



ORIGINAL

Relación entre el volumen de cemento inyectado y el volumen vertebral en el resultado clínico y en la aparición de fugas tras vertebroplastia percutánea

A. Barriga-Martín^a, L.M. Romero-Muñoz^a, M. Peral-Alarma^a, J. Florensa-Vila^b y J.H. Guimard-Pérez^{c,*}

^a Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo, Toledo, España

^b Servicio de Radiología, Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo, Toledo, España

^c Unidad de patología espinal, Servicio de Ortopedia y Traumatología, Sanatorio Allende, Córdoba, Argentina

Recibido el 2 de mayo de 2022; aceptado el 31 de octubre de 2022

Disponible en Internet el 9 de noviembre de 2022

PALABRAS CLAVE

Vertebroplastia;
 Fugas vertebrales;
 Fractura,
 osteoporosis

Resumen

Objetivos: Valorar la relación entre el volumen de cemento inyectado y el volumen vertebral evaluado mediante análisis volumétrico con tomografía axial computarizada (TAC) con relación al resultado clínico y la aparición de fugas en pacientes sometidos a vertebroplastia percutánea por fractura osteoporótica.

Material y método: Estudio prospectivo de 27 pacientes (18 mujeres y 9 varones) con una edad media de 69 años (50-81) con un año de seguimiento, en los que se trataron 41 vértebras con fractura de origen osteoporótico mediante vertebroplastia percutánea con abordaje transpedicular bilateral. Se registró en cada procedimiento el volumen de cemento inyectado y se relaciona con el volumen vertebral medido mediante análisis volumétrico con la TAC. Se calculó el porcentaje de relleno vertebral. La aparición de fugas de cemento se comprobó mediante radiografía simple y la TAC postoperatoria en todos los casos. Las fugas se clasificaron tanto por el lugar de aparición respecto al cuerpo vertebral (posterior, lateral, anterior y al disco) como por la entidad: puntual (menor que diámetro mayor del pedículo), moderada (mayor que pedículo, pero menor que altura de la vértebra) y masiva (mayor que la altura de la vértebra).

Resultados: El volumen vertebral medio fue de 26,1 cc, el volumen de cemento inyectado medio de 2,0 cc y el porcentaje de relleno medio del 9%. Aparecieron un total de 15 fugas en 41 vértebras (37%). Las fugas fueron posteriores en 2, vasculares en 8 y al disco en 5 vértebras. Se consideraron puntuales en 12, moderadas en una y masivas en 2 casos. La valoración preoperatoria del dolor fue la siguiente: EAV (8) y Oswestry (67%). El cese de dolor fue inmediato con los siguientes resultados postoperatorios al año: EAV (1,7) y Oswestry (19%). La única complicación fue una neuritis transitoria con resolución espontánea.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jguimardmdao@gmail.com (J.H. Guimard-Pérez).

Conclusiones: La inyección de pequeñas cantidades de cemento, inferiores a las referidas por la literatura, obtiene unos resultados clínicos similares a los conseguidos inyectando cantidades superiores y disminuye el número de fugas de cemento y la posibilidad de aparición de complicaciones.

© 2022 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/>).

KEYWORDS

Vertebroplasty;
Spinal leaks;
Fracture,
osteoporosis

Relation between the volume of injected cement and the vertebral volume in the clinical outcome and in the appearance of leakage after a percutaneous vertebroplasty

Abstract

Objectives: To assess the connection between the volume of injected cement and the vertebral volume measured through a volumetric analysis with a computed tomography (CT scan) in relation to the clinical result and the appearance of a leakage in patients who underwent a percutaneous vertebroplasty after an osteoporotic fracture.

Materials and methods: A prospective study of 27 patients (18 female-9 male) with an average age of 69 years old (50-81), and with a one-year follow-up. The study group presented 41 vertebrae with osteoporotic fractures that were treated with a percutaneous vertebroplasty with a bilateral transpedicular approach. The volume of injected cement was registered in each procedure and it was assessed together with the spinal volume measured through a volumetric analysis with CT scans. The percentage of the spinal filler was calculated. The appearance of cement leakage was proved by means of a simple radiography and a postoperative CT scan in all the cases. The leaks were classified according to the location in relation to the vertebral body (posterior, lateral, anterior and in the disc), and the significance (minor: smaller than the largest diameter of the pedicle; moderate: larger than the pedicle but smaller than the height of the vertebra; major: larger than the height of the vertebra).

Results: The average vertebra volume was 26.1 cc, the average volume of the injected cement was 2.0 cc and the percentage of the average filler was 9%. A total of 15 leaks in 41 vertebrae appeared (37%). The leaks were posterior in 2 vertebrae, vascular in 8 and into the disc in 5 vertebrae. They were deemed as minor in 12 cases, moderate in 1 and major in 2 cases. The preoperative assessment of the pain was as it follows: VAS (8) and Oswestry (67%). The cessation of pain was immediate after a year with the following postoperative results: VAS (1.7) and Oswestry (19%). The only complication was the temporary neuritis with a spontaneous resolution.

Conclusions: The injection of small amounts of cement, lower than the ones referred to by literary sources, obtains clinical results similar to the ones obtained by injecting higher amounts and it reduces the number of cement leaks and further complications.

© 2022 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

La vertebroplastia percutánea es un procedimiento mínimamente invasivo, que consiste en la inyección de un polímero acrílico en un cuerpo vertebral colapsado para aliviar el dolor y mejorar la estabilidad ósea. Aunque se utilizó por primera vez en 1987¹, no ha sido hasta una evaluación basada en la evidencia realizada en el año 2000, cuando se ha confirmado la gran eficacia de esta técnica², que ha demostrado una mejoría clínica inmediata en más del 80% de los casos³.

Los pacientes candidatos a la realización de vertebroplastia son aquellos que presentan fracturas vertebrales de origen osteoporótico o lesiones líticas (hemangioma, metástasis, mieloma) con dolor intenso o incapacitante, que no puedan aliviarse mediante un tratamiento médico adecuado.

El mecanismo exacto por el que se consigue el alivio del dolor no está claro. Se han postulado 2 posibles mecanismos: uno mecánico, por el refuerzo de las trabéculas óseas y otro térmico o químico, por destrucción de las terminaciones nerviosas.

Las complicaciones asociadas a la técnica son escasas. Entre estas, las más graves son el embolismo venoso y arterial, la compresión radicular o medular y se encuentran directamente relacionadas con la cantidad de cemento inyectado⁴⁻⁶.

El objetivo de este estudio es valorar la relación entre el volumen de cemento inyectado y el volumen vertebral evaluado mediante análisis volumétrico con la tomografía axial computarizada (TAC) con relación al resultado clínico y la aparición de fugas en pacientes sometidos a vertebroplastia percutánea por fractura osteoporótica.

Materiales y métodos

Estudio prospectivo, observacional y analítico de pacientes con fractura vertebral por fragilidad en nuestra institución en el periodo de 2 años. El seguimiento mínimo tras la vertebroplastia fue de un año. Estudio aprobado por el comité de ética institucional. Los criterios de inclusión fueron la presencia de una o más fracturas vertebrales de al menos 3 meses de evolución que no habían mejorado con el tratamiento conservador. En todos los pacientes se realizó un estudio de radiología simple y resonancia magnética tratándose solo aquellas vértebras que presentaban edema óseo en las secuencias con supresión grasa. Se valoró el dolor mediante escala analógico-visual (EAV) de 1 a 10 y la discapacidad mediante la versión española del cuestionario de Oswestry.

Técnica quirúrgica

La intervención se desarrolló en quirófano en ambiente estéril con el paciente en decúbito prono bajo anestesia local y sedación superficial e intensificador de imágenes. Todos los pacientes fueron intervenidos por el mismo equipo de cirujanos. En todos los pacientes se utilizó un abordaje transpedicular bilateral con 2 trócares huecos de calibre 14G y de 10 cm de longitud. Los trócares se introducen hasta el tercio medio del cuerpo vertebral antes de la introducción del cemento, inyectado mediante un sistema de alta presión (Wacres®). Previamente a la inyección del cemento se realizó vertebrografía con contraste mientras se preparaba el cemento. Aunque actualmente no realizamos una vertebrografía de rutina, nos parece que puede ser útil para valorar el drenaje venoso del cuerpo vertebral y la posible dirección de las fugas de contraste hacia el disco o espacio epidural y estar atentos a esas zonas de fuga a la hora de inyectar el cemento. La mayoría de fugas ocurren en el complejo venoso basivertebral y las venas segmentarias. Si se aprecia un drenaje rápido y masivo hacia el sistema venoso se ajusta la punta del trocar hasta obtener un drenaje más lento o menor. Además, está técnica no supone un tiempo quirúrgico añadido, ya que se puede realizar durante el tiempo de trabajo del cemento. El cemento se inyecta cuando adquiere una consistencia similar en la palpación a la pasta dental. El volumen de cemento inyectado en cada vértebra fue registrado en cada procedimiento.

El resultado clínico se valoró dentro de las primeras 24h (posoperatorio inmediato), al mes y al año del procedimiento mediante EAV y cuestionario de discapacidad de Oswestry. Todos los pacientes se intervinieron de forma ambulatoria sin precisar ingreso hospitalario.

La aparición de fugas de cemento se comprobó en el posoperatorio mediante radiografía simple y TAC (Aquileon 16, Toshiba) en todos los casos. Empleamos un protocolo específico (sin contraste, colimación 1 mm e intervalo de reconstrucción 1,8 mm) y realizamos un posprocesado de las imágenes mediante reconstrucciones multiplanares y 3D. Se determinó el volumen del cuerpo vertebral (se excluyen pedículos y arco posterior) utilizando un *software*, que fue validado previamente en vértebras de cerdo. Las fugas se clasificaron tanto por el lugar de aparición respecto al cuerpo vertebral (posterior, lateral, anterior y al disco) como

Tabla 1 Distribución según localización de las vértebras

Tipo	Nivel	Cantidad de pacientes	Porcentaje
Torácicas (27%)	T8	2	5%
	T9	2	5%
	T11	3	7%
	T12	4	10%
Lumbares (73%)	L1	12	29%
	L2	6	15%
	L3	4	10%
	L4	5	12%
	L5	3	7%

por la cuantía: puntual (menor que diámetro mayor del pedículo), moderada (mayor que pedículo, pero menor que altura de la vértebra) y masiva (mayor que la altura de la vértebra).

Se calculó el porcentaje de relleno vertebral tras analizar conjuntamente el volumen vertebral y el volumen de cemento inyectado. Todas las imágenes posquirúrgicas fueron evaluadas y medidas por el mismo radiólogo.

Metodología estadística

Con los datos recopilados de las historias clínicas se creó una base de datos de tipo Excel®, la que posteriormente se utilizó para los procesamientos estadísticos. Para las variables cuantitativas se calcularon medidas de centralización y dispersión (media y desvío estándar), y para las variables categóricas se calcularon las distribuciones absolutas y porcentuales. Se aplicaron test de Kruskal-Wallis o la t de Student en la comparación de medias (previa aplicación de test de normalidad de Shapiro-Wilks) y la prueba la Chi-cuadrado en la correlación de variables categóricas. En todos los casos se utilizó un nivel de significancia igual a 0,05. Para los procesamientos estadísticos se utilizó el *software* estadístico InfoStat® (v.2020). Los resultados se presentan en forma de gráficos o tablas según corresponda.

Resultados

Características generales

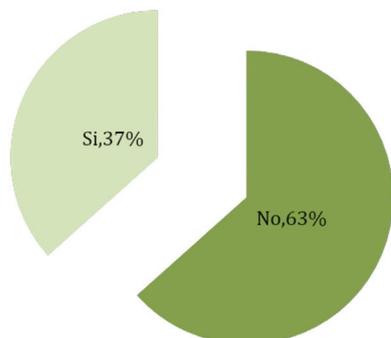
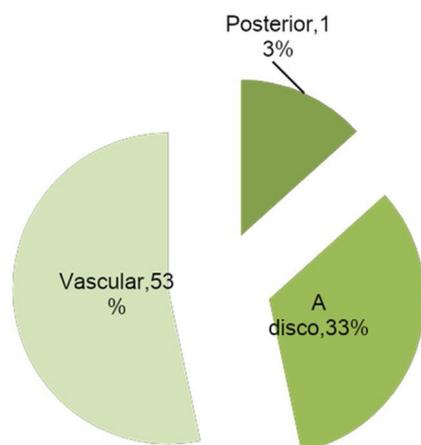
El estudio se basó en una muestra de 27 pacientes (41 vértebras) intervenidos consecutivamente por fractura vertebral osteoporótica (con más de 3 meses de evolución) mediante vertebroplastia percutánea. De estos, 18 eran mujeres y 9 varones con una edad media de 69 años (50-81 años). La causa en el 98% de los casos fue la osteoporosis y un 2% con artritis reumatoidea.

La localización de las fracturas, fue en su mayoría lumbares, con el 73% (tabla 1), y dentro de ellas la vértebra L1 fue la más frecuentemente tratada. Las torácicas estuvieron representadas por un 27% y en este grupo la más frecuente fue T12.

El volumen vertebral medio fue de 26,1 cc (T8: 15,6- L5: 38,1), el volumen de cemento inyectado medio de 2,0 cc (1-4 cc) y el porcentaje de relleno medio del 9% (tabla 2).

Tabla 2 Estadísticas de volumen vertebral y cemento inyectado (n = 41)

Variable	Media	DE	Mínimo	Máximo
Volumen vertebral medio (cc)	26,1	6,0	15,6	38,1
Cemento inyectado (cc)	2,0	0,8	1	4

**Figura 1** Distribución de la muestra según fuga (n = 41).**Figura 2** Distribución de la muestra según el tipo de fuga (n = 15).

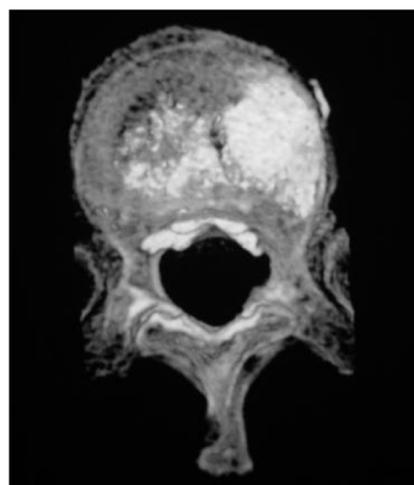
Análisis de fugas

Aparecieron un total de 15 fugas de cemento en 41 vértebras, lo que significa un 37% del total de vértebras (fig. 1). Más de la mitad de las fugas fueron vasculares (fig. 2), al disco en 5 vértebras (fig. 3) y 2 posteriores (fig. 4).

Además se consideraron puntuales en 12, moderadas en una y masivas en 2 casos.

Al evaluar el volumen vertebral medio según grupos de paciente con y sin fuga, se observó que la media del grupo que no tuvo fuga fue superior a los que sí: 27 vs. 24,5 cc (tabla 3). En el caso del cemento inyectado fue al revés el promedio de cemento inyectado en el grupo que tuvo una fuga fue mayor: 2,13 vs. 1,95 cc.

La valoración preoperatoria del dolor fue la siguiente: EAV (8) y Oswestry (67%). El cese de dolor fue inmediato en todos los pacientes, mostrando disminución a valores de 2,0 y manteniéndose los resultados posoperatorios al año: EAV (1,8) y Oswestry (19%).

**Figura 3** Imagen de la TAC postoperatoria, corte coronal (der.) y sagital (izq.), donde se observa la fuga de cemento al disco.**Figura 4** Imagen de la TAC postoperatoria, corte axial, donde se observa la fuga de cemento posterior, intracanal y a su vez anterior, en vena segmentaria.

Al tener en cuenta la media de EAV en los grupos con y sin fuga, en general no se hallaron diferencias estadísticamente significativas. Un hecho de interés fue que la evaluación de la EAV al mes, fue superior para el grupo de pacientes con fuga de cemento: 2,9 vs. 1,8 (tabla 4).

La única complicación fue una neuritis transitoria con resolución espontánea. En el seguimiento posoperatorio al año no aparecieron nuevas fracturas vertebrales.

Discusión

El uso de la vertebroplastia percutánea en el tratamiento de fracturas vertebrales osteoporóticas que no responden a tratamiento médico, es un procedimiento seguro, efectivo y ampliamente extendido en los últimos años¹⁻⁹. Las principales complicaciones de esta técnica son debidas a la posible fuga de cemento del interior del cuerpo vertebral, ya sea al espacio epidural, los plexos venosos, los discos adyacentes e incluso la producción de embolismo pulmonar^{7,10-12}. La lesión medular, la infección en la zona intervenida e incluso la muerte son también complicaciones que recoge la literatura^{6-9,10-18}.

Tabla 3 Estadísticas de volumen vertebral y cemento inyectado según fuga

Variables	Fuga				p-valor
	No (n = 26)		Sí (n = 15)		
	Media	DE	Media	DE	
Volumen vertebral medio (cc)	27,0	5,9	24,5	5,9	0,466
Cemento inyectado (cc)	1,95	0,81	2,13	0,68	0,267

DE: desviación estándar.

Tabla 4 Estadísticas de VAS según momento y fuga

Variables	Fuga				p-valor
	No (n = 26)		Si (n = 15)		
	Medias	DE	Medias	DE	
VAS previa	8,4	1,6	8,5	1,1	0,955
VAS post	2,0	1,9	2,5	1,9	0,279
VAS un mes	1,8	2,0	2,9	2,3	0,089

DE: desviación estándar.

Sin embargo, a pesar de la amplia difusión de la técnica, existe una gran variabilidad en el procedimiento seguido por los diferentes autores, sobre todo en lo que concierne al volumen de cemento necesario para conseguir un buen resultado clínico y disminuir al máximo la posibilidad de aparición de fugas^{7,19–24}.

Se han desarrollado distintas estrategias para prevenir la extravasación de cemento y los defensores de la cifoplastia esgrimen como argumento un menor número de fugas de cemento respecto a la vertebroplastia, aunque últimamente parece que estas son superiores a lo que se pensaba^{3,6,17,25–27}.

Esta gran variabilidad viene dada por la idea de que inyectar grandes cantidades de cemento que rellenen lo más posible el cuerpo vertebral incrementa la fuerza y la resistencia del mismo y, por lo tanto, los resultados clínicos. Desgraciadamente, este mayor relleno del cuerpo vertebral se acompaña de un incremento en la presencia de fugas de cemento⁹.

Existen pocos estudios que relacionan el volumen de cemento inyectado y los resultados clínicos^{3,8,18,20,21,28}.

Zhu et al.²⁶ concluyen que la fuga de cemento es muy común con vertebroplastia percutánea. La gravedad de la fractura y un mayor volumen de cemento óseo inyectado son los 2 factores de riesgo independientes que más predisponen la aparición de fugas.

He et al.²⁷ estudiaron el efecto de la distribución del cemento óseo y la respuesta clínica con cifoplastia percutánea en fracturas por compresión vertebral osteoporótica. Al ser mayor el volumen de cemento inyectado, tuvieron mayor porcentaje de fugas, a pesar del uso del balón de cifoplastia, afortunadamente, todas ellas asintomáticas.

En general, se admite que el porcentaje de relleno del cuerpo vertebral fracturado no tiene relación con el resultado clínico^{8,12,27}, por lo que sería razonable establecer cuál es el porcentaje de relleno del cuerpo vertebral mínimo necesario para conseguir un buen resultado. En ese sentido

creemos que sería importante establecer el volumen individualizado de cada vértebra según su localización (torácica, lumbar) y el volumen de cemento necesario para lograr un efecto clínicamente significativo.

Nosotros hemos encontrado un porcentaje de fugas (37%) valorado por la TAC significativamente menor que el referido por otros autores, como el (88%) de Álvarez et al.⁵ consiguiendo un porcentaje de relleno del cuerpo vertebral de un 9% y una mejoría clínica tanto si se mide por la EAV (de 8 a 1,7) como por el cuestionario de discapacidad de Oswestry (de 67 al 19%) similar a las obtenidas por otras series donde se utiliza una mayor cantidad de cemento.

La cantidad media de cemento inyectada en nuestra serie ha sido de 2,0cc significativamente inferior a la referida habitualmente en la literatura donde se utilizan de 3 a 5 ml de media^{7,27,27}, lo que puede estar relacionado con la menor incidencia de fugas que hemos encontrado en nuestros pacientes.

Otros autores han investigado los efectos de la viscosidad del cemento de polimetilmetacrilato y la porosidad ósea sobre la fuga de cemento y la aparición de nuevas fracturas vertebrales tras vertebroplastia percutánea. Alhashash et al.²⁹, en un estudio prospectivo, concluye que el resultado clínico de la vertebroplastia no tiene relación con la viscosidad del cemento. Sin embargo, señalan que una menor viscosidad del cemento y un mayor grado de osteoporosis son factores de riesgo significativos para la aparición de fugas de cemento.

Tomé-Bermejo et al.³⁰ tras revisar con TAC 272 vértebras tratadas con vertebroplastia señalan una fuga de cemento del 76% siendo las venas basivertebrales y la segmentaria las zonas de mayor incidencia. Estos autores usan entre 4 y 5 cc de cemento por vértebra, inyectando el cemento con una viscosidad similar a la pasta de dientes, igual que nosotros hacemos.

Como limitaciones de nuestro trabajo señalamos el limitado número de pacientes y vértebras, no tener un registro de la presión a la que es inyectado el cemento, no haber medido el grado de osteoporosis de la vértebra fracturada ni correlacionar la pérdida de altura vertebral con el resultado clínico. Tampoco pudo realizarse medición volumétrica por TAC de las fugas por lo que se utilizó la clasificación descrita.

Conclusiones

La inyección de pequeñas cantidades de cemento, inferiores a las referidas por la literatura, obtiene unos resultados clínicos similares a los conseguidos inyectando cantidades superiores y disminuye el número de fugas de cemento y con ello la posibilidad de aparición de complicaciones.

Recomendamos utilizar cantidades entre 1-1,5cc por pedículo en función del tamaño vertebral (dorsal/lumbar) ya que se obtiene el mismo resultado clínico disminuyendo las fugas de cemento y su gravedad.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia II.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

Los autores declaran que no han recibido financiación para la realización de la presente investigación, la preparación del artículo, ni su publicación.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Aprobación del comité ético

Aprobado por el Comité ético del centro.

Bibliografía

- Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty [Article in French]. *Neurochirurgie*. 1987;33:166-8.
- Levine SA, Perin LA, Hayes D, Hayes WS. An evidence-based evaluation of percutaneous vertebroplasty. *Manag Care*. 2000;9:56-60.
- Borensztein M, Camino Willhuber GO, Posadas Martinez ML, Gruenberg M, Sola CA, Velan O. Analysis of Risk Factors for New Vertebral Fracture After Percutaneous Vertebroplasty. *Global Spine J*. 2018;8:446-52, <http://dx.doi.org/10.1177/2192568217732988>.
- Cotten A, Dewatre F, Cortet B, Assaker R, Leblond D, Duquesnoy B, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma: Effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methyl methacrylate at clinical follow-up. *Radiology*. 1996;200:525-30, <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.200.2.8685351>.
- Álvarez L, Pérez-Higueras A, Granizo JJ, de Miguel I, Quiñones D, Rossi RE. Predictors of outcomes of percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:87-92, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-200501010-00016>.
- Guglielmi G, Andreula C, Muto M, Gilula LA. Percutaneous vertebroplasty: Indications, contraindications, technique, and complications. *Acta Radiol*. 2005;46:256-68, <http://dx.doi.org/10.1080/02841850510021049>.
- Kaufmann TJ, Trout AT, Kallmes DF. The effects of cement volume on clinical outcomes of percutaneous vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2006;27:1933-7.
- Schmidt R, Cakir B, Mattes T, Wegener M, Puhl W, Richter M. Cement leakage during vertebroplasty: An underestimated problem? *Eur Spine J*. 2005;14:466-73, <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-004-0839-5>.
- Chen YJ, Tan TS, Chen WH, Chen CC, Lee TS. Intradural cement leakage: A devastatingly rare complication of vertebroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E379-82, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000219495.57470.67>.
- Kong M, Xu X, Shen J, Liu Q, Wang G. Clinical characteristics and management of cardiac and/or pulmonary cement embolus after percutaneous vertebroplasty: A single center experience. *Ann Transl Med*. 2019;7:372, <http://dx.doi.org/10.21037/atm.2019.06.81>.
- Gao T, Chen ZY, Li T, Lin X, Hu HG, Yuan DC, et al. Correlation analysis of the puncture-side bone cement/vertebral body volume ratio and bone cement leakage in the paravertebral vein in vertebroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23:184, <http://dx.doi.org/10.1186/s12891-022-05135-w>.
- Tang B, Cui L, Chen X, Liu Y. Risk Factors for Cement Leakage in Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: An Analysis of 1456 Vertebrae Augmented by Low-Viscosity Bone Cement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021;46:216-22, <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0000000000003773>.
- Mirovsky Y, Anekstein Y, Shalmon E, Blankstein A, Peer A. Intradiscal cement leak following percutaneous vertebroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:1120-4, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000216461.48751.d6>.
- Chen JK, Lee HM, Shih JT, Hung ST. Combined extraforaminal and intradiscal cement leakage following percutaneous vertebroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:E358-62, <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0b013e318050b25>.
- Alfonso Olmos M, Silva González A, Duart Clemente J, Villas Tomé C. Infected vertebroplasty due to uncommon bacteria solved surgically: A rare and threatening life complication of a common procedure: Report of a case and a review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E770-3, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000240202.91336.99>.
- Hsieh MK, Kao FC, Chiu PY, Chen LH, Yu CW, Niu CC, et al. Risk factors of neurological deficit and pulmonary cement embolism after percutaneous vertebroplasty. *J Orthop Surg Res*. 2019;14:406, <http://dx.doi.org/10.1186/s13018-019-1459-4>.
- Abduljabbar FH, Al-Jurayyan A, Alqahtani S, Sardar ZM, Saluja RS, Ouellet J, et al. Does Balloon Kyphoplasty Deliver More Cement Safely into Osteoporotic Vertebrae with Compression Fractures Compared with Vertebroplasty? A Study in Vertebral Analogues. *Global Spine J*. 2015;5:300-7, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1546818>.
- Ryu KS, Park CK, Kim MC, Kang JK. Dose-dependent epidural leakage of polymethylmethacrylate after

- percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures. *J Neurosurg.* 2002;96 Suppl 1:S56–61, <http://dx.doi.org/10.3171/spi.2002.96.1.0056>.
19. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, Deramond H. The biomechanics of vertebroplasty. The effect of cement volume on mechanical behavior. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26:1537–41, <http://dx.doi.org/10.1097/00007632-200107150-00007>.
 20. Groen RJ, du Toit DF, Phillips FM, Hoogland PV, Kuzenga K, Coppes MH, et al. Anatomical and pathological considerations in percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty: A reappraisal of the vertebral venous system. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29:1465–71, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000128758.64381.75>.
 21. Mathis JM, Wong W. Percutaneous vertebroplasty: Technical considerations. *J Vasc Interv Radiol.* 2003;14:953–60, <http://dx.doi.org/10.1097/01.rvi.0000083255.29749.a8>.
 22. Hodler J, Peck D, Gilula LA. Midterm outcome after vertebroplasty: Predictive value of technical and patient-related factors. *Radiology.* 2003;227:662–8, <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2273011930>.
 23. Taylor RS, Taylor RJ, Fritzell P. Balloon kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fractures: A comparative systematic review of efficacy and safety. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:2747–55, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000244639.71656.7d>.
 24. Bhatia C, Barzilay Y, Krishna M, Friesem T, Pollock R. Cement leakage in percutaneous vertebroplasty: Effect of pre injection gelfoam embolization. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:915–9, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000209307.03930.38>.
 25. Baroud G, Crookshank M, Bohner M. High-viscosity cement significantly enhances uniformity of cement filling in vertebroplasty: an experimental model and study on cement leakage. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:2562–8, <http://dx.doi.org/10.1097/01.brs.0000240695.58651.62>.
 26. Zhu SY, Zhong ZM, Wu Q, Chen JT. Risk factors for bone cement leakage in percutaneous vertebroplasty: A retrospective study of four hundred and eighty five patients. *Int Orthop.* 2016;40:1205–10, <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-015-3102-2>.
 27. He S, Zhang Y, Lv N, Wang S, Wang Y, Wu S, et al. The effect of bone cement distribution on clinical efficacy after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures. *Medicine (Baltimore).* 2019;98:e18217, <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000018217>.
 28. Chen X, Ren J, Zhang J, Li S, Liu Z. Impact of Cement Placement and Leakage in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures Followed by Percutaneous Vertebroplasty. *Clin Spine Surg.* 2016;29:E365–70, <http://dx.doi.org/10.1097/BSD.0b013e3182aa28d6>.
 29. Alhashash M, Shousha M, Barakat AS, Boehm H. Effects of Polymethylmethacrylate Cement Viscosity and Bone Porosity on Cement Leakage and New Vertebral Fractures After Percutaneous Vertebroplasty: A Prospective Study. *Global Spine J.* 2019;9:754–60, <http://dx.doi.org/10.1177/2192568219830327>.
 30. Tomé-Bermejo F, Piñera AR, Durán-Alvarez C, López-San Román B, Mahillo I, Alvarez L, et al. Identification of Risk Factors for the Occurrence of Cement Leakage During Percutaneous Vertebroplasty for Painful Osteoporotic or Malignant Vertebral Fracture. *Spine.* 2014;39:E693–700, <http://dx.doi.org/10.1097/BRS.0000000000000294>.