



ORIGINAL

Reducción abierta de fracturas toracolumbares y corrección del balance sagital usando tornillos Schanz

J.C. Gómez-Vega^{a,*} y M.F. Vergara Lago^b

^a Departamento de Neurocirugía Pontificia Universidad Javeriana, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia

^b Departamento de Neurocirugía, Hospital Santa Clara, Bogotá, Colombia

Recibido el 4 de junio de 2020; aceptado el 12 de julio de 2020

Disponible en Internet el 9 de enero de 2021

PALABRAS CLAVE

Fractura espinal;
Artrodesis;
Fusión espinal;
Ángulo Cobb

Resumen

Introducción: La corrección de fracturas de columna torácica y lumbar con una instrumentación corta con tornillos Schanz es un método eficaz para la estabilización y la restauración del balance sagital.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio observacional bidireccional donde se incluyeron pacientes sometidos a artrodesis con tornillos Schanz para manejo de fracturas torácicas y lumbares, se analizaron las características generales, tipo y ubicación de la fractura, además de la ganancia en la altura del cuerpo vertebral y ángulo segmentario antes y después de la cirugía. Se practicó control clínico e imagenológico postoperatorio y un mes después de esta. El valor $p < 0,05$ fue estadísticamente significativo.

Resultados: De 35 pacientes sometidos a artrodesis, 13 se excluyeron por ausencia de imágenes y seguimiento. Hubo una mayor proporción de hombres, la principal ubicación de la fractura y clasificación AO Spine fue en T12 y tipo A4/B1 respectivamente, no hubo complicación intraoperatoria, no se requirió transfusión y corta estancia hospitalaria. En el seguimiento se presentó una complicación leve. El cambio pre y postquirúrgico fue de 12° en el ángulo Cobb y 5,2 mm de altura en la vértebra fracturada, siendo estadísticamente significativos.

Conclusión: La corrección de la fractura de la columna toracolumbar y lumbar con fijación de segmento corto con tornillos Schanz es efectiva, segura y rápida, y muestra una ganancia significativa de la altura vertebral y la corrección del ángulo segmentario, como consecuencia, una corrección del equilibrio y la alineación de la columna vertebral.

© 2020 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: juancarlosgomezvega18@gmail.com (J.C. Gómez-Vega).

KEYWORDS

Spinal Fracture;
Arthrodesis;
Spinal fusion;
Cobb angle

Open reduction of thoraco-lumbar fractures and sagittal balance correction using Schanz screws

Abstract

Introduction: The correction of thoracic and lumbar spine fractures with a short instrumentation using Schanz screws, is an effective method for stabilization and sagittal balance restoration.

Materials and methods: Bidirectional observational study, included patients undergoing arthrodesis with Schanz screws to manage thoracic and lumbar fractures, the general characteristics, type, and location of the fracture, besides the gain in height of the vertebral body and segmental angle were analyzed. before and after surgery. Clinical and imaging control was performed postoperatively and 1 month after this. p-value < .05 was statistically significant.

Results: Of 35 patients undergoing arthrodesis, 13 were excluded due to the absence of images and follow-up. There was a higher proportion of men, the main location of the fracture and AO spine classification was in T12 and type A4/B1 respectively, there was no intraoperative complication, no transfusion was required, and a short hospital stay. A mild complication was presented in the follow-up. The average pre and postoperative change was 12 degrees in the Cobb angle and 5.2 mm vertebral body height in the fractured vertebra, these changes were statistically significant.

Conclusion: Thoracolumbar and lumbar spine fracture correction with short segment fixation using Schanz screws, is an effective, safe and fast, showing significantly vertebral height gain and segmental angle correction, as a consequence, a correction of the balance and alignment of the spine.

© 2020 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El trauma raquimedular (TRM) es un evento que produce alteraciones de la función sensorial, motora o autónoma normal y, en última instancia, afecta el bienestar físico, psicológico y social del paciente¹. Etiológicamente, más del 90% de los casos de TRM son causados por accidentes de tránsito, violencia, deportes o caídas, y sumado a que lesiones de la columna vertebral ocurren con frecuencia a una edad relativamente joven, el impacto socioeconómico es significativo².

Los sitios más frecuentemente afectados en el trauma raquimedular son: la región subaxial cervical (50%), seguido de la región torácica (35%) y la región lumbar (11%). Dentro de estas últimas, la unión toracolumbar es afectada en un 50-78% de los pacientes que están neurológicamente íntegros^{2,3}. El objetivo del tratamiento de fracturas es principalmente obtener y mantener una reducción estable que conduzca a una movilización temprana y, en última instancia, a una unión y función satisfactoria. Un objetivo secundario es restaurar la alineación sagital que ha ganado un énfasis creciente en la última década.

En pacientes neurológicamente íntegros, la decisión de realizar cirugía depende de la estabilidad y la deformidad cifótica postraumática. Existen diferentes tipos de sistemas para la reducción de fracturas de manera abierta o percutánea, así como fijaciones cortas o largas. Dentro del armamento con el que cuenta el cirujano de columna, el sistema de tornillo Schanz tiene un brazo de palanca largo que puede usarse para estabilizar la columna, corregir la cifosis postraumática y ofrecer una gran rigidez de construcción

una vez asegurado, con el beneficio que tiene una instrumentación corta. Por lo anterior, el objetivo del trabajo es presentar la experiencia en la corrección de fracturas dorsales y lumbares con técnica de fijación corta usando tornillos pediculares Schanz.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio de serie de casos bidireccional (retrospectivo y prospectivo), incluyendo aquellos pacientes que fueron sometidos a cirugía para la colocación de sistema de artrodesis con tornillos Schanz para manejo de fracturas toracolumbares traumáticas, se excluyeron aquellos pacientes con datos faltantes en la historia clínica, ausencia de imágenes postoperatorias de control y/o seguimiento. Se recolectó información sociodemográfica, ubicación y tipo de fractura de acuerdo con la calificación de la AO Spine⁴, altura del cuerpo vertebral fracturado y del ángulo Cobb (también llamado, ángulo segmentario) pre y posquirúrgico, además de complicaciones intra y posoperatorias. En cuanto al seguimiento clínico e imagenológico, este se realizó en el primer día y al primer mes del postoperatorio (fig. 1). Se les realizó de manera rutinaria a todos los pacientes toma de radiografía y tomografía axial computarizada (TAC) de columna torácica y lumbar al momento del trauma. Dada la disponibilidad de los recursos institucionales, se realizó resonancia magnética de columna torácica y lumbosacra a pacientes seleccionados que daban espera para la toma de esta, con el fin de determinar lesión del complejo ligamentario posterior.

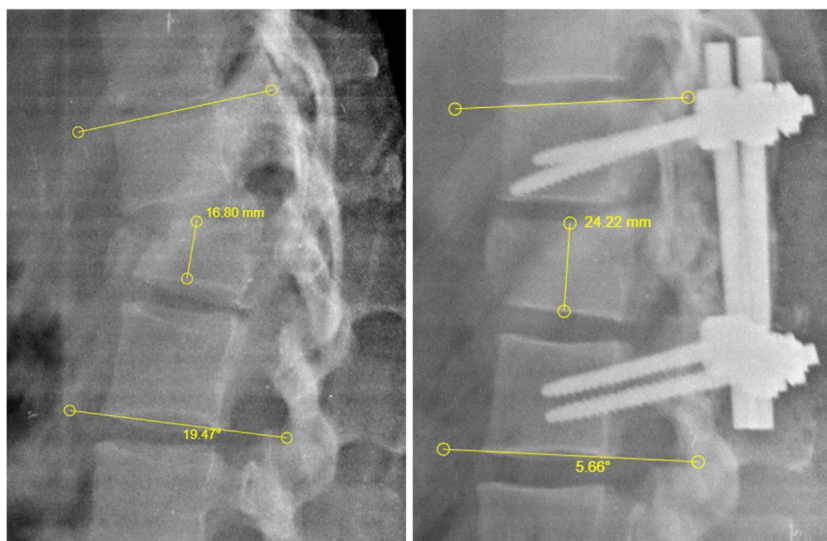


Figura 1 Medición de la altura y ángulo Cobb. Radiografía lumbar en proyección lateral pre y postquirúrgica para esquematizar la toma de medidas de la altura y ángulo Cobb. Altura del cuerpo vertebral, se mide tomando la distancia entre el platillo superior y platillo inferior de la vértebra fracturada, se expresa en milímetros. Ángulo Cobb, es el ángulo que resulta de la intersección de dos ángulos de 90° tomando como reparo el platillo superior de la vértebra superior y el platillo inferior de la vértebra inferior respecto a la vértebra fracturada, es expresado en grados.

Procedimiento

Se posiciona al paciente en decúbito prono, con los miembros superiores extendidos, se protegen zonas de presión con rollos, con fluoroscopia se marcan la línea media y los pedículos de las vértebras por encima y debajo de la fractura a intervenir. Se procede con disección subperióstica hasta exponer elementos posteriores de la columna. Con fluoroscopia en dos planos se colocan tornillos Schanz de manera bilateral, del diámetro previamente medido en imágenes, intentado siempre colocar los tornillos proximales en dirección caudal para una mejor palanca. Luego, se realiza maniobra de reducción y ligamentotaxis, y se fijan rotulas y barras. Con fresa redonda cortante se realiza escarificación de superficie ósea y colocación de injerto óseo heterólogo, se verifica hemostasia, se cierra por planos y se deja hemovac de 1/8 epifascial a necesidad. En algunos casos, en donde se encuentran fragmentos óseos dentro del canal, se realiza laminectomía más impactación de estos (fig. 2).

Estadística

La calidad del conjunto de nuestros datos fue verificada con el 10% de datos revisados al azar. Se realizó un análisis estadístico descriptivo para todas las variables consideradas en el análisis y para subgrupos seleccionados. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos; aquellos datos que siguen una distribución normal son presentados a través de promedio y desviación estándar, los cuales no siguen una distribución normal y son presentados como mediana y rangos intercuartílicos. Para analizar las variables cuantitativas continuas de un mismo grupo y con distribución normal (cambio en el ángulo Cobb y altura del cuerpo vertebral pre y postquirúrgicos) se usó el *t* de Student. Se usó el programa estadístico Stata versión 14.0

para el análisis estadístico, se consideró una diferencia estadísticamente significativa si $p \leq 0,05$ con un IC 95%.

Resultados

Treinta y cinco pacientes fueron sometidos a reducción abierta de fractura vertebral por medio de la colocación de tornillos Schanz desde el enero del 2016 hasta marzo del 2020 en el Hospital Santa Clara, Bogotá, Colombia. Se excluyeron 13 pacientes, ya que no contaban con imágenes postoperatorias y seguimiento clínico ambulatorio.

El análisis fue realizado con un total de 22 pacientes, donde su mayoría eran del género masculino, con una edad promedio de 34 años y un tiempo desde la clínica hasta la realización de la cirugía de ocho días. Los niveles en donde hubo más afectados fueron T12 y L1; dentro de estas, el tipo de fractura más frecuente fue B1 y A3/A4, respectivamente. Ningún paciente presentó complicaciones intraoperatorias, y solo un paciente tuvo una complicación menor (seroma), la cual se resolvió de manera espontánea en el seguimiento (tabla 1 y tabla 2). El tiempo quirúrgico está entre una hora y 1,5 horas, no se requirió transfusión de glóbulos rojos u otro tipo de hemoderivado intra o postquirúrgico, y a todos los pacientes se les dio egreso temprano cuando fue posible.

Respecto a la altura y ángulo Cobb antes y después de la intervención quirúrgica, en la figura 3, se pueden observar los gráficos de cajas y bigotes (*box plot*), apreciando un cambio de 5,2 mm en la altura y disminución del ángulo Cobb de 12° en el postoperatorio, esto fue estadísticamente significativo (tabla 1). Observamos además relación entre la recuperación de la altura vertebral y ángulo de Cobb con la severidad de la fractura; con fracturas de menor severidad usualmente existe una mayor corrección del tamaño y disminución del ángulo Cobb, comparadas con fracturas más severas (A4 y B). A pesar de esto, en las fracturas más

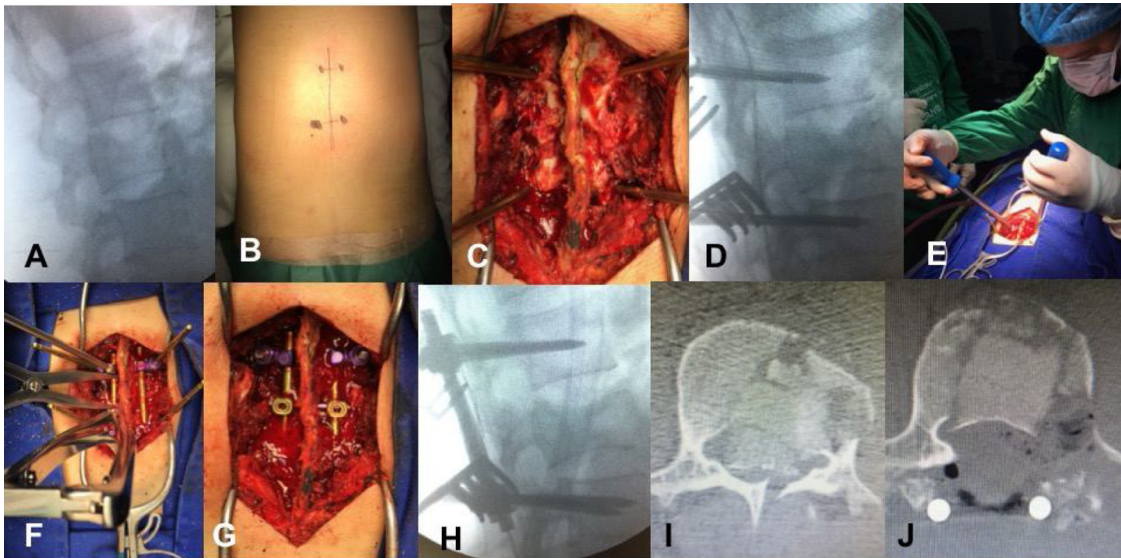


Figura 2 Técnica quirúrgica para colocación de tornillos Schanz. A) Marcación fluoroscópica de la fractura, se realiza en proyección anteroposterior y lateral. B) Marcación de herida quirúrgica en línea media, se marcan pedículos de vértebra superior e inferior a la fracturada. C) Disección subperióstica, paso de tornillos Schanz bajo guía fluoroscópica. D) Verificación del paso adecuado de los tornillos Schanz. E) Maniobra de reducción hacia superior, se realiza la misma maniobra hacia inferior. F) Distracción y ligamentotaxis. G) Después de la fijación del sistema, se realiza escarificación de superficie ósea y colocación de injerto óseo. H) Vista lateral intraoperatoria de la artrodesis y reducción de la fractura. I) Fragmentos óseos dentro del canal. J) Evidencia imagenológica de los fragmentos óseos intracanal posterior a la realización de laminectomía e impactación de estos.

severas es notorio un aumento de altura del cuerpo vertebral postoperatorio entre 3,7 y 6,5 mm y corrección del ángulo Cobb entre 4 a 12° (tabla 3). Se realiza control clínico e imagenológico al primer mes postoperatorio, sin observar pérdida en la altura, deformidad en cifosis o falla del material.

Discusión

La mayoría de las fracturas toracolumbares son lesiones estables, sin complicaciones neurológicas que generalmente son susceptibles de tratamiento no quirúrgico con corsé toracolumbar, permitiendo una deambulación temprana. Sin embargo, aquellas fracturas inestables provocan discapacidad, deformidad y déficit neurológico significativo^{4,5}. Hoy en día, existen aún controversias con respecto a los estudios imagenológicos apropiados, indicaciones para el tratamiento quirúrgico, el momento de la cirugía, el enfoque y el tipo de cirugía, la necesidad de fusión y el papel de la descompresión del canal espinal⁵. Dentro de las indicaciones de cirugía encontramos: déficit neurológico progresivo, compresión medular, inestabilidad rotacional, cifosis sintomática progresiva, cifosis > 30°, lesiones concomitantes que requieran inmovilización temprana, fracturas AO Spine tipo A4, B y C. Existen también indicaciones relativas como: pérdida de altura > 50%, compromiso de canal > 50%, fractura facetaria y lesión de columna posterior o complejo ligamentario posterior⁴⁻⁷. Los objetivos del tratamiento de la fractura toracolumbar es la descompresión del canal espinal y la raíz nerviosa para la recuperación neurológica, la restauración y el mantenimiento de la altura y la alineación vertebrales con el balance sagital, la fijación rígida para la deambulación y rehabilitación temprana, y prevención

de lesiones neurológicas progresivas y deformidad cifótica⁷. La cirugía se realiza por medio de un abordaje posterior, anterior o combinado; estos se pueden practicar con instrumentación larga o corta, percutánea o abierta, con fusión o sin ella, con descompresión o no del canal, dependiendo de la clínica e imágenes de cada paciente.

Se ha determinado que la fijación con tornillo pedicular posterior es simple, ampliamente conocida, eficiente, confiable y segura para la reducción y estabilización de la mayoría de las fracturas y sigue siendo la técnica más divulgada para la instrumentación de fracturas con abordaje posterior. Estos sistemas son superiores para restaurar y mantener la alineación de la columna, debido a que atraviesan las tres columnas biomecánicas de la columna, proporcionan un brazo de palanca más largo a través del cual el tornillo puede transmitir mayores fuerzas correctivas que las que se logran con otros sistemas de fijación de la columna que se unen solo a los elementos posteriores, aplicando fuerzas de corrección multidireccionales y resistiendo cargas en múltiples planos^{5,8-11}. Las desventajas incluyen fallas en la instrumentación, pseudoartrosis, desgarro dural y/o fístula de líquido cefalorraquídeo, disección de extensa de tejido para exponer los puntos de entrada, las operaciones prolongadas con pérdida de sangre significativa y un mayor riesgo de infección, riesgos de lesión neural, descompresión neurológica inadecuada, corrección insuficiente de la cifosis, la necesidad de una extracción tardía de la instrumentación y artefacto en las imágenes diagnósticas posterior al implante, la fijación rígida puede acelerar la degeneración del segmento de movimiento adyacente⁵.

En el abordaje por vía posterior, la instrumentación puede realizarse por medio de una fijación corta (incluye las vértebras normales adyacentes proximales y distales)

Tabla 1 Características sociodemográficas

	n = 22	%
Género		
Masculino	13	41
Femenino	9	59
Edad	34,3 años (± 13,1)	
Día a la cirugía	7,6 días (± 4,9)	
Nivel de la Fractura		
L1	7	31,8
L2	4	18,2
L3	1	4,6
T11	2	9,1
T12	8	36,4
Clasificación AO Spine		
A1	1	4,6
A2	3	13,6
A3	3	13,6
A4	7	31,8
B1	7	31,8
B2	1	4,6
Procedimiento		
L1-L3	4	18,2
L2-L4	1	4,6
T10-L2	1	4,5
T10-T12	2	9,1
T11-L1	6	27,3
T11-L2	1	4,6
T12-L2	7	31,8
Complicaciones		
No	21	95,6
Si	1	4,6
Prequirúrgico		
Cobb	16 ± 7,4	
Altura	17,1 ± 4,4 mm	
Postquirúrgico		
Cobb	4 ± 7,6	
Altura	22,3 ± 4,3 mm	
Cambios pre y postquirúrgicos		
Cobb	12 ± 9,5 p = 0,00 CI [7,8-16,2]*	
Altura	5,2 ± 3,8 mm p = 0,00 CI [-6,9 - -3,5]*	

* Intervalo de confianza 95%

Tabla 2 Relación entre el nivel y tipo de fractura vertebral

Nivel	Clasificación AO Spine						Total
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	
L1	1	0	2	2	2	0	7
L2	0	0	1	3	0	0	4
L3	0	0	0	0	0	1	1
T11	0	1	0	1	0	0	2
T12	0	2	0	1	5	0	8
Total	1	3	3	7	7	1	22

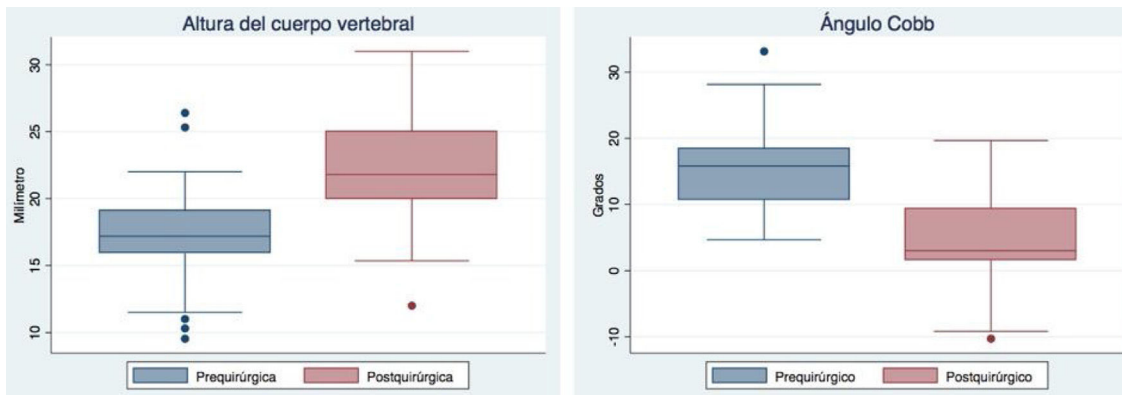


Figura 3 Altura cuerpo y ángulo Cobb de la vértebra fracturada pre y postquirúrgico.

Tabla 3 Relación entre el tipo de fractura y el cambio en la altura del cuerpo y el ángulo Cobb en el postquirúrgico

Clasificación AO Spine	Cambio Altura del cuerpo* (milímetros)	Cambio Ángulo Cobb* (grados)	n
A1	0,9	5,8	1
A2	8,1 ± 3,9	17,5 ± 8,2	3
A3	6,8 ± 5,2	14,4 ± 10,6	3
A4	3,7 ± 2,9	12,2 ± 13	7
B1	5,2 ± 4,2	10,5 ± 7	7
B2	6,5	4,11	1
Total	5,2 ± 3,8	12 ± 9,5	22

* Resultados son expresados en promedios y desviaciones estándar

o una fijación larga (dos niveles por encima y por debajo del nivel de fractura). La instrumentación corta ha sido beneficiosa por algunas ventajas como una artrodesis de menos segmentos de movimiento, lo que reduce el tiempo operatorio, disminuye el sangrado perioperatorio y evita la pérdida de la lordosis lumbar asociada con el síndrome de espalda plana, corrección de la deformidad cifótica y por ende el balance sagital, mayor estabilidad inicial, movilización temprana sin dolor y descompresión indirecta del canal espinal mediante una combinación de reducción postural y mediante la distracción a través de la ligamentotaxis^{5,12,13}. Li et al. concluye en su metaanálisis que los índices radiográficos y la falla del implante son mejores en el grupo de fijación larga que en el grupo de fijación corta, sin embargo, la fijación de larga prolongó la duración de la operación, además, los resultados clínicos sugirieron que no había diferencia entre los tipos de fijación, y la elección del método apropiado debe hacerse con cautela y de forma individualizada¹². A diferencia de Li, Aly et al. en su metaanálisis sugieren que, aunque no hubo diferencias en la cifosis entre los grupos de fijación de segmento corto y segmento largo en el último seguimiento, la progresión de la cifosis ocurre en ambos grupos¹³. Hallazgos similares fueron encontrados por Pellisé F. et al., quienes no encontraron cambios significativos en las propiedades biomecánicas de las columnas cadavéricas con segmento corto o largo¹⁴. De igual manera, Wu et al. demostró que no hubo diferencias en el rango de movimiento entre fijación corta y larga,

sugieren usar instrumentación larga en caso de osteoporosis, probablemente porque proporciona la mayor rigidez mecánica para la fijación inicial y puede reducir la probabilidad de colapso segmentario¹⁵. En el estudio de El-Shehaby et al. la fijación corta proporcionó una corrección comparable a la fijación de segmento largo, consideran que la pérdida de corrección se puede minimizar mediante la selección adecuada de casos adecuados para la fijación de segmentos cortos, esta última debe reservarse en casos de grados leves a moderados de cifosis inicial¹⁶. Se han descritos diferentes tipos de desventajas relacionadas con esta instrumentación corta, una incidencia del 9 al 54% de falla del implante, pérdida de la reducción entre 50-0% (re-cifosis) en el seguimiento a largo plazo, y el 50% de los pacientes con falla del material tuvieron un moderado a dolor severo^{17,18}.

Existen diferentes sistemas de instrumentación transpedicular. En nuestra experiencia, consideramos que la fijación con tornillos Schanz es superior a la instrumentación con tornillos pediculares monoaxiales y/o poliaxiales, por esto pretendemos en futuros estudios, comparar nuestros resultados con sistemas de fijación de tornillos pediculares convencionales. Conviene subrayar que esto ya ha sido estudiado, considerando que el sistema de tornillos pediculares tipo Schanz es superior debido a la estructura y la transmisión de carga de la barra roscada Schanz (similar a la conducción en forma de «] [») que son más similares a la columna lumbar posterior (en forma de mariposa conducción) que el tornillo pedicular convencional (similar

a la conducción en forma de «| |»), asimismo, el tipo de construcción que maneja el sistema, de tipo cantiléver de movimiento, permite la aplicación de fuerzas de flexión o extensión en el momento de la colocación del implante, restaurando de manera inmediata de la altura del cuerpo vertebral y alineamiento sagital^{10,11,19–23}. En nuestro estudio se mostró la ganancia en la altura del cuerpo vertebral fracturado y disminución del ángulo Cobb postoperatorio, que condiciona a una mejoría en el alineamiento sagital de la columna vertical, manteniéndose esta reducción en el tiempo de seguimiento. Hallazgos similares fueron encontrados en publicaciones recientes, usando fijación de segmento corto para fracturas toracolumbares y lumbares, reportando que esta técnica produjo una reducción satisfactoria y mantenimiento de la reducción en la vértebra fracturada^{20–22}. Se suma, a lo anteriormente descrito, que es un procedimiento seguro con mínimas complicaciones, tal es el caso, que reportamos una complicación menor en el estudio, un seroma subcutáneo, el cual se resolvió con manejo conservador.

En el presente trabajo comparamos aquellos pacientes con colocación de tornillos en la vértebra proximal y distal a la fracturada, no siempre es posible la colocación de tornillo pedicular en la vértebra fracturada, por varias razones, dificultades técnicas intraoperatorias, porcentaje de colapso del cuerpo vertebral, anatomía pedicular y compromiso de este por la fractura, sin embargo, la literatura es concordante con el beneficio de instrumentar la vértebra fracturada, ya que esta fijación mejora la estabilidad de la columna anterior y media de la vértebra lesionada, restaura la altura vertebral, facilita la corrección de la cifosis con menos pérdida de esta en el tiempo y menor tasa de falla del implante, lo cual conlleva a una disminución del riesgo de dolor de espalda^{24–26}, como desventajas se plantea un mayor tiempo quirúrgico y hemorragia intraoperatoria²⁷.

Se pretende en un futuro comparar pacientes sometidos a instrumentación con tornillos Schanz con y sin fijación de la vertebra fracturada, además de cotejar este sistema de fijación pedicular contra otras opciones disponibles (tornillos poliaxiales, uniplanares y/o monoaxiales), este trabajo continúa con el reclutamiento y seguimiento de pacientes sometidos a la corrección de fracturas dorsales y lumbares con el fin de tener un mayor número de pacientes y un seguimiento a largo plazo. Dentro de las limitaciones del presente estudio encontramos que la inclusión de unos pacientes fue recolectada de manera retrospectiva, lo cual condiciona sesgo en la recolección de los datos, con un tamaño de muestra pequeño y un tiempo de seguimiento corto para obtener fallas del material y complicaciones tardías, el sistema de fijación con tornillos Schanz no es comparado con otro tipo de sistema de artrodesis y no se asemeja con el tamaño de la construcción (fijación corta vs. larga). Esto se pretende comparar en futuros estudios.

Conclusión

La corrección de una fractura torácica y lumbar con uso de sistema de tornillos Schanz empleando una fijación corta es un método efectivo, seguro y rápido para la estabilización de la fractura y corrección del alineamiento sagital, con una ganancia de altura en el cuerpo vertebral fracturado y

disminución del ángulo Cobb en la cifosis segmentaria post-traumática, ofrece, además, gran rigidez de construcción una vez asegurado con mínima morbilidad asociada.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Financiación

Este trabajo no ha recibido ningún tipo de financiación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, Kwon BK, Burns AS, Martin AR, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Acute Spinal Cord Injury: Introduction Rationale, and Scope. *Global Spine J.* 2017;7 3 Suppl:84S–94S, <http://dx.doi.org/10.1177/2192568217703387>.
- Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology Models and Acute Injury Mechanisms. *Front Neurol.* 2019;10:282, <http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2019.00282>.
- McCormack T, Karaikevic E, Gaines RW. The load sharing classification of spine fractures. *Spine.* 1994;19:1741–4, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-199408000-00014>.
- Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine.* 2013;38:2028–37, <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182a8a381>.
- Rajasekaran S, Kanna RM, Shetty AP. Management of thoracolumbar spine trauma: An overview. *Indian J Orthop.* 2015;49:72–82, <http://dx.doi.org/10.4103/0019-5413.143914>.
- Sterba W, Kim DG, Fyhrie DP, Yeni YN, Vaidya R. Biomechanical analysis of differing pedicle screw insertion angles [published correction appears in *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009 Jun;24(5):465]. *Clin Biomech.* 2007;22:385–91, <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.11.007>.
- Kim BG, Dan JM, Shin DE. Treatment of thoracolumbar fracture. *Asian Spine J.* 2015;9:133–46, <http://dx.doi.org/10.4184/asj.2015.9.1.133>.
- Wang H, Li C, Liu T, Zhao WD, Zhou Y. Biomechanical efficacy of monoaxial or polyaxial pedicle screw and additional screw insertion at the level of fracture, in lumbar burst fracture: An experimental study. *Indian J Orthop.* 2012;46:395–401, <http://dx.doi.org/10.4103/0019-5413.98827>.
- Wang H, Zhao Y, Mo Z, Han J, Chen Y, Yu H, et al. Comparison of short-segment monoaxial and polyaxial pedicle screw fixation combined with intermediate screws in traumatic thoracolumbar fractures: a finite element study and clinical radiographic review. *Clinics.* 2017;72:609–17, [http://dx.doi.org/10.6061/clinics/2017\(10\)04](http://dx.doi.org/10.6061/clinics/2017(10)04).
- Benzel EC. Mechanical (quantitative) attributes of spinal implants: constructs types. En: Benzel EC, editor. *Biomechanics of spine stabilization: principles and clinical practice.* New York: McGraw-Hill; 1995. p. 151–62.
- Benzel EC. The biomechanics of pedicle screw-based instrumentation. En: Benzel EC, editor. *Biomechanics of spine*

- stabilization: principles and clinical practice. New York: McGraw-Hill; 1995. p. 1061–5.
12. Li J, Liu L. Comparison of short-segment versus long-segment fixation for the treatment of thoracolumbar burst fracture: A meta-analysis. *Int J Clin Exp Med*. 2017;10:1750–62, <http://www.ijcem.com/files/ijcem0042030.pdf>.
 13. Aly TA. Short Segment versus Long Segment Pedicle Screws Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Meta-Analysis. *Asian Spine J*. 2017;11:150–60, <http://dx.doi.org/10.4184/asj.2017.11.1.150>.
 14. Pellisé F, Barastegui D, Hernandez-Fernandez A, Barrera-Ochoa S, Bagó J, Issa-Benítez D, et al. Viability and long-term survival of short-segment posterior fixation in thoracolumbar burst fractures. *Spine J*. 2015;15:1796–803, <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2014.03.012>.
 15. Wu Y, Chen CH, Tsuang FY, Lin YC, Chiang CJ, Kuo YJ. The stability of long-segment and short-segment fixation for treating severe burst fractures at the thoracolumbar junction in osteoporotic bone: A finite element analysis. *PLoS One*. 2019;14:e0211676, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0211676>.
 16. El-Shehaby A, Saoud K, Elayouty A. Comparison of long segment fixation versus short segment fixation with pedicle screws at the level of the fracture in the management of Thoracolumbar fractures. *Egyptian Spine Journal*. 2013;5:47–52, <http://dx.doi.org/10.21608/ESJ.2013.3812>.
 17. Alanay A, Acaroglu E, Yazici M, Oznur A, Surat A. Short-segment pedicle instrumentation of thoracolumbar burst fractures: does transpedicular intracorporeal grafting prevent early failure? *Spine*. 2001;26:213–7, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-200101150-00017>.
 18. Akbarnia BA, Crandall DG, Burkus K, Matthews T. Use of long rods and a short arthrodesis for burst fractures of the thoracolumbar spine. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*. 1994;76:1629–35, <http://dx.doi.org/10.2106/00004623-199411000-00005>.
 19. Zhou F, Yang S, Liu J, Lu J, Shang D, Chen C, et al. Finite element analysis comparing short-segment instrumentation with conventional pedicle screws and the Schanz pedicle screw in lumbar 1 fractures. *Neurosurg Rev*. 2020;43:301–12, <http://dx.doi.org/10.1007/s10143-019-01146-9>.
 20. Aono H, Tobimatsu H, Ariga K, Kuroda M, Nagamoto Y, Takenaka S, et al. Surgical outcomes of temporary short-segment instrumentation without augmentation for thoracolumbar burst fractures. *Injury*. 2016;47:1337–44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.injury.2016.03.003>.
 21. Zhang W, Li H, Zhou Y, Wang J, Chu T, Zheng W, et al. Minimally Invasive Posterior Decompression Combined With Percutaneous Pedicle Screw Fixation for the Treatment of Thoracolumbar Fractures With Neurological Deficits: A Prospective Randomized Study Versus Traditional Open Posterior Surgery. *Spine*. 2016;41 Suppl 19:B23–4, <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0000000000001814>.
 22. Lee YC, Selby M, Zotti M, Roy D, Freeman B. Minimally invasive stabilization for thoracolumbar and lumbar fractures: a comparative study with short segment open Schanz screw constructs. *J Spine Surg*. 2019;5:13–8, <http://dx.doi.org/10.21037/jss.2019.01.06>.
 23. Willett K, Hearn TC, Cuncins AV. Biomechanical testing of a new design for Schanz pedicle screws. *J Orthop Trauma*. 1993;7:375–80, <http://dx.doi.org/10.1097/00005131-199308000-00015>.
 24. Huang W, Luo T. Efficacy analysis of pedicle screw internal fixation of fractured vertebrae in the treatment of thoracolumbar fractures. *Exp Ther Med*. 2013;5:678–82, <http://dx.doi.org/10.3892/etm.2013.914>.
 25. Li K, Zhang W, Liu D, Xu H, Geng W, Luo D, et al. Pedicle screw fixation combined with intermediate screw at the fracture level for treatment of thoracolumbar fractures: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95:e4574, <http://dx.doi.org/10.1097/MD.0000000000004574>.
 26. Li Q, Yun C, Li S. Transpedicular bone grafting and pedicle screw fixation in injured vertebrae using a paraspinous approach for thoracolumbar fractures: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2016;11:115, <http://dx.doi.org/10.1186/s13018-016-0452-4>.
 27. Zhang C, Liu Y. Combined pedicle screw fixation at the fracture vertebrae versus conventional method for thoracolumbar fractures: A meta-analysis. *Int J Surg*. 2018;53:38–47, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijssu.2018.03.002>.