios) y tornillos. Se utilizan rayos X transoperatorios, colocando el fluoroscopio lo más cercano al paciente, para tener una visión panorámica y una base más fidedigna del número de vértebras lordóticas, ápex de la curva de la barra y la transición toracolumbar objetivo de Roussouly específico del paciente.
4. Se cubre con bolsas estériles el fluoroscopio transquirúrgico y, después de medir la longitud de barra requerida, se acopla la barra a la pantalla del fluoroscopio para obtener la altura de los ángulos requeridos en los siguientes niveles:
 - a. Angulación de la barra máxima en el ápex de la curva requerido.
 - b. Menor angulación de la barra en el número de vértebras requerido de acuerdo con Roussouly que van desde tres, cinco, seis y a hasta nueve

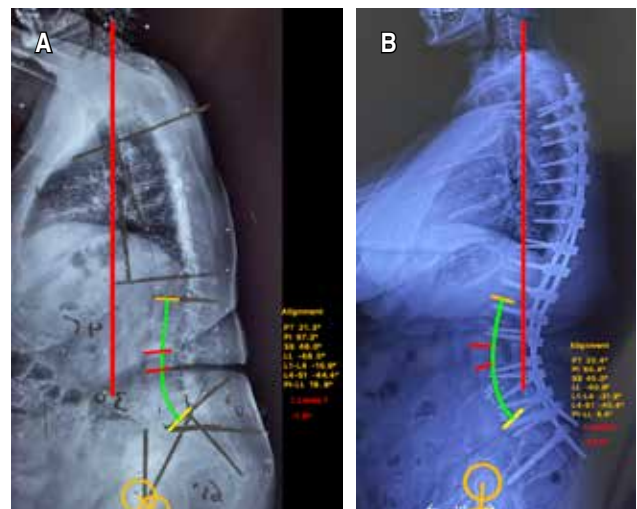


Figura 5: **A)** Radiografía panorámica preoperatoria que ejemplifica el desalineamiento sagital con leve retroversión pélvica, desproporción de la incidencia pélvica y la lordosis lumbar, así como el marcado SVA de más de 50 mm (80 mm). **B)** Radiografía panorámica postoperatoria que demuestra los objetivos alcanzados con el plan quirúrgico: disminución del SVA a neutro, adecuada proporción PI-LL y disminución del PT con un ápex, transición y número de vértebras lordóticas compatibles con un tipo de Roussouly tipo IV.

vértebras lordóticas, dependiendo del tipo 1, 2, 3 o 4, respectivamente.

- c. Detener la angulación de la barra en el inicio de la transición toracolumbar requerida.
- d. Corroborar la adecuación del moldeado sobre los tornillos usando fluoroscopia transoperatoria.

El método se realizó bajo una declaración de privacidad estándar para el paciente de que su información se utilizará para la evaluación continua de los resultados y su identidad estará protegida en cualquier publicación que surja de esto. Se obtuvo el consentimiento informado escrito y verbal.

El tiempo operatorio total fue de 6.5 horas y la pérdida de sangre fue de 1,500 ml. La función neurofisiológica del paciente se mantuvo intacta durante el procedimiento y también neurológicamente después de la operación.

Resultados quirúrgicos y seguimiento

Al mes de la cirugía, la EVA se mantuvo en 3/10, con un índice de discapacidad en la escala de Oswestry en 10% y por debajo de 4 puntos en la escala de Roland-Morris. Se registraron los siguientes parámetros radiológicos postquirúrgicos: SVA 2 mm, lordosis lumbar (LL) 60°, incidencia pélvica menos lordosis lumbar (PI-LL) 4.4°, inclinación pélvica (PT) 20.4°, Cobb 7.7° con escala GAP score 2 (Tabla 1 y Figuras 5 a 7).

DISCUSIÓN

En cirugía de deformidad espinal las principales complicaciones están en relación con pseudoartrosis y fallo mecánico adyacente ya sea proximal o distal. Esto puede estar asociado a una falta de planificación

quirúrgica o un problema durante la ejecución del procedimiento quirúrgico; por lo tanto, es importante comprender los mecanismos compensatorios relacionados con la deformidad y los que pueden ocurrir después de la corrección quirúrgica.¹¹

El SVA, PI-LL y PT son parámetros espinopélvicos críticos que se utilizan para evaluar los mecanismos compensatorios, la gravedad, el plan quirúrgico y el pronóstico en ASD. No alcanzar valores de SVA < 40-50 mm, PT < 20° y PI-LL < 10° se ha correlacionado con complicaciones mecánicas significativas como cifosis de la unión proximal (PJK) o pseudoartrosis, mientras que obtener la alineación apropiada se correlaciona con una mejora del resultado del paciente.¹²⁻¹⁴

Para lograr estos parámetros, se puede utilizar una variedad de osteotomías intraoperatoriamente e implantes planeados preoperatoriamente con software de los que ya se cuenta con información del aporte a la mejoría de la deformidad. El siguiente paso, muchas veces subvalorado en la corrección y el mantenimiento de la deformidad específica del paciente, sería colocar barras que coincidan con la corrección sagital planificada para garantizar la alineación adecuada.¹⁵

En nuestra práctica diaria, hemos observado que las barras espinales utilizadas para la fijación posterior toracolumbar generalmente se fabrican rectas y se doblan manualmente durante la cirugía y que esta flexión manual muchas veces está basada en la experiencia individual de cada cirujano, lo que puede condicionar una corrección insuficiente o excesiva de la deformidad, o bien la rotura de la varilla.

Las varillas específicas para el paciente acopladas con software de planificación preoperatoria ya se han estudiado previamente con un éxito moderado en la consecución de correcciones planificadas. Barton y colegas utilizaron varillas específicas para el paciente

Tabla 1: Parámetros de alineamiento sagital y coronal con impacto en la calidad de vida asociados con la salud pre y postoperatorios. Se documenta la adecuada corrección con base en los objetivos quirúrgicos preoperatorios.

Parámetro radiográfico	Preoperatorio	Postoperatorio	Corrección quirúrgica
SVA (mm)	80.0	2.0	78.0
LL (°)	48.0	60.0	12.0
PI-LL (°)	18.0	4.4	13.6
PT (°)	21.3	20.4	0.9
Cobb (°)	30.6	7.7	22.9
GAP score (puntos)	6.0	2.0	4.0

Cobb = ángulo de Cobb. GAP score = puntuación de alineación y proporción global (*Global Alignment and Proportion score*). LL = lordosis lumbar. PI-LL = incidencia pélvica menos lordosis lumbar (*Pelvic Incidence minus Lumbar Lordosis*). PT = inclinación pélvica (*Pelvic Tilt*). SVA = eje vertical sagital (*Sagittal Vertical Axis*).

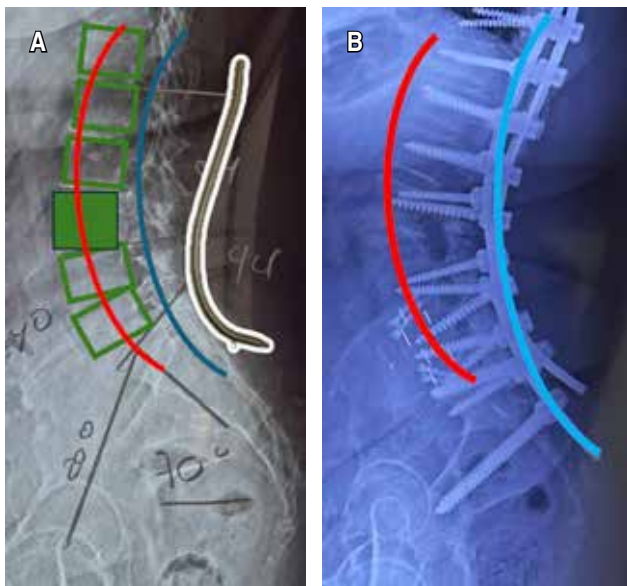


Figura 6: Representación esquemática de un moldeado ideal de acuerdo al tipo 4 de Roussouly usando como molde la radiografía preoperatoria de nuestra paciente. En contorno verde, el número de vértebras lumbares que deberían tener lordosis para adaptarse a la curva de la barra y que serán corregidas durante la cirugía. En relleno verde, la vértebra ápex para el tipo de columna (4) que debe mantenerse durante la corrección quirúrgica. En azul, la forma y localización de la barra ideal. En café, la forma de una barra moldeada sin usar un molde radiográfico en el que observamos lordosis sólo en los segmentos inferiores y una transición toracolumbar baja incompatible con un tipo de Roussouly 4. Estudio radiográfico final donde observamos la forma y características similares al plan operatorio usando moldes radiográficos pre y transoperatorios como fue descrito.

y tuvieron un nivel de éxito similar. Sus parámetros preoperatorios y planificados fueron significativamente diferentes, mientras que sus parámetros postoperatorios y planificados no mostraron ninguna disparidad.^{4,16} Esto nos llamó la atención, ya que probablemente usar un software no sea la mejor manera de comprender la corrección de la deformidad debido a que técnicamente correcciones intraoperatorias pueden variar por múltiples motivos y pueden modificar el plan preoperatorio, pero conservando el objetivo final.

En la sala de operaciones, las varillas se doblan manualmente utilizando dobladores franceses, lo que puede causar una flexión excesiva o insuficiente de las varillas y conducir a una mala alineación. Estudios recientes han informado que la flexión inadecuada

(excesiva o insuficiente) de las varillas espinales puede afectar la alineación espinopélvica postoperatoria, lo que conduce a resultados inferiores para el paciente debido a que el contorno adecuado de la varilla es vital para lograr realineaciones objetivo tanto globales como regionales, lo que refuerza la importancia del doblado de la varilla intraoperatoria.^{17,18}

Dehghani Firoozabadi MJ y asociados describieron que cuando se pidió a los cirujanos de columna que doblaran las varillas sin una plantilla de referencia (moldeo impreso en 3D), hubo una variación considerable en los ángulos, especialmente a medida que los ángulos objetivo disminuyeron para la corrección. Sin embargo, cuando los cirujanos realizaron el doblado *in situ* con un molde sin conocer los ángulos, la diferencia en los ángulos fue menos significativa y la varilla se dobló cerca de los ángulos objetivo.¹⁹ Por lo tanto, tener un molde de referencia usando parámetros espinopélvicos y el conocimiento de los tipos de columna lumbar probablemente sea una estrategia accesible. Nuestro método emplea un molde radiográfico basado en los siguientes aspectos.

1. Usando las medidas radiográficas de IP y SS podemos situarnos en el tipo de columna descrito por Roussouly.
2. Sin importar la deformidad, el molde radiográfico nos ayuda a saber el número y el nivel de vértebras lordóticas que debería tener dicha columna patológica de acuerdo al tipo de columna clasificado.

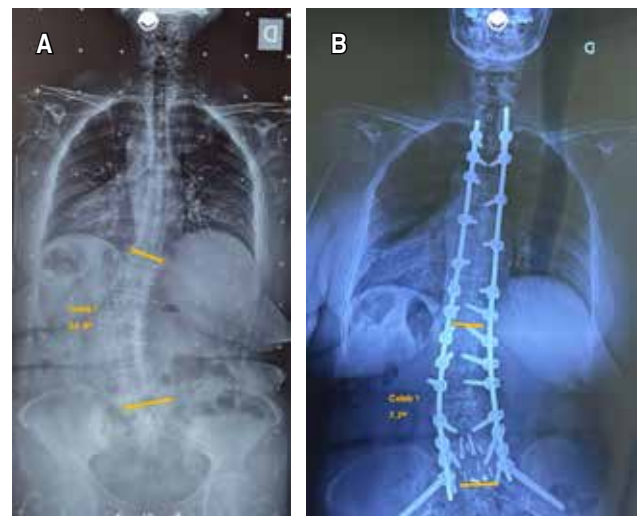


Figura 7: Estudio comparativo preoperatorio (A) y postoperatorio (B) donde observamos la restauración del alineamiento coronal con la técnica de moldeado de barra individualizado transoperatorio.

3. El molde radiográfico nos ayuda a saber el nivel de ápex vertebral que debería tener dicha columna patológica de acuerdo al tipo de columna clasificado y así apuntar el máximo doblez de la barra de una manera más objetiva.
4. El molde radiográfico, al ser una imagen semejante en medida anatómica vertebral, nos ayuda a saber el nivel de transición toracolumbar y, por tanto, en qué nivel deberíamos hacer el cambio de lordosis lumbar a cifosis torácica.
5. El molde radiográfico transoperatorio nos ayuda a modificar el nivel de números de vértebras lordóticas y ápex en caso de cambios de altura con implantes intervertebral, o bien empleo de osteotomías.
6. Si tomamos en cuenta todo esto, potencialmente podríamos estandarizar la técnica de moldeado de barras que constituye uno de los pasos finales de la cirugía en ASD.

Nuestro estudio investiga más a fondo las correlaciones entre los factores del cirujano y la precisión en la flexión de la varilla usando parámetros radiográficos y descripciones de los tipos de columna vertebral lumbar, debido a que ya se ha referido una correlación novedosa con los años de experiencia y el campo de práctica, los cirujanos con más de cinco años de experiencia han mostrado una mejor precisión en la flexión de la varilla.¹⁹⁻²¹

Durante un seguimiento postoperatorio, nuestro estudio mostró que los parámetros sagitales SVA (1 mm) y PI-LL (4.4°) pero no PT (20.3°), utilizando nuestra técnica mejoraron con respecto al valor inicial. Solla y colaboradores siguieron a 60 pacientes durante 12 meses y encontraron mejoras significativas de PI-LL después de la operación, pero ninguna en SVA y PT. PI-LL fue < 10° al inicio en 29/60 casos y mejoró a 50/60 pacientes en el seguimiento.²⁰ De manera similar, Prost y asociados siguieron a 43 pacientes con rehabilitación de la escoliosis con patrón específico (PSSR) durante tres meses con PT no corregido significativamente después de la operación; sin embargo, hubo una disminución estadísticamente significativa en SVA (46%) y PI-LL (60%) en el seguimiento.² Nuestro seguimiento es en corto plazo, por lo que esperamos contar con una serie de caso en los próximos años para comparar nuestros resultados y ver el verdadero poder de la técnica.

Con respecto al material de las barras utilizadas, Shega y su grupo revisaron sistemáticamente 11 estudios que comparaban varillas de titanio con varillas de cobalto-cromo; encontraron que el CoCr era mejor que la varilla de titanio para la corrección efectiva de la

deformidad espinal y la estabilidad postoperatoria de la columna. Además, la incidencia de fractura de varilla fue mayor en las de titanio, pero la PJK ocurrió más con CoCr.²² Sin embargo, Bowden y colegas realizaron una revisión sistemática y no encontraron diferencias en los resultados postoperatorios o complicaciones al usar diferentes materiales o diámetros de varilla.¹⁶

Nuestra experiencia con la técnica se limita a usar CoCr por las propiedades correctivas en deformidad espinal.

Comprendemos la importancia de la colocación de tornillos pediculares posteriores para facilitar la colocación de la barra.²³ En nuestro caso se colocaron abiertos en los sitios de osteotomía y una técnica percutánea en los segmentos superiores. Esto optimizó la pérdida de sangre y la conservación de musculatura paravertebral. Por otro lado, la técnica abierta nos permitió realizar las osteotomías planeadas y un lecho de fusión para el injerto óseo posterolateral.

La fijación pélvica se realizó con tornillos S2AI para asegurar la alineación coronal de los tornillos S2AI con las barras precontorneadas, lo que obvia la necesidad de varillas de conexión para los tornillos iliacos colocados más lateralmente, además de sus ya conocidas ventajas con respecto a los tornillos iliacos.²⁴

Al describir nuestra técnica de moldeado de barras encontramos muchos avances en tecnologías de software. Nos motivó a proponerla el hecho de que los resultados con dichos softwares aún son inconsistentes, tal como encontraron Faulks CR y colaboradores, quienes señalan que se redujo la cifosis de la unión en comparación con la literatura (35%), pero se observó PJK con el tiempo. Se produjo falla de la unión distal (DJF) y se relacionó con la ausencia de cajas intercorporales en la unión lumbosacra.²³ Por lo que, en nuestro caso, decidimos colocar dos implantes por una vía lumbar anterior L4-L5 y L5-S1 y eliminar este factor reportado.

Por último, con la llegada de la planificación asistida por computadora, se pueden evaluar múltiples planes quirúrgicos, utilizando parámetros de alineación y seleccionar el mejor plan para cada paciente. Sin embargo, la capacidad para evaluar y medir los objetivos de corrección quirúrgica durante la operación aún es limitada.²⁵

CONCLUSIONES

La planificación preoperatoria es la base para un resultado quirúrgico exitoso y motivan al cirujano a seguir dicho plan y así evitar en la medida de lo posible

cambios que en realidad pueden ser necesarios para obtener una realineación sagital óptima.

La dificultad radica en las diferentes estrategias para convertir esa planificación en realidad postquirúrgica. La mayoría de los textos hablan de la planificación quirúrgica de acuerdo al tipo de implante u osteotomía a realizar y pocos autores han explorado el potencial de la técnica de colocación de barras específica.

Los resultados de este estudio preliminar confirman la viabilidad clínica del uso del moldeado de barras usando modelos radiográficos específicos de los pacientes en el tratamiento de la ASD, ya que actualmente no es aceptable confiar sólo a la intuición del cirujano para moldear las barras en el plano sagital. Los resultados postoperatorios mediatos son alentadores en lo que respecta a la alineación sagital.

Aunque se necesitarán más estudios para confirmar estos resultados preliminares, el uso de nuestra técnica de moldeado de barras puede ser un punto de inflexión en el tratamiento de la ASD. El conocimiento de los resultados a mediano y largo plazo posiblemente nos permitirá anticipar otros mecanismos compensatorios en ASD y puede ser una forma de disminuir las complicaciones mecánicas postoperatorias (falla de la unión proximal o rotura de las barras).

En el futuro, recomendamos realizar estudios biomecánicos para el desarrollo de dicho dispositivo de doblado de varillas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad La Salle, nuestro aval universitario, y al Hospital Ángeles Pedregal, nuestra sede hospitalaria, por las facilidades para realizar este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Cerpa M, Lenke LG, Fehlings MG, Shaffrey CI, Cheung KMC, Carreon LY. Evolution and advancement of adult spinal deformity research and clinical care: an overview of the Scolio-RISK-1 study. *Glob Spine J.* 2019; 9: 8S-14S. doi: 10.1177/2192568219828729.
2. Prost S, Pesenti S, Farah K, Tropiano P, Fuentes S, Blondel B. Adult spinal deformities: can patient-specific rods change the preoperative planning into clinical reality? Feasibility study and preliminary results about 77 cases. *Adv Orthop.* 2020; 2020: 6120580. doi: 10.1155/2020/6120580.
3. Picton B, Stone LE, Liang J, et al. Patient-specific rods in adult spinal deformity: a systematic review. *Spine Deform.* 2024; 12: 577-585. doi: 10.1007/s43390-023-00805-8.
4. Barton C, Noshchenko A, Patel V, Kleck C, Burger E. Early experience and initial outcomes with patient-specific spine rods for adult spinal deformity. *Orthopedics.* 2016; 39: 79-86. doi: 10.3928/01477447-20160304-04.
5. Pivazyan G, Cobourn KD, Voyadzis JM, Sandhu FA. Use of computer navigation and robotics in adult spinal deformity. *Semin Spine Surg.* 2022; 34: 100988. doi: 10.1016/j.semss.2022.100988.
6. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine.* 2005; 30: 346-353. doi: 10.1097/01.brs.0000152379.54463.65.
7. Zhang G, Yang Y, Hai Y, Li J, Xie X, Feng S. Analysis of lumbar sagittal curvature in spinal decompression and fusion for lumbar spinal stenosis patients under Roussouly classification. *BioMed Res Int.* 2020; 2020: 8078641. doi: 10.1155/2020/8078641.
8. Bari TJ, Hansen LV, Gehrchen M. Surgical correction of Adult Spinal Deformity in accordance to the Roussouly classification: effect on postoperative mechanical complications. *Spine Deform.* 2020; 8: 1027-1037. doi: 10.1007/s43390-020-00112-6.
9. Sebaaly A, Gehrchen M, Silvestre C, et al. Mechanical complications in adult spinal deformity and the effect of restoring the spinal shapes according to the Roussouly classification: a multicentric study. *Eur Spine J.* 2020; 29: 904-913. doi: 10.1007/s00586-019-06253-1.
10. Goodwin ML, Buchowski JM, Sciubba DM. Why X-rays? The importance of radiographs in spine surgery. *Spine J.* 2022; 22: 1759-1767. doi: 10.1016/j.spinee.2022.07.102.
11. El Rahal A, Solla F, Fiere V, Toquart A, Barrey CY. Sagittal balance and preoperative planning. In: Meyer B, Rauschmann M, Eds. *Spine surgery: a case-based approach.* Springer International Publishing; 2019. pp. 447-458. doi: 10.1007/978-3-319-98875-7_54.
12. Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine.* 2010; 35: 2224-2231. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ee6bd4.
13. Le Huec JC, Cogniet A, Demezon H, Rigal J, Saddiki R, Aunoble S. Insufficient restoration of lumbar lordosis and FBI index following pedicle subtraction osteotomy is an indicator of likely mechanical complication. *Eur Spine J.* 2015; 24 Suppl 1: S112-S120. doi: 10.1007/s00586-014-3659-2.
14. Lafage V, Schwab F, Patel A, Hawkinson N, Farcy JP. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine.* 2009; 34: E599-E606. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181aad219.
15. Sadrameli SS, Boghani Z, Steele III WJ, Holman PJ. Utility of patient-specific rod instrumentation in deformity correction: single institution experience.

- Spine Surg Relat Res. 2020; 4: 256-260. doi: 10.22603/ssrr.2019-0101.
16. Bowden D, Michielli A, Merrill M, Will S. Systematic review and meta-analysis for the impact of rod materials and sizes in the surgical treatment of adult spine deformity. *Spine Deform.* 2022; 10: 1265-1278. doi: 10.1007/s43390-022-00556-y.
 17. Sardi JP, Ames CP, Coffey S, et al. Accuracy of rod contouring to desired angles with and without a template: implications for achieving desired spinal alignment and outcomes. *Glob Spine J.* 2023; 13: 425-431. doi: 10.1177/2192568221998371.
 18. Zuckerman SL, Lai CS, Shen Y, et al. Incidence and risk factors of iatrogenic coronal malalignment after adult spinal deformity surgery: a single-center experience. *J Neurosurg Spine.* 2022; 36: 585-594. doi: 10.3171/2021.6.SPINE21575.
 19. Firoozabadi MJD, Zarei M, Mirzashahi B, et al. Assessment of rod bending accuracy for sagittal spinal deformity correction on 3D printed moulage. *Arch Neurosci.* 2022; 9 (3). doi: 10.5812/ans-129307.
 20. Solla F, Barrey CY, Burger E, Kleck CJ, Fiere V. Patient-specific rods for surgical correction of sagittal imbalance in adults: technical aspects and preliminary results. *Clin Spine Surg.* 2019; 32: 80-86. doi: 10.1097/BSD.0000000000000721.
 21. Solla F, Clément JL, Cunin V, Bertoncelli CM, Fiere V, Rampal V. Patient-specific rods for thoracic kyphosis correction in adolescent idiopathic scoliosis surgery: preliminary results. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020; 106: 159-165. doi: 10.1016/j.otsr.2019.07.027.
 22. Shega FD, Zhang H, Manini DR, Tang M, Liu S. Comparison of effectiveness between cobalt chromium rods versus titanium rods for treatment of patients with spinal deformity: a systematic review and meta-analysis. *Adv Orthop.* 2020; 2020: 8475910. doi: 10.1155/2020/8475910.
 23. Faulks CR, Biddau DT, Munday NR, McKenzie DP, Malham GM. Patient-specific spinal rods in adult spinal deformity surgery reduce proximal junctional failure: a review of patient outcomes and surgical technique in a prospective observational cohort. *J Spine Surg.* 2023; 9: 409-421. doi: 10.21037/jss-23-85.
 24. Ishida W, Elder BD, Holmes C, et al. Comparison between S2-alar-iliac screw fixation and iliac screw fixation in adult deformity surgery: reoperation rates and spinopelvic parameters. *Glob Spine J.* 2017; 7: 672-680. doi: 10.1177/2192568217700111.
 25. Ou-Yang D, Burger EL, Kleck CJ. Pre-operative planning in complex deformities and use of patient-specific UNiDTM instrumentation. *Glob Spine J.* 2022; 12: 40S-44S. doi: 10.1177/21925682211055096.

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en este trabajo.