

Fijación lumbopelviana con tornillos en pacientes adultos

PABLO RIZZI, DANIEL CANTEROS LEYES, DANTE MALDONADO, MAURO BRUZZONE,
MAURICIO REARTES, PABLO REGAZZONI y SAMUEL KEES

Hospital Español, Buenos Aires

RESUMEN

Introducción: Lograr una artrodesis sólida a nivel de L5-S1 constituye siempre una dificultad mayor que en otros niveles de la columna lumbar o torácica. La fijación con tornillos a las alas ilíacas representa una alternativa dentro de los diversos métodos de fijación.

Objetivo: Evaluar los resultados de la fijación pelviana con tornillos en pacientes adultos sin problemas de la marcha, considerando especialmente la fijación en 4 puntos por debajo de L5.

Materiales y métodos: Veinticinco pacientes, con un seguimiento mínimo de 12 meses. Diagnósticos predominantes: escoliosis, pseudoartrosis.

Resultados: Veintinueve pacientes con distintas patologías fueron tratados por medio de fijación con tornillos pelvianos y los resultados se evaluaron mediante control clínico (escala analógica visual [EAV] y escala de Oswestry) y control radiográfico. Los resultados obtenidos fueron: EAV preoperatoria 7,8% y EAV posoperatoria 3,1%. El puntaje para dolor ilíaco posoperatorio en la EAV fue del 3,3% y el puntaje Oswestry preoperatorio, del 74,4%, mientras que el del período posoperatorio fue, en promedio, del 31,5%. En cuatro pacientes fue necesario retirar el implante, en todos los casos por radiolucidez de los tornillos ilíacos. Se produjo la rotura de ambos tornillos ilíacos en 2 casos y se logró la fusión en los 24 casos restantes.

Conclusión: La fijación con tornillos pelvianos en fusiones largas, si bien no está exenta de complicaciones, es un método eficaz para lograr un alto índice de fusión lumbosacra en casos especialmente complejos por el largo de la fusión o por el fracaso de cirugías previas; es una técnica sencilla y con un moderado índice de dolor pelviano

no solo en el número de pacientes, sino también en la intensidad del dolor, lo que quedó evidenciado por el bajo número de pacientes que fueron reintervenidos para el retiro de los tornillos.

PALABRAS CLAVE: Fijación pelviana. Artrodesis. Fusión lumbosacra. Tornillos pelvianos.

LUMBOPELVIC FIXATION WITH SCREWS IN ADULT PATIENTS

ABSTRACT

Background: To achieve a solid fusion at L5-S1 is always more difficult than at other levels of the lumbar or thoracic spine. Fixation with screws to the iliac wings represents an alternative within the various methods of fixation.

Objective: To evaluate the results of pelvic fixation with screws in adult patients without gait problems, specially considering the fixation in 4 points below L5.

Methods: Twenty-five patients followed for at least 12 months. Predominant diagnosis: scoliosis, pseudoarthrosis.

Results: Twenty-nine patients with several diseases underwent pelvic screw fixation. Results were evaluated by clinical assessment (VAS and Oswestry scale) and radiographic control. Results were as follows: preoperative VAS 7.8% and postoperative VAS 3.1%. The iliac postoperative pain in the VAS was 3.3%. Preoperative Oswestry scale was 74.4%, while the average postoperative percentage was 31.5%. Four patients required implant removal, all determined radiographically by radiolucent iliac screws. Rupture occurred in both iliac screws in 2 cases, and fusion was achieved in the remaining 24 cases.

Conclusions: The pelvic screw fixation in long mergers is not free of complications, but it is an effective method to achieve a high rate of lumbosacral fusion in particularly complex cases by the length of the merger or the failure of previous surgery; it is a simple technique with a

Recibido el 25-7-2012. Aceptado luego de la evaluación el 14-11-2012.

Correspondencia:

Dr. DANIEL CANTEROS LEYES
dcl1980@hotmail.com

moderate rate of pelvic pain not only in the number of patients, but also in pain intensity, which was evidenced by the low number of patients who were reoperated on for removal of the screws.

KEY WORDS: Pelvic fixation. Arthrodesis. Fusion lumbosacral. Pelvic screws.

Introducción

Lograr una artrodesis sólida a nivel de L5-S1 constituye siempre una dificultad mayor que en otros niveles de la columna lumbar o torácica.^{1,2} Las características anatómicas de la charnela lumbosacra hacen que esta región sea un verdadero desafío para los distintos y más modernos métodos de contención. Las complicaciones que surgen de la insuficiente fijación lumbosacra son aflojamiento o rotura de la instrumentación, aflojamiento de los tornillos, pérdida de la lordosis lumbar o del balance sagital, fractura sacra, etc.³⁻¹⁰

Por estos motivos, desde hace muchos años, se han propuesto diversas técnicas para reforzar la fijación pedicular de S1 y que no recaiga sólo sobre esta vértebra toda la fuerza que proviene desde el sector lumbar proximal. Entre ellas podemos citar los tornillos pediculares en S2, los ganchos en S1 o S2, el alambrado sublaminaar en S1, la fijación con tornillos a los alerones sacros (técnica de Chopin), la fijación intrasacra de Jackson o la barra transilíaca de Kostuik.^{11,12} La fijación con tornillos a las alas ilíacas representa una alternativa extra a estos modos de fijación.

La fijación ilíaca con alambre fue descrita inicialmente para el mal de Pott, luego, alcanzó mayor desarrollo y utilización por medio de la técnica de Galveston,¹³ especialmente indicada para las deformidades neuromusculares. Más tarde y acompañando a la generalización del uso de tornillos como método de fijación en todo el raquis, la barra lisa de la técnica de Galveston fue reemplazada también por tornillos que se unen a la barra en forma directa o por medio de conectores.

Se evaluaron retrospectivamente los resultados de la fijación pelviana con tornillos en pacientes adultos sin trastorno alguno en la marcha, y se dio especial importancia al valor de la fijación en 4 puntos por debajo de L5, al índice de fusión y a los síntomas pelvianos posoperatorios.

Materiales y métodos

Técnica quirúrgica de fijación pelviana

La colocación de estos tornillos requiere de conocimientos anatómicos y de la compresión tridimensional del espacio en el que se implantará el tornillo, como así

también de la correcta interpretación radioscópica que se realiza durante la cirugía.

Por medio de estudios anatómicos y radiográficos, Thomas A. Schildhauer y cols. consideran que tornillos de 6 a 8 mm de diámetro y de 130 mm de longitud en mujeres, y de 140 mm en hombres, son medidas suficientes tanto para proporcionar solidez a la fijación como para evitar lesiones.⁹

El sitio de ingreso del tornillo ilíaco es la espina ilíaca posterosuperior, localizado lateral al pedículo de S2,¹⁴ a ese nivel se realiza una osteotomía y la resección de un fragmento óseo de 1 cm³ de la espina ilíaca, lo cual proporciona injerto óseo autólogo y permite que la cabeza del tornillo no protruya por encima de los límites del resto de la cresta ilíaca. En esta posición, el tornillo queda en un sitio más lateral a la línea de los tornillos pediculares colocados en la columna lumbar y en S1, y requiere del empleo de un dispositivo conector entre el tornillo y la barra o de un modelado de la barra en los tres planos del espacio que, a veces, puede resultar difícil.

Vaccaro y cols. desarrollaron una técnica alternativa en la que el sitio de entrada está localizado en el borde medial de la cresta ilíaca posterosuperior, por lo que, entonces, la tulipa del tornillo queda más alineada con los tornillos colocados en los pedículos de las vértebras lumbares y S1, y así, permite prescindir del conector.¹⁵

Ambas técnicas continúan con la inserción del localizador pedicular, que avanza entre las dos corticales ilíacas en dirección de 20° medial al plano sagital y 30°-35° caudal al plano transversal en dirección a la espina ilíaca anterosuperior. Por medio de la palpación directa, se identifica la escotadura ciática y se posiciona el tornillo pasando aproximadamente entre 1 y 2 cm de esta. La posición del tornillo se confirma por medio de radioscopia en ambos planos.⁹

En este trabajo, se han utilizado, en forma indistinta, ambas técnicas de colocación, según el sitio donde se ubicó el tornillo y la disponibilidad o no del conector barra-tornillo pelviano.

Criterios de inclusión: En este estudio, se evaluó a pacientes adultos de ambos sexos. Se incluyeron todo tipo de patologías con indicación quirúrgica a causa del dolor y que requerían fijación pelviana; asimismo, se incluyeron segundas intervenciones reconstructivas o reparadoras; 2 pacientes con escoliosis idiopática (pacientes 9 y 24) sin dolor prequirúrgico y con indicación de cirugía debido a la deformidad.

Criterios de exclusión: Lesiones oncológicas del sacro, metástasis o tumores primarios.

La valoración se llevó a cabo mediante el control clínico y radiográfico. Para el control clínico, se evaluó a los pacientes antes de la cirugía y después de ella, mediante la escala de Oswestry y la escala analógica visual (EAV); además, con esta misma escala, se determinó el dolor pelviano posquirúrgico.

La evolución tanto de la fijación como de la fusión se controló con radiografías de frente, perfil y la incidencia de Ferguson. En algunos pocos casos, ante dudas diagnósticas respecto de la posición de los tornillos o del grado de fusión, se recurrió también a la tomografía computarizada. Los parámetros radiográficos evaluados para la valoración se basaron en los criterios de las clasificaciones de Lenke y Bridwell, y Dvorak.

Según la escala de Lenke y Bridwell,¹⁶ el grado A es fusión sólida; el grado B, probable fusión sólida con un lado de consolidación franca; el grado C, probable pseudoartrosis con puentes poco definidos y delgados; y el grado D, pseudoartrosis. La escala de Dvorak¹⁷ considera igualmente 4 grados:

- Grado 0: Pseudoartrosis. Se caracteriza por alguno de estos datos: colapso del sistema de fijación, reabsorción del injerto, línea radiolúcida franca que rodea todo el injerto o más de 5° de movimiento en las radiografías de flexión y extensión.

- Grado 1: Fusión incierta. Los puentes de fusión presentan, al menos, 50% de radiolucencia visible en el área de injerto.

- Grado 2: Fusión probablemente sólida: Hueso trabecular que atraviesa el espacio discal. No hay movimiento entre las radiografías de flexión y extensión.

- Grado 3: Fusión sólida. Hueso trabecular entre los espacios discales. Ausencia de movimiento entre las radiografías de flexión y extensión, ausencia de colapso del injerto o ausencia de líneas de radiolucencia a través del injerto.

También se consideraron aspectos básicos, como la radiolucencia alrededor de los tornillos, que se interpretó como imagen de su aflojamiento.

Resultados

Desde el 1 de junio de 2006 hasta el 30 de mayo de 2010, 29 pacientes con distintas patologías fueron tratados por medio de fijación con tornillos pelvianos. Cuatro de ellos sufrían lesiones oncológicas del sacro (3 metástasis y un tumor primario) y fueron excluidos de esta serie, por lo que quedaron finalmente 25 pacientes.

Los pacientes eran 21 mujeres (84%) y 4 hombres (16%), con un promedio de edad de 56 ± 11 años (rango 26-70). El tiempo mínimo de seguimiento fue de 12 meses; el máximo, de 57, con un promedio de $25,5 \pm 11,5$ meses.

Los diagnósticos prequirúrgicos fueron escoliosis degenerativa (10 casos), pseudoartrosis L5-S1 (5 casos), dorso plano (3 casos), escoliosis idiopática (2 casos), discopatía L5-S1 debajo de fusión previa (2 casos), hidatidosis (2 casos) y osteomielitis (1 caso). En 14 pacientes, la cirugía de fijación pelviana fue realizada en forma primaria, y los 11 casos restantes correspondieron a segundas intervenciones reconstructivas o reparadoras (Tabla 1).

Los niveles de fijación variaron entre 3 y 17, se computaron 12 fusiones largas (desde L1 o por arriba) y 13 cortas (desde L2 hacia distal) en coincidencia con otros autores.¹⁸

En 15 pacientes, se utilizaron tornillos pelvianos con conector barra-tornillo y, en otros 8, sistemas en los que el tornillo se ajustaba directamente a la barra que continuaba hacia proximal con la fijación a los tornillos pediculares de la columna lumbar. Hubo dos pacientes en quienes, por motivos técnicos, se usó un tornillo con conector del lado izquierdo y tornillo sin conector del lado derecho.

En todos los pacientes, se utilizó injerto autólogo. En 11 de ellos, se agregó sustituto óseo que consistió en un compuesto sintético de fosfato cálcico.

En 21 pacientes, se agregó a la fijación pelviana alguna forma de fusión 360° por medio de injerto colocado por vía anterior o vía posterior con alguna estructura sólida (cajas intersomáticas o jaulas) o sin ella (Figura).

El puntaje promedio preoperatorio en la EAV era de $7,8 \pm 2,4$ puntos (rango 7-10) y el puntaje promedio posquirúrgico, de $3,1 \pm 1,4$ puntos (rango 1-6). El puntaje para dolor ilíaco posoperatorio en la EAV fue de $3,36 \pm 2,9$ en promedio, con un rango de 0 a 8.

El resultado preoperatorio en la escala de Oswestry fue $74,44 \pm 0,22\%$ en promedio (rango 96-58), mientras que la valoración posoperatoria mostró un promedio de $31,52 \pm 0,13\%$ (rango 66-6), de lo cual se desprende un descenso promedio del 57,43%.

En las radiografías, fue posible determinar la radiolucencia en ambos tornillos ilíacos en 3 casos (7, 23 y 24) entre los meses 8 y 16 del posoperatorio, y la radiolucencia unilateral en 2 casos (1 y 25) entre los meses 8 y 10 del posoperatorio; en 4 de estos 5 casos, fue necesario retirar el implante (pacientes 1, 23, 24 y 25) (Tabla 2).

De los 50 tornillos implantados, 2 (casos 3 y 13) violaron la cortical externa de la pelvis, ambos casos tuvieron una fusión de Lenke grado A.

Se produjo la rotura de ambos tornillos ilíacos en 2 casos (4 y 7); el paciente 4 evolucionó a pseudoartrosis con fusión grado C de la clasificación de Lenke; en los 24 casos restantes (96%), se logró la fusión (Tabla 3).

Complicaciones intraoperatorias: 12%

- Durotomía accidental: 2 casos

- Excesivo sangrado y suspensión de la cirugía: 1 caso

Complicaciones posoperatorias: 48%

- Aflojamiento mecánico de los tornillos pelvianos: 4 casos

- Dehiscencia de la herida quirúrgica: 2 casos

- Espalda plana: 1 caso

- Mala posición del tornillo pelviano: 2 casos

- Pseudoartrosis: 1 caso

- Rotura de tornillos pelvianos: 2 casos

Necesidad de reintervención: 16%

- Retiro del implante: 4 casos

Tabla 1. Datos demográficos, diagnósticos, tratamiento, seguimiento en meses

Paciente	Sexo	Edad	Diagnóstico	Cirugía	Niveles	Seg. (m)
1	F	63	Seudoartrosis L5-S1. Dorso plano	OP L3. Fusión L1-S/P (T2-S/P)	17	41
2	F	56	Escoliosis degenerativa de novo. Dorso plano	OSP. L2-S/P	5	30
3	M	62	Seudoartrosis L5-S1. Fx sacro	L3-S/P	4	26
4	F	64	Cifosis de fusión proximal y colapso T9. Dorso plano	OP L3. Fusión T2-S/P	17	23
5	F	58	Escoliosis degenerativa de novo	L2-S/P	5	19
6	F	58	Escoliosis degenerativa de novo	T10-S/P	9	19
7	F	44	Seudoartrosis L5-S1. Inestabilidad 3o. y 4o.	L3-S/P	4	18
8	F	61	Escoliosis degenerativa de novo	T10-S/P	9	18
9	F	38	Escoliosis del adulto	T2-S/P	17	22
10	F	42	Seudoartrosis L5/S1 y DD 4o.	L4-S/P	3	22
11	F	60	Seudoartrosis L2-L3-L4. Dorso plano	OSP. L2-S/P	5	18
12	F	62	Discopatía adyacente (5o.) a fusión L3-L5	L3-S/P	4	16
13	F	68	Escoliosis degenerativa de novo	T12-S/P	7	14
14	F	65	Discopatía adyacente (2o. y 5o.) a fusión.L3-L5	L2-S/P	5	13
15	F	61	Hidatidosis lumbosacra con inestabilidad	Doble vía L3-S/P Malla L4-S1	4	48
16	M	62	Osteomielitis L5-S1 posdiscectomía	Doble vía L4-S/P, Malla L4-S1	3	24
17	F	70	Escoliosis degenerativa	L2-S/P	5	28
18	M	39	Hidatidosis L5-S1-S2	Doble vía L4-S/P, Malla	3	12
19	F	68	Seudoartrosis L4-L5, cifosis posoperatoria (rotura del implante)	T12-S/P	7	15
20	F	54	Escoliosis del adulto	T11-S/P	8	26
21	F	51	Escoliosis del adulto	T11-S/P	8	29
22	F	54	Seudoartrosis L5-S1	L4-S/P	3	23
23	F	55	Escoliosis del adulto	T4-S/P	16	57
24	M	26	Escoliosis	T4-S/P	16	46
25	F	60	Escoliosis del adulto	T4-S/P	16	31

OP = osteotomía pedicular, OSP = osteotomía de Smith-Petersen, S/P = sacro/pelvis.

Discusión

Fusión lumbosacra

Existen diversos motivos que sumados determinan que, en muchos casos, lograr una fusión lumbosacra sea un verdadero problema, particularmente debido a las características anatómicas del sacro y al comportamiento biomecánico de dicho sector, entre ellas:¹⁸

1) El cambio de eje en el que pasa de la lordosis lumbar a la cifosis sacra en el plano sagital.

2) La distribución de las fuerzas que, bajando por la columna lumbar, deben dividirse en forma equitativa y oblicua hacia ambas articulaciones sacroilíacas y a la pelvis: una característica diferencial con otras vértebras que distribuyen su carga en forma axial al segmento inmediato inferior.

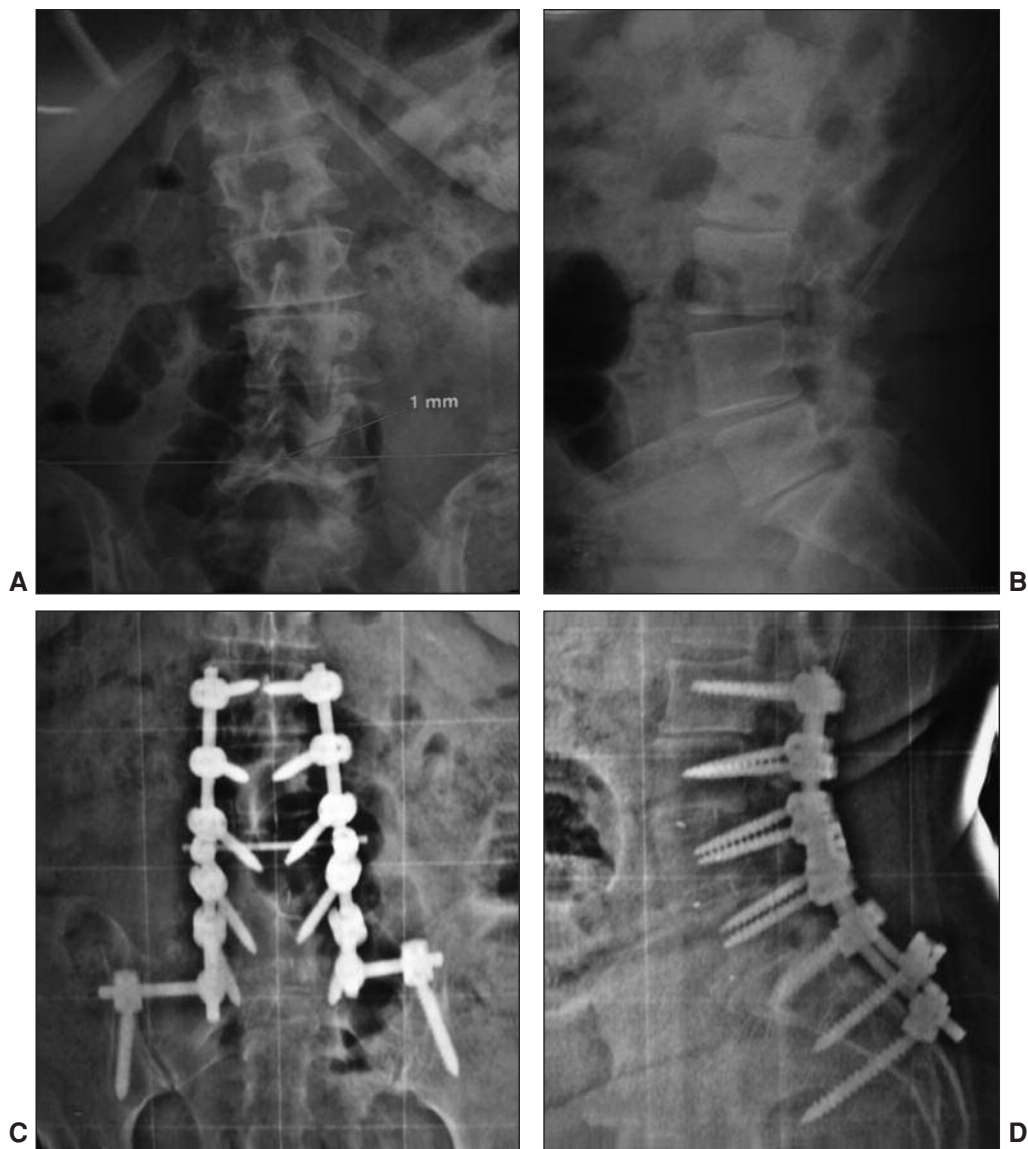


Figura. Paciente de 58 años, con escoliosis degenerativa de novo asociada a un conducto estrecho lumbar (A y B), a quien se le indicó cirugía primaria de liberación y artrodesis desde L2 hasta el sacro con fusión 360° en el 3ro, 4to y 5to espacio, reforzando la fijación lumbosacra con tornillos pelvianos (C y D), con muy buena evolución posoperatoria del cuadro clínico y sin dolor a nivel de los tornillos pelvianos.

3) La particularidad de S1 de tener un área proximal móvil y otra distal fija, y esta también es otra característica diferencial respecto de otras vértebras.

De esta forma, recaen sobre el sacro desde el plano sagital fuerzas que actúan en forma cizallante y oblicua sobre la placa terminal de S1 y, desde el plano coronal, movimientos y fuerzas rotatorios que viajan desde la columna hacia los miembros inferiores.

A esto, además, se debe sumar el menor volumen de S1 en relación con otras vértebras y su estructura ósea que, en su mayoría, está formada por hueso esponjoso con delgadas corticales.

La fijación pelviana tiene varias ventajas por sobre los demás métodos de fijación descritos y utilizados como coadyuvantes de la fijación pedicular en S1:

1) Actúa sobre otro hueso distinto del sacro (a diferencia de cualquier otro método que fije sobre el mismo sacro, como alambres, ganchos o tornillos, incluidos los tornillos al alerón).

2) Debido a la disposición de los tornillos pelvianos, estos son más eficaces para controlar las fuerzas oblicuas y rotacionales tomando a la pelvis desde sus "alas"¹ y no intentando contenerlas sólo desde el sacro en el que la toma es sólo central.

Tabla 2. Valoración posoperatoria por medio del control clínico y radiográfico

Paciente	EAV preoperatoria	EAV posoperatoria	Oswestry preoperatoria (%)	Oswestry posoperatoria (%)	Dolor ilíaco EAV unilateral	Radiolucencia
1	8	5	69	38	7	Sí
2	8	1	74	14	2	No
3	10	2	84	28	2	No
4	9	3	84	36	3	No
5	8	1	66	6	0	No
6	7	2	76	26	3	No
7	9	6	58	44	5	Sí*
8	9	4	86	33	3	No
9	1	3	8	24	1	No
10	9	5	84	66	7	No
11	10	4	88	48	3	No
12	9	3	71	35	6	No
13	7	2	86	35	0	No
14	8	2	75	20	1	No
15	10	4	92	35	4	No
16	9	5	96	40	0	No
17	9	4	72	40	2	No
18	9	5	92	45	5	No
19	7	3	78	40	4	No
20	8	2	82	22	3	No
21	7	1	78	12	4	No
22	8	2	80	16	1	No
23	8	3	84	26	8	Sí*
24	1	2	6	14	4	Sí*
25	9	4	92	45	6	Sí

EAV = Escala analógica visual; *radiolucencia bilateral.

3) El largo y el diámetro de los tornillos que proveen de una firmeza mayor que los tornillos colocados en los alerones o pedículos del sacro inferiores a S1.

En un estudio biomecánico sobre la longitud de los tornillos pelvianos y su aumento con cemento para la fuerza de fijación, Zheng y cols. llegaron a la conclusión de que los tornillos ilíacos largos tienen la mejor fuerza de fijación, que los tornillos ilíacos cortos son proclives al aflojamiento después de la carga vertical (la cual no es fisiológica, y tal fuerza se aplica muy raramente a los pacientes), y que el aumento de los tornillos cortos con cemento demostró un incremento significativo en la fuerza de la fijación, en un grado similar al de los tornillos ilíacos largos.² Sin embargo, en el mismo estudio, demostraron

Tabla 3. Grados de fusión obtenidos evaluados con las escalas de Lenke¹³ y de Dvorak⁵

Cantidad de pacientes	Fusión de Lenke	Fusión de Dvorak
12	A	3
12	B	2
1	C	1

que, dentro de lo fisiológico, para las fuerzas rotacionales y compresivas, la estabilidad mecánica de una construcción lumbopelvíana de la fijación con los tornillos ilíacos

cortos es comparable con la de los tornillos largos. Por lo tanto, el uso de los tornillos ilíacos cortos, que tienen aproximadamente la mitad de la longitud de los tornillos ilíacos largos podría, sin influir en forma importante en la estabilidad de la fijación, reducir el riesgo de complicaciones en la colocación de los tornillos, como las violaciones en las corticales interna y externa del ilíaco y la penetración dentro del acetábulo.¹⁹

En nuestra serie, dando especial importancia a la fijación en 4 puntos por debajo de L5, más allá del largo del tornillo, utilizamos, en general, tornillos cortos y, al medir por el índice de fusión obtenido (96%), coincidimos con estos conceptos.

Además de la mayor firmeza en la fijación, consideramos que, desde el punto de vista técnico, es un método más sencillo y de menor riesgo que la fijación intrasacra de Jackson o la barra transilíaca de Kostuik.

En nuestra serie, no se produjeron daños vasculares, neurológicos, óseos ni articulares. La proximidad de la arteria glútea superior y del nervio ciático en la escotadura homónima no ha representado un problema, pues su localización es sencilla y se puede palpar durante la colocación del tornillo. Asimismo, los riesgos disminuyeron utilizando tornillos cortos que, como se mencionó, respondieron muy bien desde el punto de vista biomecánico.

Dolor pelviano

El índice de dolor en la pelvis por los tornillos, si bien es considerable (el 64% con un puntaje de 3 o más en la EAV de dolor pelviano), en la mayoría de los casos, no

fue de intensidad suficiente como para obligar a una nueva intervención quirúrgica para retirar los tornillos (4 pacientes, 16%). Así quedó demostrado cuando evaluamos que los pacientes que solicitaron o aceptaron una nueva cirugía fueron sólo cuatro. Cabe destacar que estos casos correspondían a fusiones largas toracolumbosacras. En los casos de fusiones cortas desde L1²⁰ o L2, no hubo pacientes reoperados. Tampoco fueron sometidos a una segunda cirugía otros pacientes con fijaciones largas, de modo tal que no podemos concluir que el largo de la fusión sea determinante para causar dolor, aunque sí contemplarlo como un factor predisponente. Probablemente el largo de la instrumentación genere un mayor brazo de palanca e influencia de fuerzas sobre los tornillos pelvianos, inclusive si se ha establecido una sólida fusión, y obviamente en los casos de pseudoartrosis.

Conclusión

La fijación con tornillos pelvianos en fusiones largas no está exenta de complicaciones, si bien el índice de complicaciones asciende al 48%, y el dolor pelviano posoperatorio es muy frecuente, la necesidad de reintervenciones solo representó el 16% de los casos; y es una buena alternativa de refuerzo en casos de fusiones lumbosacras.

El porcentaje de fusión obtenido fue elevado, más si se tiene en cuenta que la mayoría de los pacientes correspondían a reintervenciones o fusiones largas, ambas situaciones de reconocida alta incidencia de pseudoartrosis.

Bibliografía

1. Alegre GM, Gupta MC, Bay BK, Smith TS, Laubach JE. S1 screw bending moment with posterior spinal instrumentation across the lumbosacral junction after unilateral iliac crest harvest. *Spine* 2001;26:1950-5.
2. Zheng ZM, Yu BS, Chen H, Aladin DM, Zhang KB, Zhang JF, et al. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbo-iliac fixation constructs: an anatomical and biomechanical study. *Spine (Philadelphia)* 2009;34(16):E565-72.
3. Bridwell KH. Utilization of iliac screws and structural interbody grafting for revision spondylolisthesis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(6 Suppl):S88-96.
4. Kornblatt MD, Casey MP, Jacobs RR. Internal fixation in lumbosacral spine fusion: a biomechanical and clinical study. *Clin Orthop* 1986;203:141-9.
5. Kuklo TR, Bridwell KH, Lewis SJ, Baldus C, Blanke K, Iffrig TM, et al. Minimum 2-year analysis of sacropelvic fixation and L5-S1 fusion using S1 and iliac screws. *Spine* 2001;26(18):1976-83.
6. LaGrone MO, Bradford DS, Moe JL, Lonstein JE, Winter RB. Treatment of symptomatic flat back after spinal fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:569-80.
7. Pihlajamaki H, Bostman O, Ruuskanen M, Myllynen P, Kinnunen J, Kaaraharju E. Posterolateral lumbosacral fusion with transpedicular fixation: 63 consecutive cases followed for 4 (2-6) years. *Acta Orthop Scand* 1996;67:63-8.
8. Pihlajamaki H, Myllynen P, Bostman O. Complications of transpedicular lumbosacral fixation for nontraumatic disorders. *J Bone Joint Surg Br* 1997;79:183-9.
9. Schildhauer TA, McCulloch P, Chapman JR, Mann FA. Anatomic and radiographic considerations for placement of transiliac screws in lumbopelvic fixations. *J Spinal Disord Tech* 2002;15(3):199-205.

10. **Wood KB, Geissele AE, Oglivie JW.** Pelvic fractures after long lumbosacral spine fusions. *Spine* 1996;21:1357-62.
11. **Kostuik JP, Errico TJ, Gleason TF.** Techniques of internal fixation for degenerative conditions of the lumbar spine. *Clin Orthop* 1986;203:219-31.
12. **Kostuik JP, Musha Y.** Extension to the sacrum of previous adolescent scoliosis fusions in adult life. *Clin Orthop* 1999;364:53-60.
13. **Allen BL, Ferguson RL.** The Galveston technique for L-rod instrumentation of the scoliotic spine. *Spine* 1982;7:276-84.
14. **O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, Sponseller P, Kebaish KM.** An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement. *Spine* 2009;34(12):E439-E442.
15. **Harrop JS, Shiveindra B, Jeyamohan BS, Sharan A, Ratliff J, Vaccaro AR.** Iliac bolt fixation an anatomic approach. *J Spinal Disord Tech* 2009;22(8):541-4.
16. **Lenke LG, Bridwell KH.** Adult spondylolisthesis with lysis. En: Bridwell KH, DeWald RL, eds. *The Textbook of Spinal Surgery*, 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997:1269-98.
17. **Dvorak J.** Functional radiographic diagnosis of the lumbar spine. Flexion-extension and lateral bending. *Spine* 1991;16:562-71.
18. **Santos ER, Rosner MK, Perra JH, Polly DW Jr.** Spinopelvic fixation in deformity: a review. *Neurosurg Clin North Am* 2007;18(2):373-84.
19. **Akesen B, Wu C, Mehbod AA, Sokolowski M, Transfeldt EE.** Revision of loosened iliac screws: a biomechanical study of longer and bigger screws. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33:1423-8.
20. **Papadopoulos EC, Cammisa FP, Girardi FP.** Sacral fractures complicating thoracolumbar fusion to the sacrum. *Spine* 2008;33(19):E699-E707.