



Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología

www.elsevier.es/rot



MONOGRÁFICO COLUMNA

Verdades y mentiras de las técnicas de cementación en el tratamiento de las fracturas por fragilidad

S. Santiago Maniega^a, J. Crespo Sanjuán^b, F. Ardura Aragón^a, R. Hernández Ramajo^b, G.J. Labrador Hernández^b, M. Bragado González^a y D.C. Noriega González^{a,*}

^a Unidad de Columna, Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Clínico Universitario de Valladolid, Valladolid, España

^b Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital de Medina del Campo, Medina del Campo, Valladolid, España

Recibido el 18 de diciembre de 2023; aceptado el 18 de abril de 2024

PALABRAS CLAVE

Osteoporosis;
Cifoplastia;
Vertebroplastia

KEYWORDS

Osteoporosis;
Kyphoplasty;
Vertebroplasty

Resumen La principal manifestación de la osteoporosis son las fracturas por fragilidad. Las fracturas vertebrales por compresión son las más comúnmente relacionadas con la osteoporosis. Nuestro objetivo es revisar la bibliografía disponible para ayudar a confirmar o desmentir conceptos aprendidos sobre la cementación vertebral y adaptar nuestra práctica clínica de acuerdo con la evidencia científica.

En el complejo mundo de la cirugía de columna vertebral, las innovaciones constantes buscan mejorar la calidad de vida de los pacientes. Entre estas, las cementoplastias han emergido como una técnica cada vez más popular, pero a menudo envuelta en mitos y malentendidos. En esta revisión sistemática exploraremos a fondo las verdades detrás de las cementoplastias, desentrañando mitos comunes y proporcionando una visión clara de esta técnica. Como especialistas en la materia, es crucial comprender la realidad que rodea a estas intervenciones para ofrecer a nuestros pacientes la mejor información posible y tomar decisiones informadas.

© 2024 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Truths and myths about augmentation techniques in the treatment of fragility fractures

Abstract The main event of osteoporosis is fragility fractures. Vertebral compression fractures are the most commonly fragility fracture related to osteoporosis.

Our goal is to review the available literature to confirm or deny concepts learned about spinal cementation and adapt our clinical practice according to scientific evidence.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: dnoriega@saludcastillayleon.es (D.C. Noriega González).

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2024.04.007>

1888-4415/© 2024 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Cómo citar este artículo: S. Santiago Maniega, J. Crespo Sanjuán, F. Ardura Aragón et al., Verdades y mentiras de las técnicas de cementación en el tratamiento de las fracturas por fragilidad, Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología, <https://doi.org/10.1016/j.recot.2024.04.007>

In the complex world of spine surgery, constant innovations seek to improve the quality of life of patients. Among these, vertebral augmentation has emerged as an increasingly popular technique, but often shrouded in myths and misunderstandings. In this systematic review, we will thoroughly explore the truths behind vertebral augmentation, unraveling common myths and providing a clear insight into this technique. As specialists in the field, it is crucial to understand the reality surrounding these interventions to offer our patients the best possible information and make informed decisions.

© 2024 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 osteoporosis y baja masa ósea afectan a más de 50 millones de personas en Estados Unidos¹ y casi a 3 millones de personas en España. Su principal manifestación son las fracturas por fragilidad. Fracturas de cadera, columna vertebral y radio distal son las fracturas osteoporóticas más frecuentes. Aproximadamente una de cada dos mujeres y uno de cada cinco hombres experimentarán una fractura osteoporótica a lo largo de su vida². Las fracturas vertebrales por compresión (FVC) son las más comúnmente relacionadas con la osteoporosis, con una incidencia estimada de 1,4 millones de nuevas fracturas cada año en todo el mundo³, suponiendo un cuarto del total de las fracturas osteoporóticas⁴.

La manifestación principal de las FVC es el dolor, que suele prolongarse alrededor de 6-8 semanas¹. Otras complicaciones de las FVC son la deformidad cifótica, la pérdida de peso, la depresión, la reducción de la calidad de vida o incluso la muerte⁴.

El tratamiento conservador de este tipo de fracturas consiste en realizar un manejo mediante analgésicos, limitación de la actividad física, reposo en cama, uso de ortesis o corsés y terapia física¹.

Para los pacientes, el tratamiento conservador a menudo implica pérdida de masa ósea y muscular. El tratamiento con opioides y sus efectos adversos asociados de sedación, náuseas y estreñimiento aumenta aún más el riesgo de caídas y prolonga la recuperación¹. El reposo en cama está relacionado con el aumento de incidencia de úlceras por decúbito, neumonía, infección del tracto urinario y trombosis venosa⁵.

En pacientes con dolor intenso, la cementación vertebral (vertebroplastia y/o cifoplastia) puede ayudar a reducir el dolor y a mejorar la capacidad funcional.

Las indicaciones comunes para la vertebroplastia (cementación vertebral) incluyen la fractura vertebral osteoporótica de más de 3 a 4 semanas refractarias al tratamiento médico, la enfermedad de Kummel, el hemangioma sintomático doloroso, la vértebra con osteólisis extensa o la invasión secundaria a tumor maligno (metástasis, mieloma múltiple, etc.)⁶.

La indicación más frecuente para la cifoplastia es una fractura vertebral traumática reciente (menos de 7 a 10 días) con un ángulo cifótico mayor de 15°, así como todas las indicaciones de la vertebroplastia⁶, cuyo objetivo sea la reducción de la fractura vertebral y de la deformidad residual.

Nuestro objetivo es realizar una revisión de la bibliografía disponible para ayudar en la comprensión de conceptos aprendidos sobre la cementación vertebral y adaptar nuestra práctica clínica de acuerdo con la evidencia científica.

Cementación o tratamiento conservador

Uno de los primeros estudios prospectivos publicados respecto a los resultados de la vertebroplastia fue publicado por Alvarez et al.⁷, y mostraba resultados superiores respecto al control del dolor y a la calidad de vida, comparando tratamiento con vertebroplastia y tratamiento conservador en fracturas vertebrales.

Los primeros ensayos clínicos aleatorizados que comparaban los resultados del tratamiento con cementación vertebral y tratamiento conservador comenzaron a publicarse a partir de los años 2000, y no todos mostraban diferencias favorables a la vertebroplastia.

El primer ensayo clínico prospectivo que comparaba los resultados de la vertebroplastia con el tratamiento conservador de las fracturas vertebrales osteoporóticas (VERTOS)⁸ se publicó en 2007. Sus criterios de inclusión eran: edad igual o superior a 50 años, dolor invalidante, fractura subaguda y crónica (6 a 24 semanas) y presencia de edema óseo en la resonancia magnética. Participaron 34 pacientes (n = 18 en vertebroplastia, n = 16 en tratamiento conservador). A las 24 horas hubo una mejora significativa en la puntuación VAS tras la vertebroplastia (4,7 versus 7,1; diferencia, 2,4; IC del 95%: 3,7 a 1,0). A las 2 semanas, la diferencia ya no era significativa. El ensayo se finalizó prematuramente, debido al cruce de la mayoría de los pacientes desde tratamiento conservador a vertebroplastia.

Buchbinder et al.⁹ publicaron en 2009 sus resultados de un ensayo clínico multicéntrico, aleatorizado, controlado con placebo, que comparaba los resultados de vertebroplastia en fracturas de 12 meses de evolución o tratamiento placebo. No encontraron diferencias respecto al dolor, la calidad de vida o la percepción de mejora en ningún punto entre la semana y los 6 meses de seguimiento.

También en 2009, y en una línea similar, se publicaron los resultados de un ensayo clínico que incluyó 131 pacientes a los que se realizó vertebroplastia o tratamiento simulado¹⁰. No encontraron diferencias en cuando a dolor o funcionalidad.

El ensayo *Fracture Reduction Evaluation* (FREE), publicado en 2009, fue el primer ensayo clínico aleatorizado

Tabla 1 Resumen de los principales ensayos clínicos que comparan los tratamientos conservador y quirúrgico (vertebroplastia o cifoplastia) de fracturas vertebrales por compresión

Nombre del estudio	Año de publicación	Número de pacientes	Periodo de seguimiento	Grupos	Significación estadística
VERTOS	2007	34	2 semanas	Vertebroplastia vs conservador	Dolor solo 24 horas
FREE	2009	300	12 meses	Cifoplastia vs conservador	SF-36 hasta 6 meses
INVEST	2009	131	12 meses	Vertebroplastia vs placebo (anestesia)	No valorable
VAPOUR	2016	120	6 meses	Vertebroplastia vs placebo (anestesia)	Dolor hasta 2 semanas
VERTOS IV	2018	180	12 meses	Vertebroplastia vs placebo (anestesia)	No diferencias

(ECA) prospectivo multicéntrico que comparó los resultados de la cifoplastia con el manejo conservador. Se incluyeron 300 pacientes (n = 149 con fracturas agudas o subagudas [< 3 meses]), con presencia de edema vertebral en la resonancia magnética). Se encontraron diferencias en el cuestionario SF-36 al primer mes que se mantuvieron hasta los 6 meses. Sus principales limitaciones eran la falta de enmascaramiento y la inclusión de 4 pacientes con fracturas patológicas.

El ensayo *Investigational Vertebroplasty Safety and Efficacy Trial* (INVEST) comparaba cifoplastia y placebo en 131 pacientes mayores de 50 años con fracturas menores de un año de antigüedad (media de 16 a 20 semanas). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al mes en los valores en el *Roland-Morris Disability Questionnaire* y la escala numérica de dolor. Sin embargo, sus limitaciones eran la inclusión de pacientes con fracturas antiguas, y fracturas diagnosticadas solo con radiografía.

En base a los resultados de los primeros ensayos clínicos, las guías clínicas inicialmente no recomendaban el uso de vertebroplastia y cifoplastia como opción para el manejo de las FVC osteoporóticas dolorosas.

Sin embargo, desde entonces se han publicado muchos más ensayos controlados aleatorizados que reportan la superioridad de la cementación vertebral en comparación con el tratamiento conservador¹¹.

En 2016 se publicó el *Vertebroplasty for Acute Painful Osteoporotic Compression Fractures* (VAPOUR)¹². Este ECA prospectivo, doble ciego, fue diseñado específicamente para abordar el papel de la vertebroplastia en pacientes con FVC. La reducción del dolor fue significativamente mayor en los pacientes sometidos a vertebroplastia, manteniéndose dicha diferencia hasta los 6 meses. No se vieron diferencias respecto a la aparición de nuevas fracturas.

El *Vertebroplasty vs Sham Procedure for Painful Osteoporotic Vertebral Compression Fractures* (VERTOS IV) se publicó en 2018. Era un ECA aleatorizado, doble ciego, que reclutó 176 pacientes sometidos a vertebroplastia o tratamiento simulado.

Tanto el ensayo VERTOS IV como el VAPOUR demostraron un mantenimiento duradero de la altura del cuerpo vertebral en los pacientes sometidos a vertebroplastia, al contrario que los sometidos a tratamiento simulado.

La [tabla 1](#) resume las principales características de los ensayos clínicos mencionados comparando técnicas de cementación y tratamiento conservador o simulado.

La evidencia acumulada demuestra que la cifoplastia y la vertebroplastia proporcionan mejores resultados que el tratamiento no quirúrgico en ECA y metaanálisis y un acepta-

ble coste-beneficio^{11,13}, confirmando que el uso de cemento en el tratamiento de la fractura vertebral osteoporótica no incrementa el riesgo de fractura adyacente.

Cementación de primera, segunda o tercera generación

La vertebroplastia (cementación de primera generación) consiste en la inyección de cemento óseo (polimetilmetacrilato [PMMA]) directamente en el cuerpo vertebral de forma percutánea.

La cifoplastia (cementación de segunda generación) implica un paso adicional en el que se crea una cavidad, generalmente a través de un balón, que posteriormente se retira, en la que se inyecta PMMA. Además de las ventajas de reducir el cuerpo vertebral fracturado, la creación de una cavidad intrasomática con menor presión y cubierta por trabéculas óseas impactadas y por las paredes del cuerpo vertebral, que se rellena con cemento, reduce el riesgo de extravasación, permitiendo así minimizar los riesgos de complicaciones por extravasación de cemento¹⁵. Uno de los inconvenientes de la cifoplastia es la incapacidad de mantener la altura restaurada del cuerpo vertebral después de la extracción del balón y antes de aplicar el cemento, lo que resulta en una pérdida de corrección, especialmente del platillo vertebral, y limita su capacidad de reducción más allá de la vértebra fracturada^{15,16}.

La cementación de tercera generación utiliza implantes intravertebrales expandibles aplicados mediante un abordaje transpedicular. Su expansión permite reducir el platillo vertebral fracturado, devolviéndole su altura y su integridad y estabilizándolos con cemento óseo, teóricamente mantenimiento de la altura vertebral restaurada a largo plazo, ya que permanecen en el cuerpo vertebral mientras se realiza la aumentación¹⁶.

Aunque se han publicado muchos ECA que comparan la vertebroplastia o la cifoplastia con el manejo médico, ha habido pocos ECA prospectivos que comparen la seguridad y la eficacia de la vertebroplastia con la cifoplastia. El ECA más grande fue el *Kyphoplasty and Vertebroplasty in the Augmentation and Restoration of Vertebral Body Compression Fractures* (KAVIAR)¹³, diseñado para detectar una diferencia en las fracturas radiográficas posteriores.

Un total de 361 pacientes completaron el seguimiento de 1 mes (181 vertebroplastias, 180 procedimientos de cifoplastia). La duración del procedimiento medio fue mayor con la cifoplastia, sin diferencias en el resultado clínico o en las complicaciones sintomáticas.

Una revisión sistemática y metaanálisis que comparaba vertebroplastia y cifoplastia incluyó 2.838 pacientes (1.454 vertebroplastias y 1.384 cifoplastias) en 29 ECA prospectivos¹⁷. No había diferencias en las puntuaciones de dolor de espalda o de discapacidad en ningún punto entre vertebroplastia y cifoplastia. Un metaanálisis de 845 pacientes¹⁸ sí encontró diferencias a corto plazo a favor de la cifoplastia en cuanto al dolor y a la discapacidad a corto plazo, así como corrección del ángulo cifótico, volumen de cemento inyectado y fugas de cemento.

En general, en términos de restaurar la altura vertebral y las correcciones cifóticas locales, la cifoplastia es relativamente mejor que la vertebroplastia⁴.

Un ensayo clínico publicado por Dohm et al.¹³ concluye que la vertebroplastia tiene una menor duración media del procedimiento (cifoplastia, 40,0 minutos; vertebroplastia, 31,8 minutos) y estancia hospitalaria (cifoplastia, 22 horas; vertebroplastia, 8 horas). Ambos tratamientos proporcionan mejoras sostenidas similares respecto a la intensidad de dolor, la discapacidad y la calidad de vida. La cifoplastia presenta menos extravasación de cemento y mayores tasas de corrección del ángulo cifótico.

Un análisis de la población de Medicare concluye que los pacientes tratados con cifoplastia tienen una tasa de supervivencia estadísticamente significativa más alta (del 62,8% frente al 57,3% de vertebroplastia) y una tasa de mortalidad un 23% menor que la de los pacientes tratados con vertebroplastia⁶.

Ante un resultado clínico equivalente, el menor coste económico haría preferir la vertebroplastia a la cifoplastia en términos económicos. Si bien varios estudios publicados previamente han demostrado una disminución de los costes para pacientes hospitalizados y ambulatorios en la vertebroplastia en comparación con la cifoplastia, los estudios de rentabilidad a largo plazo han sugerido que la cifoplastia puede de hecho ser más rentable¹⁷. Ong et al.¹⁹ encontraron que, a pesar de un mayor coste inicial de la cifoplastia, la vertebroplastia fue menos rentable debido a una mayor utilización de recursos médicos en el período postoperatorio durante los 2 años posteriores a la cirugía.

Los beneficios de la cementación de tercera generación se fundamentan en una mayor corrección del ángulo cifótico y en la restauración de la altura del cuerpo y del platillo vertebrales²⁰.

Una revisión sistemática comparó la eficacia y las complicaciones de la cifoplastia con balón frente a tratamiento no quirúrgico, control simulado, vertebroplastia y una técnica de tercera generación. Los autores concluyeron que, basándose en un pequeño número de estudios heterogéneos (y con importantes sesgos), no hubo diferencias entre la cifoplastia y otras técnicas de aumentación vertebral, y que para determinar la eficacia eran necesarios futuros estudios aleatorizados²¹.

El estudio SAKOS, un estudio prospectivo, aleatorizado y multicéntrico (141 pacientes de 13 hospitales en cinco países), demostró la no inferioridad de los implantes SpineJack® después de un año de seguimiento en reducciones vertebrales en fracturas osteoporóticas, en comparación con la cifoplastia, y la superioridad de la misma en la reducción de la altura central de la vértebra y la tasa de fracturas adyacentes²⁰.

En general, estos implantes requieren menores volúmenes de cemento⁴, reduciendo el riesgo teórico de fugas de cemento.

Tipo de fractura

Además del tratamiento de FVC AO tipo A1, la cifoplastia se puede considerar una opción terapéutica incluso en el tratamiento de fracturas por estallido osteoporóticas incompletas (AO tipo A3.1). Debido a la afectación del muro posterior, se considera que el riesgo de fugas de cemento es mayor. Walter et al.²² realizaron un metaanálisis para evaluar la frecuencia y el patrón de fuga de cemento óseo en fracturas por compresión, y concluyeron que la cifoplastia podría ser un método seguro de tratamiento para fracturas por estallido. Además, el ligamento longitudinal posterior y los tejidos blandos alrededor del cuerpo vertebral pueden potencialmente prevenir la fuga de cemento óseo.

En un estudio a largo plazo, Noriega et al.²³ demostraron que el tratamiento mediante cifoplastia con implantes de titanio expandibles es un método seguro y eficaz en el tratamiento de fracturas AO tipo A3.

Antigüedad de la fractura

La inclusión de pacientes en ensayos se puede hacer por antigüedad de la fractura: aguda (< 6 semanas), subaguda (6 a 12 semanas) y crónica (> 12 semanas)¹.

Aunque las guías clínicas plantean la cementación después de un mínimo de 6 semanas desde el inicio del dolor, algunos grupos también han incluido las fracturas subagudas (entre 3 y 6 semanas) cuando se detecta un colapso progresivo²⁴.

La resonancia magnética de la columna es útil para identificar las fracturas agudas y subagudas, que generalmente responden bien a la cementación percutánea. Las fracturas agudas demuestran edema como disminución de T1 y aumento de T2 o STIR¹¹. La resonancia magnética puede también ayudar a diferenciar las fracturas osteoporóticas de las patológicas.

Según las directrices de la *Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe* (CIRSE), cualquier fractura vertebral osteoporótica mayor de 3 meses se considera crónica; la cementación en estas fracturas solo debe proponerse cuando estén acompañadas de cavitación o de edema óseo (hallazgos compatibles con osteonecrosis o consolidación incompleta)⁶.

Un estudio retrospectivo en pacientes con fracturas vertebrales de más de 12 semanas de evolución con evidencia de consolidación incompleta en la resonancia magnética o en la gammagrafía encontró una reducción del 63% inmediatamente después del procedimiento y una reducción del 75 al 87% en comparación con las puntuaciones medianas de dolor iniciales durante el período de seguimiento de 1 año²⁵.

En 2023 se publicaron los resultados del ensayo clínico VERTOS V²⁶, donde se incluyeron 80 pacientes con fracturas de más de 12 meses de evolución y se compararon los resultados entre tratamiento con vertebroplastia o con infiltración. Encontraron mejores resultados en el grupo de vertebroplastia en cuanto al dolor, a la calidad de vida y a la discapacidad.

Abordaje unipedicular o bipedicular

El abordaje bipedicular se considera el estándar en las técnicas de cementación. Sin embargo, considerando aspectos como el tiempo quirúrgico, el volumen de cemento y la dosis de radiación, un abordaje unipedicular reduce el tiempo de operación, limita la exposición a los rayos X y disminuye el riesgo de fugas de cemento⁴. En contraposición, parece haberse encontrado una mayor tasa de lesión nerviosa en el abordaje unipedicular⁴.

Un metaanálisis realizado en 2016 indicó que no había diferencias significativas en la puntuación visual analógica (EVA) o el índice de discapacidad de Oswestry (ODI) entre la vertebroplastia unilateral y la bilateral. El tiempo quirúrgico en la vertebroplastia unilateral era más corto y necesitaba menos cemento. No había diferencias en la tasa de fugas.

Seguridad

Las principales complicaciones sintomáticas de la vertebroplastia son la hemorragia significativa o la lesión vascular, la embolia pulmonar sintomática de cemento, el hemo o neumotórax, nuevas fracturas relacionadas con el procedimiento, los déficits neurológicos o la muerte. Estas complicaciones ocurren en menos del 1% de los casos. También se han descrito infecciones tras los procedimientos de cementación, aunque su verdadera prevalencia se desconoce²⁷.

Número de vértebras que tratar

Actualmente no hay consenso respecto al número máximo de vértebras que se pueden cementar en una sesión, aunque las guías europeas y americanas sugieren no tratar más de tres niveles en una misma sesión²⁸.

Algunas revisiones consideran una contraindicación relativa el tratamiento de más de tres vértebras en una sesión²⁹. Zoarski et al. mencionaron que el tratamiento de hasta cinco niveles es aceptable y que el tratamiento de ocho niveles o más simultáneamente no es una práctica médica aceptada.

Un reporte sobre vertebroplastias de más de tres niveles vertebrales en una sesión informa de una cantidad promedio de cemento inyectado de 5,6 ml en la columna lumbar y de 4,3 ml en la columna dorsal. El número mínimo de niveles inyectado fue 4 y el máximo, 6³⁰.

Se han publicado buenos resultados en el tratamiento de seis niveles cementados unilateralmente bajo anestesia local³¹. Este grupo no recomienda tratamiento de más de seis niveles o 25 a 30 ml de cemento por sesión.

Mailli et al.³² no encontraron diferencias estadísticas en el alivio de dolor ni en la movilidad al comparar la vertebroplastia realizada de hasta tres vértebras con más de tres niveles por sesión.

Desde un punto de vista práctico es más importante el control del volumen total de cemento que el número de vértebras tratadas.

Volumen de cemento

Estudios biomecánicos y clínicos sugieren que un volumen demasiado alto de cemento óseo y, en consecuencia, una

alta presión intradiscal y una rigidez vertebral elevada son causa de complicaciones e incluso de fracaso de la vertebroplastia. Para evitarlo, se han recomendado menores volúmenes de cemento; sin embargo, otros estudios han demostrado que volúmenes muy pequeños no pueden restaurar la fuerza y la rigidez de la vértebra fracturada a un nivel suficiente que conduce al fracaso del procedimiento con persistencia dolor³³.

Algunos estudios clínicos han demostrado que el volumen de cemento tiene una correlación positiva con la fuga de cemento. Un mayor volumen de cemento inyectado es más probable que resulte en extravasación³⁴.

Algunos autores sitúan la cifra de volumen necesaria para obtener efecto terapéutico en 4,5 ml³⁵-4,7 ml mientras que otros recomiendan, para evitar fugas, inyectar < 3,5 ml de cemento óseo en la zona torácica y < 4 ml en la zona lumbar³⁶. Otro grupo recomienda en los cuerpos vertebrales lumbares un máximo de 4-5 ml de cemento, y en la columna torácica alta, de 2-3 ml²⁴.

La práctica clínica ha confirmado que el volumen de cemento inyectado no es directamente proporcional al efecto analgésico, por lo que no es necesario rellenar la vértebra de placa terminal a placa terminal³⁷. Inyectar > 4 ml de cemento óseo puede producir un alivio del dolor, pero un aumento adicional en el volumen de cemento óseo no da como resultado mayor mejora en la eficacia³⁶.

Belkoff et al.³⁸ encontraron que la restauración de la rigidez del cuerpo vertebral en el segmento torácico y toracolumbar requiere dosis de 4 ml de cemento.

El volumen de cemento inyectado durante el procedimiento en la literatura oscila entre 2,8 ml en el ensayo publicado por Buchbinder et al.⁹ a 7,5 ml en VAPOUR¹².

Los resultados de un estudio cadavérico indican que el 15% del volumen del cuerpo vertebral fracturado, que corresponde a 4-6 ml de cemento óseo, es la cantidad del volumen de relleno de cemento necesario para restaurar la biomecánica del cuerpo vertebral³³. En el caso de implantes de tercera generación, cemento equivalente al 10% del volumen vertebral es suficiente para estabilizar la vértebra fracturada³⁹.

Fuga de cemento

Una de las principales complicaciones relacionadas con la cementación percutánea es la fuga de cemento. Analizada mediante TAC, la tasa de fuga de cemento está presente en el 82% de las cementaciones^{4,40}.

A pesar de que la mayoría de las fugas son clínicamente asintomáticas, complicaciones graves pueden ocurrir en el 3,9% al 7,5% de los pacientes³⁴.

La fuga de cemento suele ocurrir a través de los platillos vertebrales hacia el disco¹, cuadruplicando el riesgo de fractura adyacente⁴¹.

La fuga de cemento hacia el canal espinal puede provocar estenosis del canal espinal y lesión térmica de los tejidos neurales. El cemento también puede fugarse al foramen neural y ocasionar compresión de las raíces nerviosas. La frecuencia respectiva de estas dos complicaciones es del 0 al 0,5% y del 0% al 3,7%⁴².

La fuga de cemento hacia el sistema perivertebral y la vena cava inferior puede provocar complicaciones gra-

ves, como fallo cardiopulmonar, lesión renal aguda, embolia paradójica o la muerte.

Durante la cifoplastia, el hueso de la periferia se compacta a través del inflado de un balón, lo que permite la inyección de cemento a menor presión y mayor viscosidad, reduciendo la tasa de fugas⁴³.

Es probable que haya mayores tasas de fuga con rotura cortical, uso de cemento de baja viscosidad e inyecciones de mayor volumen⁴³. Otros factores asociados incluyen el grado de severidad de la fractura vertebral o la aplicación temprana de cemento que no ha alcanzado su viscosidad óptima⁴.

Aunque se identificó que la presencia de señal *cleft* intravertebral aumenta la incidencia de fuga de cemento, también existe una opinión contraria de que las fugas de cemento son menos comunes⁴³.

Pacientes con mayor densidad ósea también tienen una mayor probabilidad de experimentar fugas de cemento. Por un lado, las vértebras con mayor densidad ósea generan mayor resistencia a la inyección de cemento óseo, por lo que se necesita una presión más alta para inyectar el cemento. Por otro lado, una mayor densidad ósea indica una mayor cantidad de huesos trabeculares por unidad de área y espacios más pequeños entre el hueso trabecular. Por tanto, el mismo volumen de cemento requiere mayor espacio para dispersarse, lo que aumenta el riesgo de fugas⁴⁴.

Una revisión sistemática y metaanálisis que comparaba vertebroplastia y cifoplastia incluyó 2.838 pacientes (1.454 vertebroplastias y 1.384 cifoplastias)¹⁷ no encontró diferencias en la tasa de fuga de cemento sintomática, pero la cifoplastia se asoció con una menor tasa de fuga general de cemento y con mayores tasas de corrección de cifosis.

La viscosidad del cemento también puede tener influencia en la tasa de fugas de cemento. Comparado con el tradicional cemento óseo de baja viscosidad, que tiene una duración de 3 a 5 minutos de tiempo de trabajo, el cemento óseo de alta viscosidad puede ampliar el tiempo de trabajo a más de 15 minutos. En teoría, esto puede ayudar al cirujano a controlar el proceso de inyección de cemento óseo y a observar con mayor precisión la dispersión del cemento óseo en el cuerpo vertebral, con el fin de obtener una mejor distribución del cemento óseo y reducir la aparición de fuga³⁶. Una inyección superior a 6 ml de cemento de baja viscosidad aumenta significativamente la tasa de fuga.

Respecto al volumen de cemento inyectado, Barriga et al.⁴⁵ concluyen, mediante un estudio prospectivo observacional, que la inyección de pequeñas cantidades de cemento ofrece resultados clínicos similares a los conseguidos con mayores cantidades, reduciendo el número de fugas de cemento.

Existen también ciertas circunstancias que disminuyen la probabilidad de aparición de fugas de cemento, tal y como reflejan Tomé et al.⁴⁶ en su análisis retrospectivo de 272 vértebras mediante TAC. Dichos autores incluyen la necrosis avascular de Kummel como un factor protector ante las fugas de cemento.

Fracturas adyacentes

Algunos pacientes pueden sufrir fracturas posteriores en vértebras no tratadas tras una cementación, que generalmente requieren tratamiento adicional⁴⁷.

Sin embargo, también hay que tener en cuenta que la historia natural de las fracturas vertebrales osteoporóticas sugiere que la incidencia de nuevas fracturas vertebrales posteriores es del 19,2%⁴².

En la literatura, la tasa de nuevas FVC ha oscilado ampliamente, desde alrededor del 2% al 23% en cifoplastia y del 2,4% al 52% en vertebroplastia. No obstante, no hay diferencia significativa en la incidencia de fracturas de la vértebra adyacente entre estas dos técnicas⁴⁸. La mayoría de las fracturas adyacentes ocurre principalmente entre 1 y 2 meses después de la cementación⁴⁸.

Existe debate sobre si el mayor riesgo de fracturas vertebrales es causado por vertebroplastias previas, cambios en la biomecánica local, susceptibilidad natural de la unión toracolumbar a las fracturas, progresión natural de la enfermedad subyacente, o por una combinación de todos estos factores³.

En general, 1 de cada 5 pacientes desarrolla una nueva fractura vertebral en los 12 meses siguientes a la fractura vertebral inicial; el riesgo es mayor en pacientes con múltiples fracturas⁴⁹.

A partir de la cohorte de pacientes del ensayo clínico que comparaba vertebroplastia y tratamiento placebo, publicado por Buchbinder et al.⁹ en 2009, se publicaron en 2015 los resultados de seguimiento a 24 meses⁵⁰, donde se analizaban las diferencias respecto a aparición de fracturas adyacentes. No se encontraron diferencias entre los dos grupos.

Tres metaanálisis de ensayos prospectivos publicados no encontraron diferencias en el riesgo posterior de FVC entre las cohortes de manejo conservador y vertebroplastia^{14,51,52}.

Un metaanálisis sugiere que una densidad mineral ósea baja se asocia más consistentemente con un aumento del riesgo posterior de FVC⁴⁷. Así mismo, pacientes con osteoporosis inducida por corticoides pueden tener una mayor incidencia de nuevas fracturas tras una vertebroplastia que los pacientes con osteoporosis primaria. El sexo femenino y las fracturas en la unión toracolumbar también pueden ser un factor de riesgo de nuevas fracturas adyacentes⁴⁸. Factores relacionados con el procedimiento, como la corrección de cifosis, no mostraron evidencia de relación significativa con el aumento del número de fracturas vertebrales.

Estudios biomecánicos indican que la rigidez de las vértebras aumentadas puede ser 36 veces mayor que la del hueso esponjoso normal.

El aumento de la presión y los cambios de soporte de peso en múltiples vértebras pueden agregar presión adicional sobre los cuerpos vertebrales no tratados y, por lo tanto, causar FVC posteriores. Además, los pacientes con fracturas múltiples sintomáticas suelen tener una osteoporosis más grave en comparación con los pacientes con fracturas vertebrales únicas, y esto también puede explicar por qué estos pacientes tienen más probabilidades de desarrollar nuevas FVC tras una vertebroplastia⁴⁷.

La fuga de cemento intradiscal también se ha sugerido como un factor que puede aumentar la incidencia de nuevas fracturas vertebrales⁵³. El tiempo promedio entre la vertebroplastia y la nueva fractura es de 48 días en pacientes con fuga de cemento en el disco y 98 días en pacientes sin fugas de cemento en el disco⁴¹. La significación entre nuevas fracturas y un mayor volumen de cemento o contacto del cemento con el cuerpo vertebral no está clara.

Muchos autores han intentado encontrar un método eficaz para reducir el riesgo de nuevas fracturas. Algunos sugirieron que cementar profilácticamente la vértebra adyacente podría teóricamente prevenir nuevas fracturas⁵⁴. Un experimento biomecánico *in vitro* respalda esto³. Sin embargo, los resultados de investigaciones clínicas son inconsistentes, y un metaanálisis sugiere que la cementación profiláctica no es adecuada para la reducción de fracturas adyacentes⁵⁴.

Algunos autores incluso han sugerido que la cementación tiene un efecto protector y puede reducir la tasa de fracturas adyacentes a través de la restauración o el mantenimiento del equilibrio sagital, y conservando la carga mecánica fisiológica de las placas vertebrales²⁰.

Vértebra sándwich

En pacientes que requieren la cementación de múltiples fracturas vertebrales podemos encontrarnos con una vértebra sándwich, una vértebra intacta ubicada entre dos vértebras cementadas. Un estudio retrospectivo de pacientes sometidos a vertebroplastia/cifoplastia analizó 127 pacientes con 128 fracturas que cumplían criterios de vértebra sándwich. El 21,3% de los pacientes con vértebra sándwich presentaron fractura por compresión, la mitad de ellos durante el primer año de seguimiento⁵. Otro estudio encontró similares incidencias de fractura en las vértebras sándwich (23,4%)⁵³.

La cementación profiláctica de la vértebra sándwich es una técnica recomendada por algunos autores, mientras que otros concluyen que este procedimiento no reduce el riesgo de recurrencia. Puede ser, por tanto, adecuado valorar el riesgo individual de cada paciente.

Mortalidad

Existe un aumento significativo de la tasa de mortalidad en pacientes con fracturas vertebrales tratadas de forma conservadora en comparación con controles de la misma edad en la literatura⁵⁵. El riesgo de mortalidad excesivo después de la FVC oscila entre el 2% y el 42% a los 12 meses¹.

En un análisis de la población de Medicare en Estados Unidos (97.142 pacientes con FVC, 428.956 controles), la mortalidad para los pacientes con FVC fue el doble que la de los controles emparejados.

Las tasas de mortalidad a 3 y 5 años para pacientes con FVC fueron del 46% y del 69%, respectivamente, en comparación con el 22% y el 36% para los controles emparejados⁵⁶. Algunos estudios sugieren que el riesgo de mortalidad parece ser mayor en hombres que en mujeres⁵⁶. La edad también es un factor de riesgo importante. El riesgo relativo de muerte es más alto en individuos jóvenes y disminuye en ambos sexos con la edad.

La aumentación vertebral reduce la mortalidad intrahospitalaria y a largo plazo tras una FVC en comparación con el tratamiento conservador. La reducción observada puede estar asociada con la mejora de la función pulmonar en estos pacientes²⁷.

En un análisis de 5.766 ingresos hospitalarios por FVC no neoplásicas, la cifoplastia redujo a la mitad la tasa de mortalidad hospitalaria (OR: 0,52, $p=0,003$)⁵⁷. En otro análisis

de 1.038.956 fracturas vertebrales, se identificaron 75.364 pacientes tratados con vertebroplastia y 141.343 tratados con cifoplastia²⁷. En el subgrupo con FVC osteoporóticas tratado de forma conservadora el riesgo de mortalidad fue significativamente mayor en comparación con la cifoplastia y la vertebroplastia; la cifoplastia tuvo un 17% de beneficio en supervivencia en comparación con la vertebroplastia.

Los resultados a 4 años muestran que los pacientes con FVC en la población de Medicare que recibieron tratamiento con cifoplastia y vertebroplastia experimentaron una menor mortalidad que los pacientes con FVC que recibieron tratamiento conservador²⁷.

La mortalidad en relación con la introducción de cemento ha sido publicada en la literatura ortopédica en casos de artroplastias, y también se ha descrito un caso debido a la vertebroplastia y cuatro de embolismo pulmonar, uno de ellos fatal, después de realizada la técnica²⁴.

Un examen de la *Food and Drug Administration Manufacturer and User Facility Device Experience* (MAUDE) ha revelado cinco muertes atribuidas a alergia al PMMA en más de 200.000 procedimientos realizados⁵⁸.

Conclusiones

Basándonos en la última evidencia científica, podemos concluir respecto al tratamiento de las fracturas vertebrales osteoporóticas:

1. La indicación más común para la cementación vertebral en caso de FVC incluye la fractura vertebral osteoporótica de más de 3 a 4 semanas refractaria al tratamiento médico y enfermedad de Kummel.
2. Si el objetivo es la reducción del cuerpo vertebral y su plena restauración, a semejanza de otras fracturas articulares, el tratamiento precoz es altamente recomendado.
3. La cifoplastia y la vertebroplastia proporcionan mejores resultados que el tratamiento no quirúrgico respecto a la intensidad del dolor y a la discapacidad.
4. No existen diferencias en las puntuaciones de dolor de espalda o de discapacidad entre vertebroplastia y cifoplastia. Se encuentran diferencias a favor de la cifoplastia en cuanto a la corrección del ángulo cifótico, el volumen de cemento inyectado y las fugas de cemento.
5. A pesar de un mayor coste inicial de la cifoplastia, la vertebroplastia es menos rentable debido a una mayor utilización de recursos médicos en el período postoperatorio durante los 2 años posteriores a la cirugía.
6. La cifoplastia se puede considerar una opción terapéutica en el tratamiento de fracturas AO tipo 1 y tipo A3.
7. Las guías clínicas plantean la cementación después de un mínimo de 6 semanas desde el inicio del dolor, o entre 3 y 6 semanas cuando se detecta un colapso progresivo. Cualquier FVC mayor de 3 meses se considera crónica y la cementación solo debe proponerse cuando estén acompañadas de cavitación o edema óseo.
8. Considerando aspectos como el tiempo quirúrgico, el volumen de cemento y la dosis de radiación, un abordaje unipedicular reduce el tiempo de operación, limita la exposición a los rayos X y disminuye el riesgo de fugas de cemento.

9. No hay consenso respecto al número máximo de vértebras que se pueden cementar en una sesión, aunque las guías sugieren no tratar más de tres niveles. No se recomienda el tratamiento de más de seis niveles o 25 a 30 ml de cemento por sesión.
10. El volumen de cemento tiene una correlación positiva con la fuga cemento. De 4 a 6 ml de cemento óseo es la cantidad del volumen de cemento necesario para restaurar la biomecánica del cuerpo vertebral.
11. La tasa de fuga de cemento es del 82% de las cementaciones. La mayoría son clínicamente asintomáticas, pero en el 3,9% al 7,5% de los pacientes pueden ocurrir complicaciones graves.
12. Se pueden observar mayores tasas de fuga de cemento con rotura cortical, uso de cemento de baja viscosidad, inyecciones de mayor volumen, mayor severidad de la fractura vertebral o la aplicación temprana de cemento que no ha alcanzado su viscosidad óptima.
13. La historia natural de las fracturas vertebrales osteoporóticas sugiere que la incidencia de nuevas fracturas vertebrales posteriores es del 19,2%. No se han encontrado diferencias entre las cohortes de manejo conservador y vertebroplastia. La fuga de cemento intradiscal aumenta la incidencia de nuevas fracturas vertebrales.
14. El 21,3% de los pacientes con vértebra sándwich presentan fractura por compresión, la mitad de ellos durante el primer año de seguimiento. La cementación profiláctica de la vértebra sándwich es una técnica recomendada por algunos autores, mientras que otros concluyen que este procedimiento no reduce el riesgo de recurrencia.
15. La aumentación vertebral reduce la mortalidad intrahospitalaria y a largo plazo tras una FVC en comparación con el tratamiento conservador.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia I.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro

Consideraciones éticas

1. ¿Su trabajo ha comportado experimentación en animales?: No
2. ¿En su trabajo intervienen pacientes o sujetos humanos?: No
3. ¿Su trabajo incluye un ensayo clínico?: No
4. ¿Todos los datos mostrados en las figuras y tablas incluidas en el manuscrito se recogen en el apartado de resultados y las conclusiones?: Sí

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Chandra RV, Maingard J, Asadi H, Slater L-A, Mazwi T-L, Marcia S, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty for osteoporotic vertebral fractures: What are the latest data? *AJNR Am J Neuroradiol.* 2018;39:798–806 <https://doi.org/10.3174/ajnr.a5458>
2. Amans MR, Carter NS, Chandra RV, Shah V, Hirsch JA. Vertebral augmentation. En: *Handbook of Clinical Neurology.* Elsevier B.V.; 2021. p. 379–94.
3. Aquarius R, Homminga J, Hosman AJF, Verdonchot N, Tanck E. Prophylactic vertebroplasty can decrease the fracture risk of adjacent vertebrae: An in vitro cadaveric study. *Med Eng Phys.* 2014;36:944–8 <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.03.009>
4. Long Y, Yi W, Yang D. Advances in vertebral augmentation systems for osteoporotic vertebral compression fractures. *Pain Res Manag.* 2020;2020:1–9 <https://doi.org/10.1155/2020/3947368>
5. Chiu PY, Kao FC, Hsieh MK, Tsai TT, Chen WJ, Niu CC, et al. A retrospective analysis in 1347 patients undergoing cement augmentation for osteoporotic vertebral compression fracture: Is the sandwich vertebra at a higher risk of further fracture? *Neurosurgery.* 2021;88:342–8.
6. Filippiadis DK, Marcia S, Masala S, Deschamps F, Kelekis A. Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty: Current status, new developments and old controversies. *Cardiovasc Radiol.* 2017;40:1815–23.
7. Alvarez L, Alcaraz M, Pérez-Higueras A, Granizo JJ, de Miguel I, Rossi RE, et al. Percutaneous vertebroplasty: Functional improvement in patients with osteoporotic compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:1113–8.
8. Voormolen MHJ, Mali WPTM, Lohle PNM, Franssen H, Lampmann LEH, van der Graaf Y, et al. Percutaneous vertebroplasty compared with optimal pain medication treatment: Short-term clinical outcome of patients with subacute or chronic painful osteoporotic vertebral compression fractures. The VERTOS study. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28:555.
9. Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, Wark JD, Mitchell P, Wriedt C, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med.* 2009;361:557–68.
10. Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, Turner JA, Wilson DJ, Diamond TH, et al. A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med.* 2009;361:569–79.
11. Espahbodinea S, Ku JC, Alves Junr AC, Singh RJ, Deshmukh AS, Chavda V, et al. Percutaneous vertebral augmentation-pearls and pitfalls. *J Spine Surg.* 2023;9:13–6.
12. Clark W, Bird P, Gonski P, Diamond TH, Smerdely P, McNeil HP, et al. Safety and efficacy of vertebroplasty for acute painful osteoporotic fractures (VAPOUR): A multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet.* 2016;388:1408.
13. Dohm M, Black CM, Dacre A, Tillman JB, Fueredi G. A randomized trial comparing balloon kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fractures due to osteoporosis. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014;35:2227–36 <https://doi.org/10.3174/ajnr>
14. Anderson PA, Froysheter AB, Tontz WL Jr. Meta-analysis of vertebral augmentation compared with conservative treatment for osteoporotic spinal fractures. *J Bone Miner Res.* 2013;28:372–82 <https://doi.org/10.1002/jbmr.1762>
15. Moura DL, Gabriel JP. Expandable intravertebral implants: A narrative review on the concept, biomechanics, and outcomes in traumatology. *Cureus.* 2021;13:E17795 <https://doi.org/10.7759/cureus.17795>
16. Vanni D, Galzio R, Kazakova A, Pantalone A, Grillea G, Bartolo M, et al. Third-generation percutaneous vertebral augmentation systems. *J Spine Surg.* 2016;2:13–20 <https://doi.org/10.21037/jss.2016.02.01>

17. Gu CN, Brinjikji W, Evans AJ, Murad MH, Kallmes DF. Outcomes of vertebroplasty compared with kyphoplasty: A systematic review and meta-analysis. *J Neurointerv Surg*. 2016;8:636-42 <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2015-011714>
18. Zheng Z M.D.PhD. Comparison of percutaneous vertebroplasty and balloon kyphoplasty for the treatment of single level vertebral compression fractures: A meta-analysis of the literature. *Pain Physician*. 2015;18:209-22 <https://doi.org/10.36076/ppj/2015.18.209>
19. Ong KL, Lau E, Kemner JE, Kurtz SM. Two-year cost comparison of vertebroplasty and kyphoplasty for the treatment of vertebral compression fractures: Are initial surgical costs misleading? *Osteoporos Int*. 2013;24:1437-45 <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2100-0>
20. Noriega D, Marcia S, Theumann N, Blondel B, Simon A, Hassel F, et al. A prospective, international, randomized, noninferiority study comparing an implantable titanium vertebral augmentation device versus balloon kyphoplasty in the reduction of vertebral compression fractures (SAKOS study). *Spine J*. 2019;19:1782-95 <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.07.009>
21. Rodriguez AJ, Fink HA, Mirigian L, Guañabens N, Eastell R, Akesson K, et al. Pain, quality of life, and safety outcomes of kyphoplasty for vertebral compression fractures: Report of a task force of the American Society for Bone and Mineral Research. *J Bone Miner Res*. 2017;32:1935-44 <https://doi.org/10.1002/jbmr.3170>
22. Walter J, Hacıyakupoglu E, Waschke A, Kalff R, Ewald C. Cement leakage as a possible complication of balloon kyphoplasty — is there a difference between osteoporotic compression fractures (AO type A1) and incomplete burst fractures (AO type A3.1)? *Acta Neurochir (Wien)*. 2012;154:313-9 <https://doi.org/10.1007/s00701-011-1239-3>
23. Noriega DC, Crespo-Sanjuan J, Olan WJ, Hernandez-Ramajo R, Bell DP. Treatment of thoracolumbar type a3 fractures using a percutaneous intravertebral expandable titanium implant: Long-term follow-up results of a pilot single center study. *Pain Physician*. 2021;24:E631-8.
24. Bhatnagar MK, Mathur SK, Cruz-Oliver E, Cáceres E. Vertebroplastia percutánea para el tratamiento de las fracturas vertebrales por compresión de origen osteoporótico. *Rev Ortop Traumatol*. 2004;48:186-94.
25. Gautam S, Gopal VG, Khuba S, Agarwal A, Muralidharan, Kumar S. Evaluation of the role of vertebral augmentation in chronic vertebral compression fractures: A retrospective study. *Interventional Pain Medicine*. 2023;2:100242 <https://doi.org/10.1016/j.inpm.2023.100242>
26. Carli D, Venmans A, Lodder P, Donga E, van Oudheusden T, Boukrab I, et al. Vertebroplasty versus active control intervention for chronic osteoporotic vertebral compression fractures: The VERTOS V randomized controlled trial. *Radiology*. 2023;308:e222535 <https://doi.org/10.1148/radiol.222535>
27. Edidin AA, Ong KL, Lau E, Kurtz SM. Morbidity and mortality after vertebral fractures: Comparison of vertebral augmentation and nonoperative management in the Medicare population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40:1228-41 <https://doi.org/10.1097/brs>
28. Lavanga A, Guarnieri G, Muto M. Medical therapy and multilevel vertebroplasty in osteoporosis: When and why. *Neuroradiol J*. 2010;23:244-8 <https://doi.org/10.1177/197140091002300215>
29. Hochmuth K, Proschek D, Schwarz W, Mack M, Kurth AA, Vogl TJ. Percutaneous vertebroplasty in the therapy of osteoporotic vertebral compression fractures: A critical review. *Eur Radiol*. 2006;16:998-1004 <https://doi.org/10.1007/s00330-005-0067-3>
30. Zidan I, Fayed AA, Elwany A. Multilevel percutaneous vertebroplasty (more than three levels) in the management of osteoporotic fractures. *J Korean Neurosurg Soc*. 2018;61:700-6 <https://doi.org/10.3340/jkns.2017.0253>
31. Heini PF, Orler R. Vertebroplastik bei hochgradiger Osteoporose. *Orthopade*. 2004;33:22-30 <https://doi.org/10.1007/s00132-003-0574-3>
32. Mailli L, Filippiadis DK, Broutzos EN, Alexopoulou E, Kelekis N, Kelekis A. Clinical outcome and safety of multilevel vertebroplasty: Clinical experience and results. *Cardiovasc Radiol*. 2013;36:183-91 <https://doi.org/10.1007/s00270-012-0379-z>
33. Martinčić D, Brojan M, Kosel F, Štern D, Vrtovec T, Antolič V, et al. Minimum cement volume for vertebroplasty. *Int Orthop*. 2015;39:727-33.
34. Chen W, Xie W, Xiao Z, Chen H, Jin D, Ding J. Incidence of cement leakage between unilateral and bilateral percutaneous vertebral augmentation for osteoporotic vertebral compression fractures: A meta-analysis of randomized controlled trials. *World Neurosurg*. 2019;122:342-8 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.10>
35. Röder C, Boszczyk B, Perler G, Aghayev E, Külling F, Maestretti G. Cement volume is the most important modifiable predictor for pain relief in BKP: Results from SWISS-spine, a nationwide registry. *Eur Spine J*. 2013;22:2241-8 <https://doi.org/10.1007/s00586-013-2869-3>
36. Wang M, Zhang L, Fu Z, Wang H, Wu Y. Selections of bone cement viscosity and volume in percutaneous vertebroplasty: A retrospective cohort study. *World Neurosurg*. 2021;150:e218-e227 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.02>
37. Chen X-S, Jiang J-M, Sun P-D, Zhang Z-F, Ren H-L. How the clinical dosage of bone cement biomechanically affects adjacent vertebrae. *J Orthop Surg Res*. 2020;15:370 <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01906-0>
38. 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 <https://doi.org/10.1097/00007632-200107150-00007>
39. Rotter R, Schmitt L, Gierer P, Schmitz K-P, Noriega D, Mittelmeier T, et al. Minimum cement volume required in vertebral body augmentation — A biomechanical study comparing the permanent SpineJack device and balloon kyphoplasty in traumatic fracture. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015;30:720-5 <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.04.015>
40. Martin DJ, Rad AE, Kallmes DF. Prevalence of extravertebral cement leakage after vertebroplasty: Procedural documentation versus CT detection. *Acta Radiol*. 2012;53:569-72 <https://doi.org/10.1258/ar.2012.120222>
41. Lin EP, Ekholm S, Hiwatashi A, Westesson PL. Vertebroplasty: Cement leakage into the disc increases the risk of new fracture of adjacent vertebral body. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25:175-80 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14970015/>
42. Frankel BM, Monroe T, Wang C. Percutaneous vertebral augmentation: An elevation in adjacent-level fracture risk in kyphoplasty as compared with vertebroplasty. *Spine J*. 2007;7:575-82 <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2006.10.020>
43. Zhan Y, Jiang J, Liao H, Tan H, Yang K. Risk factors for cement leakage after vertebroplasty or kyphoplasty: A meta-analysis of published evidence. *World Neurosurg*. 2017;101:633-42 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.01.124>
44. Xie W, Jin D, Ma H, Ding J, Xu J, Zhang S, et al. Cement leakage in percutaneous vertebral augmentation for osteoporotic vertebral compression fractures: Analysis of risk factors. *Clin Spine Surg*. 2016;29:E171-6 <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000229>
45. Barriga-Martín A, Romero-Muñoz LM, Peral-Alarma M, Florensa-Vila J, Guimard-Pérez JH. Relación entre el volumen de cemento inyectado y el volumen vertebral en el resultado clínico y en la aparición de fugas tras vertebroplastia percutánea. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2023;67:181-7 <https://doi.org/10.1016/j.recot.2022.10.021>
46. Tomé-Bermejo F, Piñera AR, Duran-Álvarez C, Román BL-S, 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 (Phila Pa 1976)*. 2014;39:E693–700 <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000000294>
47. Cao J, Kong L, Meng F, Zhang Y, Shen Y. Risk factors for new vertebral compression fractures after vertebroplasty: A meta-analysis. *ANZ J Surg*. 2016;86:549–54 <https://doi.org/10.1111/ans.13428>
 48. Zhang T, Wang Y, Zhang P, Xue F, Zhang D, Jiang B. What are the risk factors for adjacent vertebral fracture after vertebral augmentation? A meta-analysis of published studies. *Global Spine J*. 2022;12:130–41 <https://doi.org/10.1177/2192568220978223>
 49. Lindsay R. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA*. 2001;285:320 <https://doi.org/10.1001/jama.285.3.320>
 50. Staples MP, Howe BM, Ringler MD, Mitchell P, Wriedt CHR, Wark JD, et al. New vertebral fractures after vertebroplasty: 2-year results from a randomised controlled trial. *Arch Osteoporos*. 2015;10:229 <https://doi.org/10.1007/s11657-015-0229-0>
 51. Shi M-M, Cai X-Z, Lin T, Wang W, Yan S-G. Is there really no benefit of vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures? A meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470:2785–99 <https://doi.org/10.1007/s11999-012-2404-6>
 52. Zhang H, Xu C, Zhang T, Gao Z, Zhang T. Does percutaneous vertebroplasty or balloon kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures increase the incidence of new vertebral fractures? A meta-analysis. *Pain Physician*. 2017;20:E13–28.
 53. Han S, Jang I-T. Analysis of adjacent fractures after two-level percutaneous vertebroplasty: Is the intervening vertebral body prone to re-fracture? *Asian Spine J*. 2018;12:524–32 <https://doi.org/10.4184/asj.2018.12.3.524>
 54. Chen Z, Song C, Lin H, Sun J, Liu W. Does prophylactic vertebral augmentation reduce the refracture rate in osteoporotic vertebral fracture patients: A meta-analysis. *Eur Spine J*. 2021;30:2691–7 <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06899-w>
 55. Brighamandwomens.org [consultado 3 Abr 2024]. Disponible en: <https://www.brighamandwomens.org/assets/bwh/patients-and-families/rehabilitation-services/pdfs/t-spine-vertebral-augmentation.pdf>
 56. Kanis JA, Oden A, Johnell O, de Laet C, Jonsson B. Excess mortality after hospitalisation for vertebral fracture. *Osteoporos Int*. 2004;15:108–12 <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1516-y>
 57. Zampini JM, White AP, McGuire KJ. Comparison of 5766 vertebral compression fractures treated with or without kyphoplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468:1773–80 <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1279-7>
 58. Madassery S. Vertebral compression fractures: Evaluation and management. *Semin Intervent Radiol*. 2020;37:214–9 <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709208>