



Julio-Septiembre 2023
Vol. 1, núm. 3 / pp. 158-167

Recibido: 09 de Agosto de 2023
Aceptado: 18 de Agosto de 2023

doi: 10.35366/112799

Ventajas de la integridad biomecánica sacra durante la fusión lumbar y toracolumbar en pacientes sin patología del segmento L5-S1

Advantages of sacral biomechanical integrity during lumbar and thoracolumbar fusion in patients without L5-S1 segment pathology

Alejandro Marina Garduño,* José María Jiménez Ávila[†]

Palabras clave:

instrumentación y fusión toracolumbar, lumbar corta, preservación del segmento L5-S1, L5 vértebra inferior instrumentada, ventajas, integridad sacra.

Keywords:

thoracolumbar instrumentation and fusion, short lumbar, preservation of the L5-S1 segment, L5 lower instrumented vertebra, advantages, sacral integrity.

RESUMEN

Introducción: consideramos que la columna lumbar forma parte de un engranaje estructural al estar enclavada en la pelvis y soportada por el sacro y el cóccix; así como la base de sustentación inclinada proporcionada por la angulación del sacro. Por lo que una mayor incidencia pélvica implica un incremento de la pendiente sacra “*Sacral Slope*”, lo que resulta en una mayor lordosis lumbar. Durante los movimientos resalta la importancia de los músculos no solamente de la espalda, sino los de la pelvis, el abdomen y las piernas; a la vez que en el mantenimiento biomecánico de la postura y de la estabilidad de la columna. Por lo que la fusión lumbar multisegmentaria, especialmente del segmento L5-S1, limita significativamente la movilidad lumbar y afecta la capacidad de compensar los cambios posturales. Reducir los segmentos de fusión tanto como sea posible es de particular valor para preservar la movilidad lumbar y mantener el mecanismo compensatorio de la espinopelvis.

Material y métodos: se realizó una búsqueda en cuatro diferentes bases de datos con las palabras clave, buscando artículos relacionados con las ventajas y desventajas de la instrumentación y fusión toracolumbar y fusión lumbar corta con terminación en el segmento L5 comprendidos entre 2000 y 2023, se incluyeron 25 artículos. **Conclusiones:** encontramos que un segmento L5-S1 sano e íntegro proporciona ventajas biomecánicas y quirúrgicas que ayudan a contribuir a mejores resultados y menores complicaciones en fusiones toracolumbar y lumbar corta. Se recomienda seleccionar adecuadamente a los pacientes a quienes se planea evitar la fusión L5-S1, especialmente durante fusiones largas, y esforzarse por obtener óptimos resultados posoperatorios en parámetros espinopélvicos y buena corrección de la curva fraccional postoperatoria. Las características de selección incluyen: preservación de altura del disco L5-S1, buen equilibrio sagital, lordosis lumbar preservada, incidencia pélvica, (IP) > 48.5°, eje vertical sagital (SVA) < 4.43 cm y distancia sacro-femoral (SFD) < 5.65 cm.

ABSTRACT

Introduction: we consider that the lumbar spine is part of a structural gear as it is located in the pelvis and supported by the sacrum and coccyx. The angulation of the sacrum provides an inclined base of support for the lumbar spine. It highlights the importance of the muscles not only of the back but also

* Residente de tercer año. Hospital General “Dr. Manuel Cárdenas de la Vega”, ISSSTE, Culiacán, Sinaloa. ORCID: 0009-0006-1559-6144

[†] Médico adscrito. Hospital de Especialidades Centro Médico Nacional de Occidente, Guadalajara, Jalisco. ORCID: 0000-0002-5532-5318

Correspondencia:

Alejandro Marina Garduño

E-mail: alejandromarinaortopedia@gmail.com

Citar como: Marina GA, Jiménez ÁJM. Ventajas de la integridad biomecánica sacra durante la fusión lumbar y toracolumbar en pacientes sin patología del segmento L5-S1. *Cir Columna*. 2023; 1 (3): 158-167. <https://dx.doi.org/10.35366/112799>



those of the pelvis, abdomen and legs in the biomechanical maintenance of posture and stability of the spine. A higher pelvic incidence implies an increase in the sacral slope, resulting in a greater lumbar lordosis. Multisegmental lumbar fusion significantly limits lumbar mobility and affects the ability to compensate for postural changes. Reducing fusion segments as much as possible is of particular value to preserve lumbar mobility and maintain the compensatory mechanism of the spinopelvis. **Material and methods:** a search was performed in four different databases with the keywords, looking for articles related to the advantages and disadvantages of instrumentation and thoracolumbar fusion and short lumbar fusion with termination in the L5 segment between 2000 and 2023, 25 articles were included. **Conclusions:** finding a healthy and biomechanically integral L5-S1 segment, there are biomechanical and surgical advantages that help contribute to better results and fewer complications in short lumbar and thoracolumbar fusions. It is recommended to properly select patients who plan to avoid L5-S1 fusion especially during long fusions and strive for optimal postoperative results in spinopelvic parameters and good correction of the postoperative fractional curve. Selection features include: L5-S1 disc height preservation, good sagittal balance, preserved lumbar lordosis, pelvic incidence (PI) > 48.5°, sagittal vertical axis (SVA) < 4.43 cm and sacrum-femoral distance (SFD) < 5.65 cm.

Abreviaturas:

DIV = disco intervertebral.
 DMD = distrofia muscular de Duchenne.
 GLM = grados de libertad de movimiento.
 IP = incidencia pélvica.
 LIV = vértebra instrumentada más distal.
 LL = lordosis lumbar.
 ODI = índice de discapacidad de Oswestry.
 PSO = osteotomía de sustracción pedicular de un solo nivel.
 PT = inclinación pélvica.
 SFD = sacrum-femoral distance.
 SS = inclinación sacra.
 SVA = sagittal vertical axis.
 UFLSC = unidad funcional lumbo-sacro-coccígea-pélvica.
 VAS = escala visual análoga.

INTRODUCCIÓN

Biomecánica estática del raquis lumbar

Consideramos que la columna lumbar forma parte de un engranaje estructural al estar enclavada en la pelvis y soportada por el sacro y el cóccix. En ese contexto consideramos la región lumbar como parte de una *unidad funcional lumbo-sacro-coccígea-pélvica* (UFLSC), que tiene un desarrollo embriológico común, una estructura anatómica, muscular y ligamentaria que se relaciona, una inervación compartida y un mismo funcionamiento biomecánico. La UFLSC es un concepto nuevo de entendimiento del funcionamiento de la columna lumbosacra. La columna vertebral protege en su interior a la médula y es el eje biomecánico del movimiento de las extremidades, permitiendo el sostén de la cabeza y la interacción con el entorno. El hueso está mantenido por cartílagos, ligamentos y envuelto por músculos que favorecen el movimiento. Las curvaturas anatómicas de la región lumbar le dan a la columna la capacidad de mantener una elasticidad y una rigidez que permite absorber los

impactos biomecánicos sin perder la estabilidad de los segmentos vertebrales.¹

Las características biomecánicas de la columna lumbosacra en particular se basan en la posición que tiene este segmento en relación con toda la columna vertebral, el diseño estructural y los grados de libertad de movimiento (GLM) que desarrollan. Gracias a los grados de libertad de movimiento y a la capacidad de carga del segmento lumbosacro, es factible que todas las estructuras que están por arriba de esta región puedan realizar movimientos de flexo-extensión, lateralización y rotación, lo que le proporciona una gran movilidad al tórax y apoyo suficiente a la cintura escapular. La angulación del sacro proporciona una base de sustentación inclinada para la columna lumbar, lo que provoca que forme una curvatura que biomecánicamente se traduce en mayor resistencia para toda la columna. La posición de la articulación lumbosacra permite soportar grandes cantidades de carga sin que se afecten los tejidos; sin embargo, la inclinación del sacro genera un esfuerzo similar al que se produce en un plano inclinado con un cuerpo que se desliza a través de él, donde las fuerzas de gravedad provocan un desplazamiento hacia abajo y hacia el frente sobre la superficie sacra, incrementando la tensión ligamentaria y del disco intervertebral.²

Los ligamentos que proporcionan mayor estabilidad a la columna son los longitudinales, los interespinosos, los capsulares y el ligamento amarillo. En su conjunto permiten los movimientos vertebrales dentro de los límites elásticos manteniendo la estabilidad biomecánica. El disco intervertebral (DIV) es una estructura que transmite cargas, al mismo tiempo que es un componente que hace las veces de cojinete, lo que provee de flexibilidad a la columna. La acción de las

cargas mecánicas es de fundamental importancia para mantener un disco intervertebral sano.²

Wilke midió la presión bajo diferentes actividades que involucran movimiento en la columna lumbar. La carga sobre la columna lumbar en posición ortostática es de aproximadamente 800 N cuando el sacro se encuentra con una inclinación de 30°; en posición sedente con la columna erguida se incrementa a 996 N.¹⁴ La flexión del tronco incrementa de manera progresiva la carga en la columna lumbar y llega hasta 220% de la carga en posición ortostática.²

Biomecánica cinética del raquis lumbar

Los músculos están divididos por región y, de acuerdo con su posición, cumplen con una función especial. Los músculos de la región anterior donde encontramos al psoas iliaco en todo el aspecto anterolateral de la columna lumbar, presenta una inserción distal sobre el trocánter menor del fémur; en la columna está insertado sobre los procesos transversos, cuerpos vertebrales y el disco intervertebral de T12 a L5, y de modo funcional es un flexor primario de la cadera y, de manera secundaria, un flexor del tronco. Otros músculos de la región anterior son los rectos abdominales. Los músculos abdominales inician la flexión del tronco, junto con la porción vertebral del psoas. El peso del resto del tronco completará la fuerza necesaria para producir la flexión, los músculos erectores ejercen una fuerza antagónica que controla el movimiento de manera gradual.²

Entonces, en las posturas de flexión interacciona de manera directa la columna lumbar con la pelvis. Los primeros 60° de la flexión dependen exclusivamente de la columna lumbar, pero los 25° restantes se producen en la pelvis. Hay una fuerte contracción de los músculos glúteo máximo y glúteo medio, que permite que la columna lumbar se establezca, y la pelvis desarrolla un movimiento de *basculación*. Esa parte final del movimiento se controla con la contracción de músculos antagónicos del movimiento, como es el músculo erector de la espalda. Los movimientos de inclinación dependen de los músculos multifidos, longísimos y recto abdominal ipsilateral.¹

En extensión de la columna se activa la masa lumbar común (agonista) y los músculos abdominales (antagonistas).¹ El movimiento de extensión del tronco se inicia con la contracción del músculo glúteo máximo, el músculo cuadrado lumbar, los oblicuos y los isquiotibiales; a este esfuerzo se van sumando los músculos paraespinales y permanecen activos hasta que la columna presenta extensión completa.²

Lo anterior resalta la importancia de los músculos en el mantenimiento biomecánico de la postura y de la estabilidad de la columna; no solamente los músculos de la espalda, sino los de la pelvis, el abdomen y las piernas.¹

Desde que se describió la importancia del balance sagital de la columna vertebral, son muchos los autores que han estudiado y reconocido su complejidad e importancia. Así, una mayor incidencia pélvica implica un incremento de la pendiente sacra “*Sacral Slope*”, lo que resulta en una mayor lordosis lumbar. El incremento de la lordosis lumbar resulta en grandes fuerzas de cizallamiento sobre la unión lumbosacra, que incrementa el riesgo de desarrollar espondilolistesis.³

Conceptos básicos:¹

1. *Balance sagital*: posición “normal” de la columna, caracterizada por lordosis cervical, cifosis dorsal y lordosis lumbar, que permite una postura erecta con un mínimo de actividad muscular y mínima deformidad de tejidos blandos. Debe iniciar en el centro del cuerpo de C7, pasar sobre el promontorio sacro a 2 cm de su porción más anterior.
2. *Estabilidad clínica*: es la capacidad de la columna de limitar el desplazamiento de sus estructuras cuando es sometido a cargas fisiológicas.
3. *Cono de economía*: es el rango de movimiento de la columna en el que se mantiene una reserva energética (bajo consumo energético) con un mínimo de actividad muscular para mantener una postura de pie (no sólo en un plano sagital)
4. *Alineamiento espino pélvico*: la pelvis es la base biomecánica de la columna. A través del sacro, que es quien cierra la circunferencia pélvica, se modifica o se mantiene la alineación de la columna vertebral. Ese alineamiento espino pélvico depende de la incidencia pélvica, la inclinación pélvica y la inclinación sacra.
5. *La incidencia pélvica (IP)*: es el ángulo que se forma entre una línea trazada desde el centro de la cabeza femoral, hasta un punto medio en el promontorio sacro, (plano sagital), y una segunda línea perpendicular a este último punto. El ángulo formado debe estar entre 50-55 grados. Este ángulo es constante y no se debe modificar con la edad. Cuando el ángulo es mayor verticaliza el sacro y aumenta la lordosis lumbar de forma compensatoria para poder mantener el balance sagital.
6. *Lordosis lumbar ideal*: Schwab realizó una fórmula que permite calcular la lordosis lumbar ideal; $LL = IP + 9^\circ$.

7. *La inclinación pélvica (PT)*: es el ángulo obtenido (plano sagital) entre una línea que va desde el centro de la cabeza femoral hasta un punto medio localizado en el platillo terminal del sacro y una segunda línea sobre el trayecto de una plomada vertical, que pasa también sobre la cabeza femoral. Su rango normal va de menos 5° hasta 30°.
8. *La inclinación sacra (SS)*: es un ángulo formado entre una línea que se traza paralela al eje del promontorio sacro y una segunda línea en el horizonte, justo superior al sacro. Hace parte de los parámetros dinámicos, con una muy importante relación con la IP, pues esta última es la sumatoria entre la PT y la SS.

Sinian Wang y colaboradores realizaron un estudio comparativo del balance sagital en bipedestación y durante la sedestación de 41 pacientes tratados con fusión lumbar; de los cuales, 18 con fusión monosegmentaria y 23 con fusión multisegmentaria, respectivamente, con un grupo control de 50 pacientes con cambios degenerativos lumbares sin tratamiento quirúrgico previo. Durante la sedestación se observaron diferencias estadísticamente significativas en los tres grupos: cifosis torácica ($p = 0.031$), lordosis lumbar (LL) ($p = 0.012$), PT ($p = 0.009$) y eje vertical sagital (SVA) ($p = 0.009$). Al pasar de estar de pie a estar sentado, el grupo multisegmentario tuvo el menor cambio en SVA ($p = 0.016$), PT ($p = 0.043$) y LL ($p = 0.009$), con un aumento compensatorio en cifosis torácica ($p = 0.021$). La fusión lumbar multisegmentaria, especialmente del segmento L5-S1, limita significativamente la movilidad lumbar y afecta la capacidad de compensar los cambios posturales. Reducir los segmentos de fusión tanto como sea posible es de particular valor para preservar la movilidad lumbar y mantener el mecanismo compensatorio de la espinopelvis.⁴

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de revisión sistemática de la literatura, así como artículos científicos a través de una búsqueda en las bases de datos PubMed, ProQuest, Cochrane y Google Scholar. Los criterios de búsqueda incluyeron artículos comprendidos desde 2000 a 2023, utilizando palabras clave que incluyeron: “artrodesis a L5”, “S1”, “instrumentación, fusión y balance”; Se tomaron como excluyentes artículos de enfermos con espondilolistesis de L5-S1, estudios de enfermos con patologías traumáticas o malignidad,

tipos de intervención con instrumentación iliaca, estudios con diseño no clínicos o estudios en animales, reportes de casos, publicaciones duplicadas y se incluyeron 25 artículos sobre las ventajas y desventajas de la instrumentación y fusión toracolumbar y fusión lumbar corta con terminación en el segmento L5; de los cuales, 19 son estudios retrospectivos y cohortes con seguimiento mínimo a 18 meses, un metaanálisis, tres artículos de revisión sistemática y dos estudios experimentales, todos ellos teniendo como común denominador la comparación de no fusionar el segmento L5-S1 (sacro) con fusionarlo, siendo valorados con parámetros espinopélvicos, así como escalas de gradación clínica y radiológica.

RESULTADOS

Se realizó una revisión de la literatura y artículos científicos a través de una búsqueda en cuatro bases de datos, encontrando 4,551 registros, de los cuales: 154 de PubMed, 854 de ProQuest, 3 de Cochrane y 3,540 de Google Scholar. Se excluyeron 3,605 artículos por duplicaciones siendo seleccionados 946. Durante el cribado se excluyeron 919 artículos al no cumplir con los criterios de inclusión. De los restantes 27 textos completos evaluados, se eliminaron dos artículos al presentar el criterio de exclusión de reportes de un caso, finalmente se incluyeron 25 artículos para su análisis en este estudio de revisión (*Figura 1*).

Según el tipo de participantes se valoraron pacientes con escoliosis lumbar secundaria, escoliosis degenerativa y escoliosis idiopática del adulto e incluyeron integridad mecánica y estructural del nivel L5-S1 (*Figura 2*).

Obsérvese en la *Figura 3* el tipo de intervenciones seleccionadas.

Las características analizadas se realizaron por medio de radiografías, valorando parámetros espinopélvicos en proyecciones estáticas o dinámicas, así como de escalas de gradación clínicas y radiográficas como SRS-24, escala visual análoga (VAS) y índice de discapacidad de Oswestry (ODI). Se incluyó una valoración con sensores electromagnéticos y un análisis angular y de fuerzas de carga.

Durante el seguimiento, en los pacientes que no se fusiona el sacro, 10 artículos encontraron segmento adyacente subsecuente de L5-S1 y lo asociaron con balance sagital positivo y con pobres resultados en parámetros espinopélvicos postoperatorios, entre otros (*Tabla 1*).

Brown y colaboradores concluyeron que los pacientes con buen equilibrio sagital preoperatorio, lordosis lumbar preservada, buena corrección de la curva fraccional postoperatoria y preservación de la altura del disco L5-S1 tienen más probabilidades de beneficiarse de la fusión posterior a L5, evitando la fusión sacra, para la escoliosis del adulto.

Encontramos como moda estadística menores complicaciones postquirúrgicas y otras ventajas al evitar la fusión del segmento L5-S1, señaladas a continuación:

1. Menor tiempo quirúrgico.
2. Menor cantidad de sangrado.
3. Menor incidencia de infección.
4. Menor tasa de pérdida del implante.
5. Menor necesidad de reoperaciones.
6. Sin manifestaciones clínicas relacionadas al segmento adyacente L5-S1.
7. Mejoría del balance sagital mantenido por cambios compensatorios en el *Sacral Slope*.

8. Menor incidencia de segmento adyacente proximal
9. Adecuada corrección del ángulo de Cobb y mantenimiento del movimiento lumbosacro al sentarse.

Sin embargo, ocho artículos mencionan similares resultados al fusionar o evitar la fusión del segmento L5-S1 en cuanto a escalas de gradación clínica, incidencia de segmento adyacente y mejoría de parámetros espinopélvicos.

Los dos estudios experimentales mencionan menor probabilidad en incidencia de segmento adyacente en segmentos proximales al evitar la fusión a S1 o sacra y lo atribuyen a la conservación de la biomecánica lumbosacra.

Tres artículos, incluyendo un metaanálisis, además de aumento de complicaciones, encontraron otras desventajas significativas de pacientes con fusiones a S1:

1. Altas tasas de pseudoartrosis.
2. Degeneración de las articulaciones sacroiliacas.

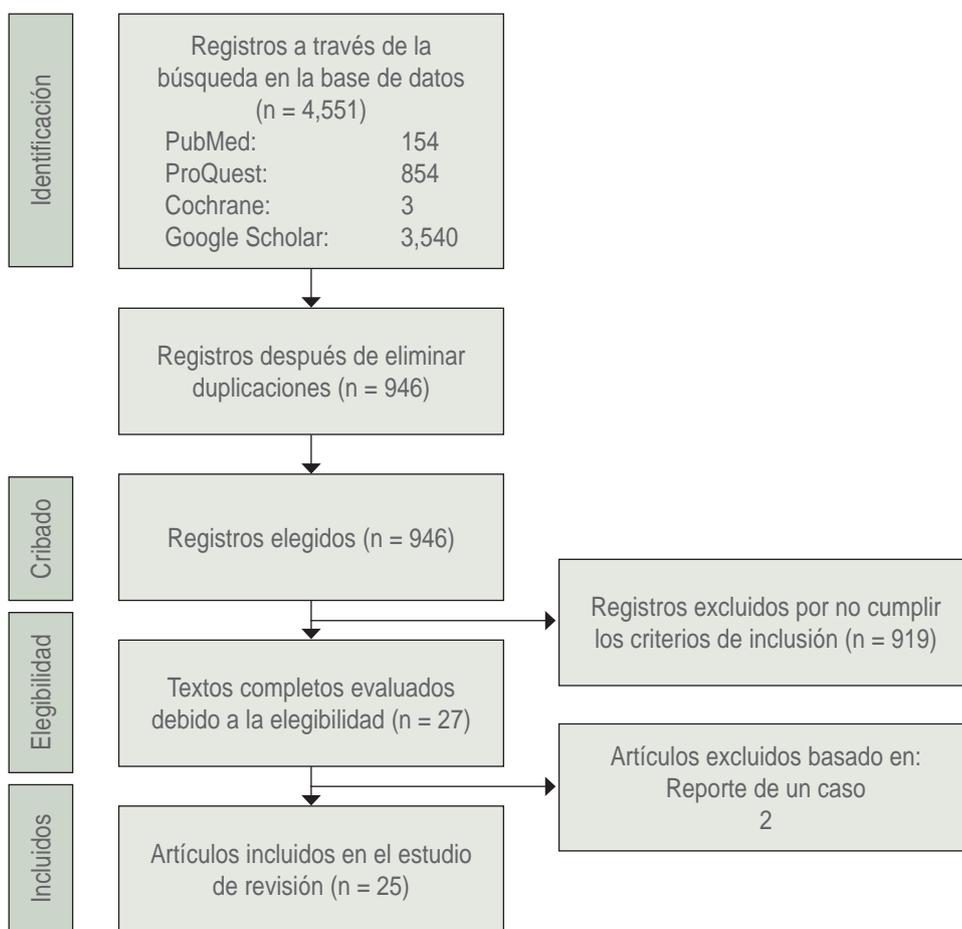


Figura 1: Prisma de búsqueda de datos con inclusión y exclusión.

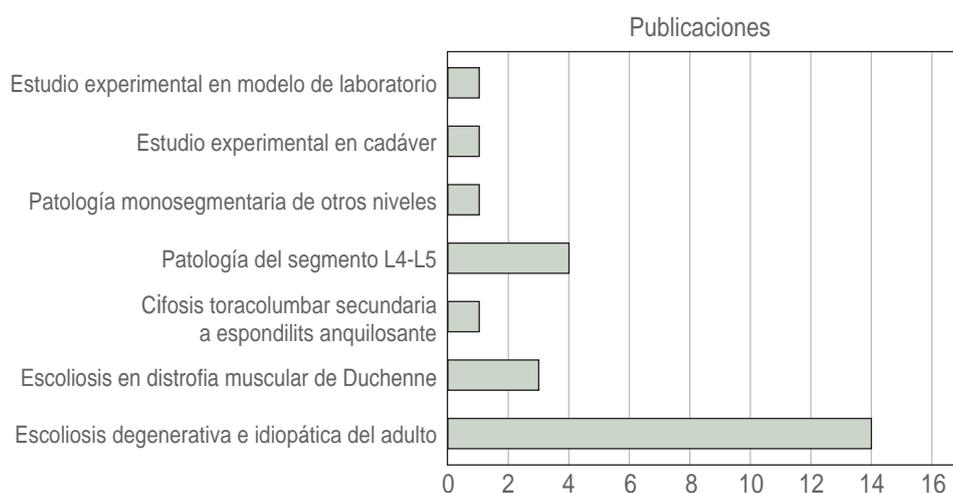


Figura 2:

Tipo de patologías analizadas.

En cuanto a la mejoría del balance sagital y lordosis lumbar comparamos los resultados entre fusionar o evitar la fusión al sacro (Figura 4).

En los tres artículos que valoraron pacientes con distrofia muscular de Duchenne (DMD) encontraron menor tasa de complicaciones si se evita la fusión sacra, además la instrumentación segmentaria de tornillo pedicular y la fusión a L5 es efectiva y segura en pacientes con escoliosis secundaria a DMD sin oblicuidad pélvica significativa inicialmente y a largo plazo, obviando la necesidad de fijación al sacro/pelvis.

Finalmente, la mayoría de los artículos coinciden en que se debe seleccionar adecuadamente a los pacientes de acuerdo con sus características clínicas, factores de riesgo y parámetros espinopélvicos prequirúrgicos, para tomar la decisión de si se fusiona o no el segmento L5-S1, lo cual tiene ciertas ventajas frente al otro.

DISCUSIÓN

Si un disco L5-S1 en los pacientes con diferentes patologías espinales puede preservarse o incluirse en la fusión sigue siendo controvertido; la detención de la fusión en L5 ofrece la preservación del segmento de movimiento L5-S1 y tiene las ventajas de una cirugía más pequeña y una menor probabilidad de pseudoartrosis. Las fusiones con el sacro conducen a varios problemas. La tasa de pseudoartrosis es sustancialmente mayor, especialmente cuando se realiza fusión posterior sola. En general, se ha aceptado que la tasa de pseudoartrosis es mayor cuando la fusión se extiende al sacro que cuando se detiene la fusión en L5.

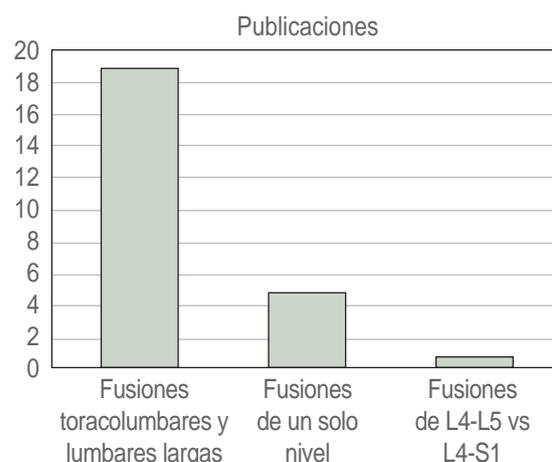


Figura 3: Tipo de intervenciones.

Las tasas más altas de pseudoartrosis pueden estar asociadas con un método de fijación menos rígido.⁵

Las fusiones adultas largas al sacro requieren más procedimientos y tienen mayor frecuencia de complicaciones que fusiones similares a L5.⁶⁻⁹ Estudios de revisión sistemática y metaanálisis coinciden en que la fusión a L5 o superior tuvo ventajas en tasa de pseudoartrosis, complicaciones relacionadas con implantes y enfermedad del segmento adyacente proximal.¹⁰⁻¹³

Respecto al segmento adyacente superior (o proximal), la fusión al sacro en una fusión lumbar inferior puede no proporcionar un beneficio significativo desde el punto de vista de evitar la enfermedad del segmento adyacente.¹⁴ En general, sentarse requiere que los segmentos lumbares inferiores se sometan a flexión,

Tabla 1: Frecuencia y factores de riesgo de segmento adyacente de L5-S1 en pacientes sin fusión sacra.

Autor	Título	Incidencia se segmento adyacente L5-S1	Factores de riesgo
Brown K, Ludwig SC, Gelb DE (2004)	Radiographic predictors of outcome after long fusion to L5 in adult scoliosis. <i>Journal of Spinal Disorders & Techniques</i>	Diez pacientes (62%) no tenían evidencia de degeneración transicional. Seis pacientes (38%) tenían evidencia radiográfica de degeneración L5-S1, y tres (19%) se sometieron a revisión	Lordosis lumbar decrecida y descompensación sagital
Cho KJ, Suk SI, Park SR, Kim JH, Choi SW, Yoon YH et al. (2009)	Arthrodesis to L5 versus S1 in long instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis	La posterior degeneración avanzada del disco L5-S1 ocurrió en nueve de los pacientes (58%) en el grupo L5 y aflojamiento de los tornillos L5	Siete de los nueve pacientes mostraron desequilibrio sagital preoperatorio y/o hipolordosis lumbar
Edwards CC 2nd, Bridwell KH, Patel A, Rinella AS, Berra A, Lenke LG (2004)	Long adult deformity fusions to L5 and the sacrum. A matched cohort analysis	El 67% de los pacientes con L5 tenían evidencia radiográfica de degeneración avanzada del disco 5-1 y la cohorte L5 tendía a tener un equilibrio sagital inferior (plomada C7: L5, +4,0 cm, sacro, +1,2 cm; p = 0.06)	Cambio hacia adelante en el equilibrio sagital
Edwards CC 2nd, Bridwell KH, Patel A, Rinella AS, Jung Kim Y, Berra ABA et al. (2003)	Thoracolumbar deformity arthrodesis to L5 in adults: the fate of the L5-S1 disc.	19 de 31 pacientes (61%) evaluados de tener discos "sanos" antes de la cirugía	Desplazamiento hacia adelante en el equilibrio sagital (p = 0.02), equilibrio sagital positivo preoperatorio (p = 0.01), edad más joven (p = 0.03) y la presencia de degeneración radiográfica incluso leve antes de la cirugía (p = 0.004)
Izumi Y, Kumano K (2001)	Analysis of sagittal lumbar alignment before and after posterior instrumentation: risk factor for adjacent unfused segment	Sin analizar si se fusionó o no el sacro, 21 casos (15.4%)	Pérdida postoperatoria de lordosis lumbar. Las diferencias en los cambios postoperatorios en el ángulo de lordosis entre pacientes con y sin cambios degenerativos del segmento adyacente no fusionado fueron significativas (p < 0.01)
Kuhns CA, Bridwell KH, Lenke LG, Amor C, Lehman RA, Buchowski JM, et al. (2007)	Thoracolumbar deformity arthrodesis stopping at L5: fate of the L5-S1 disc, minimum 5-year follow-up	2/31 degeneración avanza da preoperatoria. La enfermedad del segmento adyacente L5-S1 posoperatorio se desarrolló en 18 de 26 pacientes (69%)	Fusiones largas de columna torácica superior hasta L5 (p = 0.02), fusión lumbar circunferencial (p = 0.02), plomada C7 > 5 cm (p = 0.009)
Bridwell KH, Edwards CC 2nd, Lenke LG (2003)	The pros and cons to saving the L5-S1 motion segment in a long scoliosis fusion construct	Mayor al evitar fusionar el sacro según literatura	
Swamy G, Berven SH, Bradford DS (2007)	The selection of L5 versus S1 in long fusions for adult idiopathic scoliosis	Mayor al evitar fusionar el sacro según literatura	
Taneichi H, Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, Sorimachi T, Ueda H et al. (2020)	Can we stop the long fusion at L5 for selected adult spinal deformity patients with less severe disability and less complex deformity?	Tasa de cirugía de revisión (50% frente a 14%). Las causas de la cirugía de revisión en el grupo L5 fueron insuficiencia de la unión distal en cinco pacientes y estenosis foraminal en L5-S1 en 1	Edad > 50 años
Yan C, Gao X, Sun Y, Dong Z, Shen Y. (2018)	The preoperative predictors for subsequent degeneration in L5-S1 disc after long fusion arthrodesis terminating at L5 in patients with adult scoliosis: focus on spinopelvic parameters	57.3% (36 de 67 pacientes)	PI < 48.5°, SVA > 4.43 cm, y SFD > 5.65 cm

lo que aumenta la carga en los discos lumbares. En un estudio experimental biomecánico con modelo de laboratorio, la fusión L4-S1 indujo mayores momentos y una mayor flexión de los segmentos proximales para lograr una postura sentada comparable. La preservación del movimiento utilizando una prótesis de reemplazo total de articulación en L4-S1 restauró las cargas de la columna lumbar y el movimiento del segmento proximal a niveles de muestra intactos durante la transición de pie a sentado.¹⁵

En contraste, existe cierta frecuencia de segmento adyacente inferior (o distal, L5-S1) cuando se evita la fusión a sacro. Para los pacientes con desequilibrio sagital e hipolordosis lumbar, L5-S1 debe incluirse en la fusión incluso si el disco L5-S1 fuese una degeneración mínima.¹⁶ El segmento adyacente inferior después de evitar la fusión a sacro durante instrumentaciones largas, se asoció con una pérdida significativa de la alineación sagital y mayor probabilidad o necesidad definitiva de otra operación; además, con frecuencia resulta en un balance sagital positivo significativo.^{7,17,18}

Así como la pérdida de lordosis después de la cirugía de instrumentación espinal es un factor de riesgo significativo para la degeneración discal en los segmentos adyacentes no fusionados.¹⁹ Por lo que resultados óptimos en el balance sagital postoperatorio pudieran evitar esta complicación. Los pacientes con buen equilibrio sagital preoperatorio, lordosis lumbar preservada, buena corrección de la curva fraccional postoperatoria y preservación de la altura del disco L5-S1 tienen más probabilidades de beneficiarse de la fusión posterior a L5, evitando la fusión sacra, para la escoliosis adulta.²⁰

Entonces, para la selección de pacientes que se beneficiarían de evitar la fusión sacra, además de conservar adecuada altura del disco L5-S1, existen predictores radiográficos preoperatorios. $PI < 48.5^\circ$, $SVA > 4.43$ cm y distancia sacro-femoral (SFD) > 5.65 cm fueron predictores preoperatorios para la posterior degeneración del disco L5-S1. Se debe prestar más atención para prevenir la degeneración L5-S1 cuando existen estos predictores preoperatorios, especialmente con dos o más.²¹

En caso de realizar una fusión dinámica posterior con cajas intersomáticas con cajas rectangulares, la lordosis lumbar y la lordosis segmentaria de los segmentos fusionados disminuyen; el equilibrio sagital se mantiene mediante *cambios compensatorios de la inclinación sacra*. Las cajas en forma de cuña aumentan significativamente la lordosis segmentaria, mejoran la lordosis lumbar y, por lo tanto, deben ser

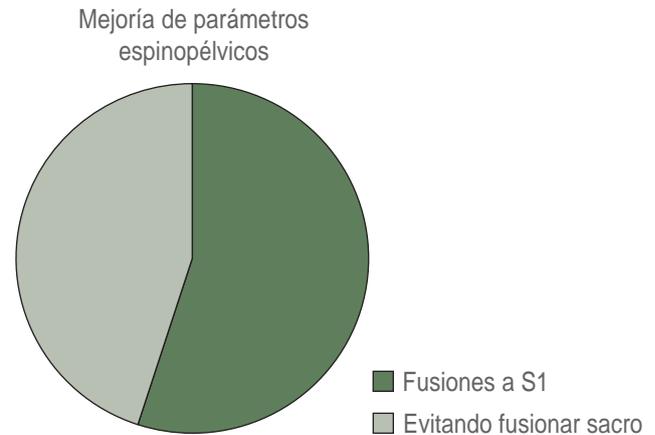


Figura 4: Relación de mejoría de parámetros espinopélvicos.

preferidas para restaurar la alineación sagital en procedimientos instrumentados de fusión intersomática lumbar posterior.²²

Los resultados y recomendaciones que existen para casos especiales difieren, dependiendo de la patología de base. Así, Huang y colaboradores, en pacientes con cifosis toracolumbar relacionada a espondilitis anquilosante sometidos a osteotomía de sustracción pedicular de un solo nivel (PSO, por sus siglas en inglés), compararon los resultados obtenidos con fusiones seleccionando la vértebra instrumentada más distal (LIV, por sus siglas en inglés) en S1 versus encima de S1. Tanto en el grupo S1 como en el no S1, los parámetros radiográficos y los resultados clínicos mejoraron significativamente después de la cirugía ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos con respecto a la incidencia de complicaciones, al ODI preoperatorio y al final del seguimiento, su mejora y la EVA y su mejora ($p > 0.05$). La selección de S1 como LIV sin fijación pélvica después de la PSO de un nivel en la cifosis toracolumbar causada por la espondilitis anquilosante podría lograr resultados quirúrgicos satisfactorios y podría no aumentar las complicaciones; por lo que la recomiendan en casos de desequilibrio sagital severo.²³

En el caso de distrofia muscular de Duchenne, las ventajas de una menor pérdida de sangre y tiempo quirúrgico sin necesidad de fijación pélvica parecen inclinar el veredicto a favor del sistema de tornillo pedicular;⁶ hay condiciones particulares en que no es necesario fijar la pelvis en la cirugía.⁸ La instrumentación segmentaria de tornillo pedicular y la fusión a L5 es efectiva y segura en pacientes con escoliosis

secundaria a DMD sin oblicuidad pélvica significativa inicialmente y a largo plazo, obviando la necesidad de fijación al sacro/pelvis.²⁴

Un factor de riesgo en controversia para segmento adyacente inferior al evitar la fusión a sacro parece ser la edad mayor o menor a 50 años. Sin embargo, parecen existir diferencias entre instrumentaciones largas o cortas respecto al segmento adyacente. Taneichi y colaboradores concluyen que, durante instrumentaciones largas, aunque la fusión a L5 se realizó en pacientes seleccionados con discapacidad menos grave (mejor ODI) y deformidad menos compleja (tipo N), 50% de los casos requirieron fusión adicional a la pelvis. La toma de decisiones para detener la fusión prolongada en L5 para pacientes con deformidad espinal ≥ 50 años de edad debe hacerse con consideraciones cuidadosas.²⁵

En cambio, durante instrumentaciones cortas, Maragkos y asociados encontraron que la edad avanzada se asoció con menor incidencia de segmento adyacente (OR = 0.95, $p = 0.011$) y concluyen que al considerar la fusión posterior L4-L5, los cirujanos deben abstenerse de procedimientos profilácticos en el nivel L5-S1, sin indicaciones clínicas, porque la incidencia de segmento adyacente en ese segmento es tranquilizadamente baja.²⁶

Otro factor importante para segmento adyacente relacionado pudiera radicar en la degeneración discal L5-S1 preexistente. Sin embargo, Choi y colegas, durante un análisis de seguimiento a siete años de 58 pacientes con espondilolistesis L4-L5 a quienes se les practicó fusión L4-L5, 22 de los cuales con degeneración discal L5-S1 preexistente y 36 sin degeneración L5-S1 preexistente, encontraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas de segmento adyacente inferior. Y concluyen que la degeneración discal L5-S1 preexistente no afecta los resultados clínicos y radiográficos después de la fusión aislada de L4-L5.²⁷

Respecto a las fusiones lumbares cortas, durante las fusiones de L4-L5, Ghiselli y su equipo concluyeron que no parece haber necesidad de incluir rutinariamente el segmento L5-S1 cuando se realiza una fusión lumbar posterior para pacientes con inestabilidad o estenosis en L4-L5, si no se atribuyen síntomas al nivel lumbosacro. A un promedio de 7.3 años, no hubo aumento de la degeneración sintomática del disco ni síntomas que tuvieran la necesidad de una fusión L5-S1.²⁸

Así también, Lawton y colaboradores mencionan que, a pesar de las diferencias en la biomecánica y los

desafíos anatómicos únicos en el interespacio L5-S1, no hay diferencias en los resultados autoinformados para los pacientes tratados con fusión intersomática lumbar transforaminal mínimamente invasiva en el nivel L4-L5 en comparación con el nivel L5-S1.²⁹

La selección del nivel de fusión distal hasta L5 (evitando fusión a sacro) no parece retener suficiente influencia espinal para afectar sustancialmente la función postoperatoria.³⁰

CONCLUSIÓN

El encontrar un segmento L5-S1 sano e íntegro proporciona ventajas biomecánicas y quirúrgicas que ayudan a contribuir a mejores resultados y menores complicaciones en fusiones toracolumbar y lumbar corta. Se recomienda seleccionar adecuadamente a los pacientes a quienes se planea evitar la fusión L5-S1, especialmente durante fusiones largas, y esforzarse por obtener óptimos resultados postoperatorios en parámetros espinopélvicos y buena corrección de la curva fraccional postoperatoria. Las características de selección incluyen: preservación de altura del disco L5-S1, buen equilibrio sagital, lordosis lumbar preservada, $IP > 48.5^\circ$, $SVA < 4.43$ cm y $SFD < 5.65$ cm.

REFERENCIAS

1. Acevedo JC, Pérez Rodríguez JC. Nuevo concepto de unidad funcional lumbo-sacro-coccígea-pélvica. Bases teóricas y repercusión en el análisis clínico y terapéutico de los pacientes con dolor lumbar. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*. 2016; 23: 260-268.
2. Lomelí-Rivas A, Larrinúa-Betancourt JE. Biomechanics of the lumbar spine: a clinical approach. *Acta Ortop Mex*. 2019; 33: 185-191.
3. Neyra HIT, Marrero EEF, Sáez HT, Seife RM. Influencia del balance sagital sobre los cambios degenerativos de la columna vertebral (I). *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*. 2020; 34.
4. Wang S, Zhou Q, Xu L, Wang M, Qiu Y, Zhu Z, et al. Impact of lumbar fusion on sitting spinopelvic balance: Multisegmental versus monosegmental. *Clin Neurol Neurosurg*. 2021; 209: 106905.
5. Ruosi C, Liccardo S, Granata F, Barbato A, Lupoli S, M. D'Anna. XXXV Italian Spine Society National Congress Ergife Palace Hotel, Rome, Italy May, 17th-19th 2012. *European Spine Journal*. 2012; 21: 754-816.
6. Arun R, Srinivas S, Mehdian SMH. Scoliosis in Duchenne's muscular dystrophy: a changing trend in surgical management. *European Spine Journal*. 2009; 19: 376-383.
7. Edwards CC 2nd, Bridwell KH, Patel A, Rinella AS, Berra A, Lenke LG. Long adult deformity fusions to L5

- and the sacrum. A matched cohort analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004; 29: 1996-2005.
8. Cervellati S, Palmisani M, Dema E. Surgical treatment of vertebral deformities in duchenne muscular dystrophy; it is always necessary to fix the pelvis? *Eur Spine J*. 2016; 25: 1300-1346.
 9. Zaborovskii N, Ptashnikov D, Mikhaylov D, Smekalenkov O, Masevnin S, Lapaeva O, et al. Spinal deformity in elderly patients: comparison of two distal termination sites of lumbar curve fusion. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017; 27: 73-78.
 10. Swamy G, Berven SH, Bradford DS. The selection of L5 versus S1 in long fusions for adult idiopathic scoliosis. *Neurosurg Clin N Am*. 2007; 18: 281-288.
 11. Bridwell KH, Edwards CC 2nd, Lenke LG. The pros and cons to saving the L5-S1 motion segment in a long scoliosis fusion construct. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003; 28: S234-242.
 12. Sardar ZM, Ouellet JA, Fischer DJ, Skelly AC. Outcomes in adult scoliosis patients who undergo spinal fusion stopping at L5 compared with extension to the sacrum. *Evid Based Spine Care J*. 2013; 4: 96-104.
 13. Jia F, Wang G, Liu X, Li T, Sun J. Comparison of long fusion terminating at L5 versus the sacrum in treating adult spinal deformity: a meta-analysis. *Eur Spine J*. 2020; 29: 24-35.
 14. Untch C, Liu Q, Hart R. Segmental motion adjacent to an instrumented lumbar fusion: the effect of extension of fusion to the sacrum. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004; 29: 2376-2381.
 15. Patwardhan AG, Sielatycki JA, Havey RM, Humphreys SC, Hodges SD, Blank KR, et al. Loading of the lumbar spine during transition from standing to sitting: effect of fusion versus motion preservation at L4-L5 and L5-S1. *Spine J*. 2021; 21: 708-719.
 16. Cho K-J, Suk S-I, Park S-R, Kim J-H, Choi S-W, Yoon Y-H, et al. Arthrodesis to L5 versus S1 in long instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J*. 2009; 18: 531-537.
 17. Edwards CC 2nd, Bridwell KH, Patel A, Rinella AS, Jung Kim Y, Berra ABA, et al. Thoracolumbar deformity arthrodesis to L5 in adults: the fate of the L5-S1 disc. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003; 28: 2122-2131.
 18. Kuhns CA, Bridwell KH, Lenke LG, Amor C, Lehman RA, Buchowski JM, et al. Thoracolumbar deformity arthrodesis stopping at L5: Fate of the L5-S1 disc, minimum 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007; 32: 2771-2776.
 19. Izumi Y, Kumano K. Analysis of sagittal lumbar alignment before and after posterior instrumentation: risk factor for adjacent unfused segment. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2001; 11: 9-13.
 20. Brown KM, Ludwig SC, Gelb DE. Radiographic predictors of outcome after long fusion to L5 in adult scoliosis. *J Spinal Disord Tech*. 2004; 17: 358-366.
 21. Yan C, Gao X, Sun Y, Dong Z, Shen Y. The preoperative predictors for subsequent degeneration in L5-S1 disc after long fusion arthrodesis terminating at L5 in patients with adult scoliosis: focus on spinopelvic parameters. *J Orthop Surg Res*. 2018; 13: 285.
 22. Godde S, Fritsch E, Dienst M, Kohn D. Influence of cage geometry on sagittal alignment in instrumented posterior lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003; 28: 1693-1699.
 23. Huang J-C, Diao W-Y, Qian B-P, Wang B, Yu Y, Qiao M, et al. Can fusion to S1 maintain favorable surgical outcomes following one-level pedicle subtraction osteotomy in patients with thoracolumbar kyphosis secondary to ankylosing spondylitis? *Eur Spine J*. 2020; 29: 3028-3037.
 24. Takaso M, Nakazawa T, Imura T, Okada T, Ueno M, Fukushima K, et al. Segmental pedicle screws instrumentation and fusion to L5 for spinal deformity secondary to Duchenne muscular dystrophy: results with a minimum of 2 years follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2010; 20: 453-461.
 25. Taneichi H, Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, Sorimachi T, Ueda H, et al. Can we stop the long fusion at L5 for selected adult spinal deformity patients with less severe disability and less complex deformity? *Clin Neurol Neurosurg*. 2020; 194: 105917.
 26. Maragos GA, Atesok K, Papavassiliou E. Prognostic factors for adjacent segment disease after L4-L5 lumbar fusion. *Neurosurgery*. 2020; 86: 835-842.
 27. Choi K-C, Shim H-K, Kim J-S, Lee S-H. Does pre-existing L5-S1 degeneration affect outcomes after isolated L4-5 fusion for spondylolisthesis? *J Orthop Surg Res*. 2015; 10: 39.
 28. Ghiselli G, Wang JC, Hsu WK, Dawson EG. L5-S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4-L5 isolated fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003; 28: 1275-1280; discussion 1280.
 29. Lawton CD, Smith ZA, Nixon AT, Dahdaleh NS, Wong AP, Khanna R, et al. The effect of surgical level on self-reported clinical outcomes after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: L4-L5 versus L5-S1. *World Neurosurg*. 2014; 81: 177-182.
 30. Daniels AH, Koller H, Hiratzka SL, Mayer M, Meier O, Contag AG, et al. Selecting caudal fusion levels: 2 year functional and stiffness outcomes with matched pairs analysis in multilevel fusion to L5 versus S1. *Eur Spine J*. 2017; 26: 1645-1651.

Conflicto de intereses: ninguno.