



MONOGRÁFICO COLUMNA

Ablación tumoral y cementación en el tratamiento de las metástasis vertebrales. Estudio multicéntrico



M. Alfonso^{a,*}, R. Llombart^a, L. Gil^a, I. Martínez^a, C. Rodríguez^b, L. Álvarez^c y J. Gallego^c

^a Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, España

^b Neurorradiología Intervencionista. Grupo Quirón Hospitales, Madrid, España

^c Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Fundación Jiménez Díaz, Madrid, España

Recibido el 3 de enero de 2023; aceptado el 16 de abril de 2023

Disponible en Internet el 20 de abril de 2023

PALABRAS CLAVE

Ablación;
Radiofrecuencia;
Metástasis
vertebrales;
Ablación por
microondas;
Fractura vertebral;
Cementación

Resumen

Introducción: El tratamiento de las fracturas vertebrales metastásicas sin compresión neural se realiza con técnicas percutáneas de cementación. El aumento de presión intratumoral por estas técnicas puede enviar células tumorales al torrente sanguíneo. Para evitar esa diseminación y mejorar el tratamiento del dolor se han introducido las técnicas de ablación que permitirían crear una cavidad en el tumor previo a la cementación o directamente necrosar la metástasis cuando el tamaño es pequeño.

Material: Presentamos la experiencia con la ablación de dos hospitales y dos técnicas de ablación distintas. El primer grupo usó la ablación por radiofrecuencia (ARF) en 14 pacientes (26 vértebras) de los cuales en cuatro se asoció una artrodesis vertebral. El segundo grupo usó la ablación por microondas (AMO); 93 pacientes (129 lesiones) sin asociar instrumentación vertebral.

Resultados: En el grupo de ARF la mejoría del dolor en la escala visual analógica (EVA) fue de 7,7 a 2,6 a las seis semanas. No hubo complicaciones derivadas de la ablación. En la mayoría de los casos se asoció la cementación. En el grupo de AMO la mejoría del dolor en EVA pasó de 6,8 a 1,7 a las seis semanas. En todos los casos se asoció la cementación. No hubo complicaciones derivadas de la ablación.

Conclusiones: La asociación de las técnicas de ablación a la cementación vertebral es una técnica segura, que permite mejorar notablemente el dolor del paciente y puede ayudar al control de la enfermedad.

© 2023 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: malfonsool@unav.es (M. Alfonso).

KEYWORDS

Ablation;
Radiofrequency;
Vertebral metastases;
Microwave ablation;
Vertebral fracture;
Augmentation

Tumor ablation and vertebral augmentation in the treatment of vertebral metastases: A multicenter study**Abstract**

Introduction: Treatment of metastatic vertebral fractures without neural compression is performed with percutaneous cementation techniques. The increase in intratumoral pressure by these techniques can send tumor cells into the bloodstream. To prevent this dissemination and improve pain treatment, ablation techniques have been introduced that would allow the creation of a cavity in the tumor prior to cementation or directly necrosing the metastasis when its size is small.

Material: We present the experience with ablation of two hospitals and two different ablation techniques. The first group used radiofrequency ablation (A) in 14 patients (26 vertebrae), 4 of whom underwent vertebral arthrodesis. The second group used microwave ablation (B) in 93 patients (129 lesions) without associated vertebral instrumentation.

Results: In group A pain improvement in VAS was 7.7–2.6 at 6 weeks. There were no complications derived from the ablation. In most cases cementation was associated. In the group B pain improvement in VAS went from 6.8–1.7 at 6 weeks. Cementation was associated in all cases. There were no complications derived from the ablation.

Conclusion: The association of ablation techniques with vertebral cementation is a safe technique that significantly improves the patient's pain and can help control the disease.

© 2023 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 mejoría en la evolución de los tratamientos oncológicos ha supuesto una mejoría en la supervivencia y calidad de vida de los pacientes con cáncer. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la incidencia de cáncer en 2040 será de 29,4 millones de casos¹. El hueso es el órgano más frecuentemente afectado por metástasis siendo la columna vertebral la localización más frecuente. Una revisión sistemática de publicaciones recientes estima la incidencia de metástasis vertebrales en 15,6% y de estas aproximadamente 9,56% sufrirán fracturas vertebrales patológicas y 6,45% compresión medular o radicular².

El tratamiento de las metástasis vertebrales es, en la mayoría de los casos, paliativo e incluye diversas modalidades terapéuticas que incluyen la radioterapia (considerada como el «patrón oro»³), la quimioterapia y la cirugía. El tratamiento quirúrgico⁴ se plantea cuando las metástasis tienen origen en tumores radiorresistentes o en el caso de que se produzca una fractura patológica inestable o compresión neurológica. El avance en las técnicas quirúrgicas hacia intervenciones menos invasivas ha aumentado el uso de instrumentaciones percutáneas y técnicas de refuerzo con cemento como la vertebroplastia y la cifoplastia con las cuales podemos disminuir la morbilidad de los procedimientos.

Como alternativa para mejorar el control local del tumor han surgido técnicas que permiten la ablación de la lesión tumoral.

Existen varios métodos de ablación de lesiones que pueden ser usadas en la columna. La más conocida y usada es la realizada por radiofrecuencia⁵. Consiste en una corriente electromagnética a través de un electrodo que se coloca dentro de la lesión. Se provoca un aumento de

temperatura causada por la fricción molecular y agitación iónica. La muerte celular se produce por necrosis térmica.

La ablación producida por microondas^{6,7} produce una coagulación debido al calor producido por la agitación de las moléculas de agua. La ventaja sobre la radiofrecuencia es que las microondas se propagan por todos los tejidos, incluso los tejidos deshidratados.

Otros métodos menos utilizados son la ablación por láser, que tiene la desventaja que la necrosis provocada es un área muy pequeña. La crioablación que provoca necrosis por frío y sus ventajas son el control del área de lesión por tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y ultrasonido (US) al aparecer como hipodensa la zona tratada y menor dolor provocado que otras técnicas y la ablación por *high intensity focused ultrasound* (HIFU) provoca una necrosis sin pasar por la piel puesto que los haces de US se focalizan en la lesión. La desventaja es que el aire, la cortical ósea, metal y otros impiden la correcta ubicación de los haces⁸.

Estas técnicas pueden ser utilizadas aisladamente o en combinación con técnicas de refuerzo con cemento. En el manejo de las metástasis vertebrales dolorosas⁹ la ablación por radiofrecuencia (ARF) consigue un descenso del dolor y de la discapacidad a corto plazo.

La indicación principal de la ablación incluye los mielomas múltiples¹⁰ y las metástasis vertebrales¹¹.

El objetivo de este trabajo es describir la experiencia en el tratamiento de pacientes con metástasis vertebrales utilizando técnicas de ablación percutáneas y cementación.

Material y métodos

Es un estudio retrospectivo en que se exponen los resultados de dos cohortes. La primera es el grupo en que se realizó la

ARF y la segunda, el grupo en que se ejecutó la ablación por microondas (AMO). Cada procedimiento fue realizado en un solo centro.

Los criterios de inclusión son pacientes con metástasis óseas y mieloma múltiple con dolor limitante no controlado con opioides ni con radiación. Se incluyeron lesiones osteolíticas o mixtas en los cuales el acceso pedicular fuera posible. Se excluyeron del estudio a los pacientes con metástasis osteoblásticas y a aquellos en los que el acceso pedicular no fuese posible.

Técnica quirúrgica

En el grupo de ARF la cirugía se realizó de manera percutánea en la mayoría de los casos y guiada por fluoroscopio con un abordaje transpedicular al cuerpo vertebral (cuando se asoció a la cirugía abierta se aprovechó la incisión quirúrgica). Se introdujo una cánula 10G y se utilizó un osteotomo flexible y dirigible para crear uno o más canales óseos. El número de canales realizados y el abordaje uni o bipedicular dependía de la extensión tumoral. Para la ARF se utilizó el sistema *Tumor Ablation System* (STAR) (DFINE; San José, CA) que incluye una sonda articulada que permite introducir y dirigir un electrodo bipolar. La sonda permite monitorizar la temperatura que adquieren los electrodos durante el procedimiento, la energía de radiofrecuencia se detiene cuando el sensor proximal (localizado a 15 mm del centro del electrodo) registra 50°. En los casos en los que se asoció cementación, esta se realizó inmediatamente después de la ablación, utilizando el sistema *Stabilit Vertebral Augmentation System* (DFINE; San José, CA). Se asoció artrodesis a aquellos pacientes con inestabilidad o afectación masiva del cuerpo vertebral y se asoció descompresión abierta en los casos con compromiso neurológico. Se incluyó un total de 14 pacientes (15 intervenciones, uno de los pacientes requirió una segunda ablación) y 26 vértebras.

En el grupo de ablación con microondas la cirugía se realizó utilizando dos sistemas. El equipo de ablación ECO-100A1 MW con una frecuencia de 2.450 MHz (ECO Microwave Electronic Institute, Nanjing, China) y el equipo de ablación AMIKA-GEN de 2,45 GHz (HS Hospital Service, Aprilia, Italia). Los procedimientos fueron realizados en quirófanos híbridos y en salas angiográficas convertidas en quirófanos ambulatorios equipados con un equipo angiográfico Philips Azurion 7 C20 FlexArm, como sistema de terapia guiada por imagen. La cirugía se realizó de manera percutánea guiada por fluoroscopio con un abordaje transpedicular al cuerpo vertebral. El abordaje uni o bipedicular dependió de la extensión tumoral. Cuando fue necesario por las características, localización o el tamaño de la lesión se realizó una tomografía axial computarizada (TAC) para asistir el proceso. Se introdujo una cánula de 12 o 14 G en el pedículo y se llevó a cabo una adquisición rotacional 3D para ajustar el ángulo y la dirección de la cánula, a través de la cual se insertó coaxialmente la antena en la lesión. De acuerdo con los parámetros de ablación proporcionados por el fabricante y la ubicación de la lesión, se seleccionaron la potencia y el tiempo adecuados. La potencia de MWA fue de 20 a 40 W. Se elaboraron ciclos de microondas cortos y repetidos (30-90 s). El tiempo total de ablación fue de 3-5 min. En caso de localización cercana a estructuras neurales se realizó hidro o

neumodisección del espacio epidural mediante acceso transforaminal. En los casos en los que se asoció vertebralplastia, la cementación se realizó inmediatamente después de la ablación. Se realizaron 93 intervenciones y 129 vértebras.

Evaluaciones

Las variables del estudio registradas fueron: la edad y el sexo del paciente, el riesgo anestésico según la escala del riesgo anestésico de la *American Society of Anesthesiology* (ASA), las vértebras afectadas, la histología del tumor primario y el tiempo de evolución posoperatorio. Los datos quirúrgicos registrados son el número de vértebras tratadas, el acceso uni o bipedicular, el número de ablaciones realizadas en cada nivel, la realización o no de cementación asociada a la ablación y la necesidad de añadir algún otro tratamiento quirúrgico, como la descompresión medular o la artrodesis de los niveles afectados.

Para la evaluación de la efectividad del procedimiento se registraron el dolor pre y posoperatorio según la EVA y se evaluó la funcionalidad mediante la escala del Índice de Discapacidad de Oswestry¹² (ODI) pre y posoperatoria.

En todos los pacientes se realizaron pruebas de imagen previas: radiografías, TC y RM. Se evaluó la afectación del cuerpo vertebral o de los pedículos para la planificación operatoria. Posoperatoriamente se realizaron las mismas pruebas para ver la evolución de la tumoración.

Todos los pacientes dieron su consentimiento informado para la participación en el estudio.

Análisis estadístico

De los resultados de la ARF se efectuó un análisis estadístico empleando el programa SPSS®, versión 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Se consideraron significativos los valores de $p \leq 0,05$. Se utilizó el test de Wilcoxon para muestras pareadas, debido al pequeño tamaño muestral se evaluó la mejoría del dolor en la EVA y de la discapacidad en ODI.

Con los datos de la AMO se realizó un análisis descriptivo exponiendo los valores de las medias y desviaciones estándar de los valores del dolor pre y posoperatorio en EVA.

Resultados

Datos generales

Fueron intervenidos 107 pacientes durante el periodo del estudio mediante ablación tumoral vertebral por mieloma o metástasis vertebral.

La **tabla 1** muestra los tipos de tumor primario por número de pacientes y distribución de las vértebras afectas en el grupo de ARF. La mayoría de las lesiones se ubicaban en la zona dorsal baja y lumbar alta.

De los 107 pacientes, 14 pacientes (ocho mujeres y seis hombres, uno de ellos intervenido en dos ocasiones) con un total de 26 lesiones pertenecían al grupo de ARF. La edad media fue de 67 años y el ASA de 3,1; 93 pacientes con un total de 129 vértebras intervenidas pertenecían al grupo AMO.

Tabla 1 Tumores primarios y localización en la serie de ablación por radiofrecuencia

Tumor primario	Número de pacientes	Lumbar alta (L1-L3)	Lumbar baja y sacro (L4-S1)	Torácica alta (T1-T6)	Torácica baja (T7-T12)
Mieloma múltiple	5	2	2	-	6
Cáncer de pulmón	4*	1	-	2	2
Vejiga	1	1	-	-	1
Renal	1	-	-	-	2
Ovario	1	2	1	-	-
Colangiocarcinoma	1	-	-	3	-
Tiroides	1	1	-	-	-

* Uno de ellos intervenido una segunda vez, por aparición de otra lesión.

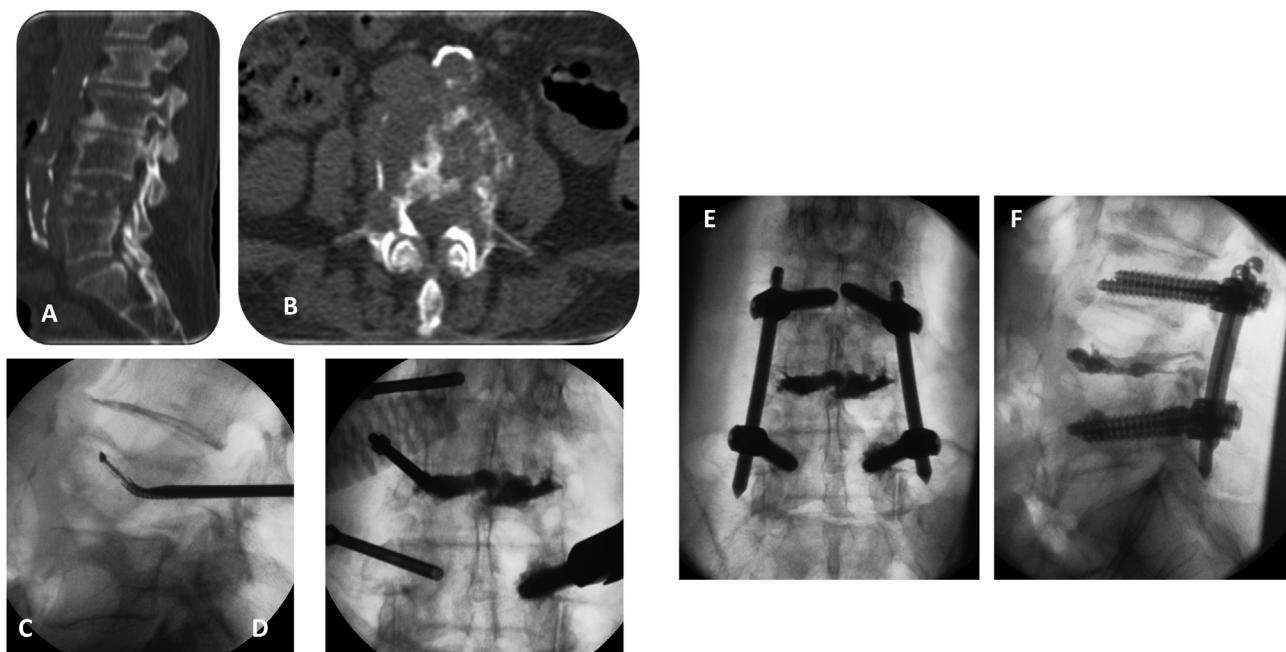


Figura 1 Paciente de 69 años, adenocarcinoma de pulmón metastásico. Paciente encamado dos meses con altas dosis de morfina por dolor lumbar (EVA 9) y en EEII. Radioterapia previa. A) Fractura L4 por metástasis. B) Corte axial de TC mostrando destrucción muro posterior y anterior. C) Ablación por radiofrecuencia. Electrodo dirigido al platillo superior. D) Cementación. E) y F) Fijación percutánea L3-L5.

El paciente volvió a caminar con notable mejoría del dolor (EVA a 2).

Procedimiento

En el grupo ARF, en 21 vértebras de 26 se realizó una cementación de la lesión. Adicionalmente se realizó una descompresión medular abierta con artrodesis instrumentada en tres casos y una artrodesis percutánea en un caso (fig. 1). En el grupo AMO en todos los casos se asoció una cementación (fig. 2) y en ningún caso se realizó cirugía asociada.

El abordaje utilizado en el grupo AMO fue el unipedicular en 58% de las vértebras y bipedicular en 42%. En el grupo ARF se usó unipedicular en 63% y bipedicular en 37%. Se prefirió bipedicular en las lesiones grandes que no eran accesibles a través de un solo pedículo.

Las complicaciones más frecuentes fueron el aumento del dolor posoperatorio (dos casos en el grupo ARF y 11

en el grupo AMO). No hubo fugas sintomáticas ni lesiones neurovasculares.

Durante el seguimiento, ningún paciente presentó fracturas patológicas a pesar de que las lesiones fueron sometidas a carga.

Función

El seguimiento medio fue de ocho meses en el grupo ARF (seis semanas a 21 meses) y de 6,5 meses en el grupo AMO.

Hubo una mejora significativa del dolor entre el preoperatorio y la última revisión en la EVA ($p < 0,05$). En el grupo ARF la puntuación EVA previa a la intervención fue de $7,7 \pm 1,9$ descendiendo a $2,6 \pm 1,6$ en la primera revisión posquirúrgica, realizada a las seis semanas de la intervención (tabla 2). Así, con esta técnica se consiguió disminuir

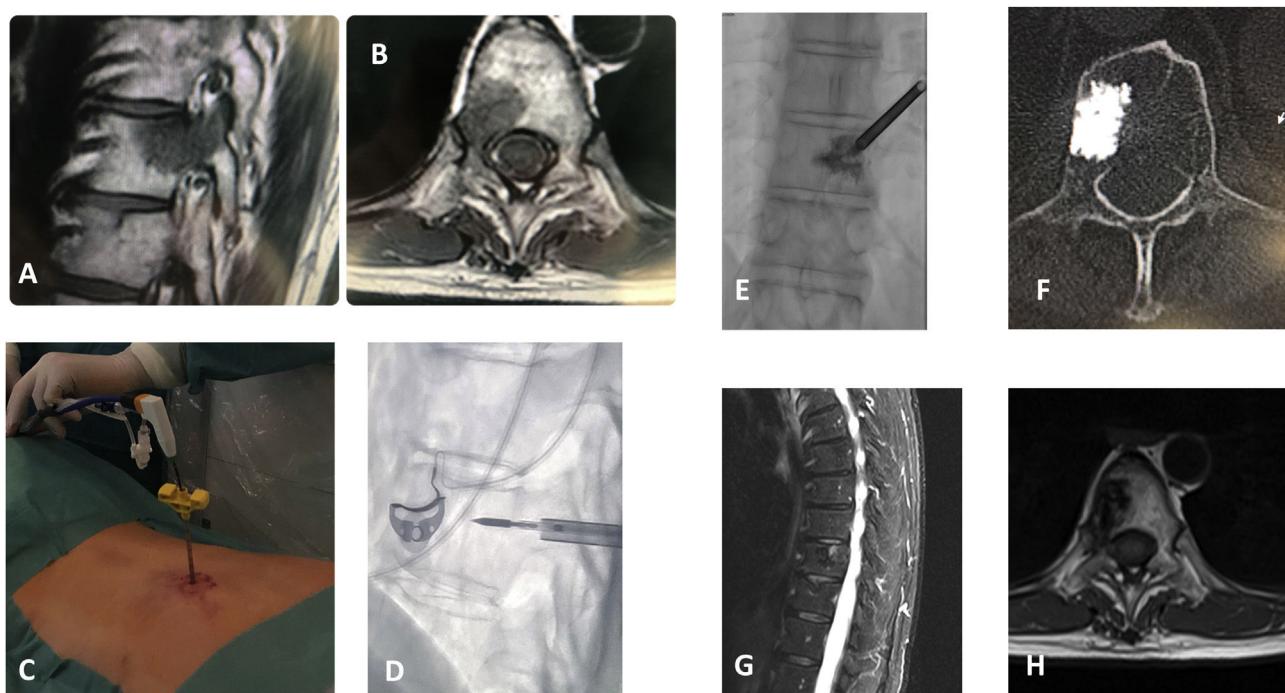


Figura 2 Paciente de 66 años, Metástasis tumor colon. A) y B) Lesión metastásica en T10 afectando a pedículo, muro posterior y cuerpo vertebral. C) y D) Dos momentos de la ablación por microondas. E) Cementación. F) Relleno del cuerpo vertebral en TC. G) y H) Resultado a los 12 meses en RM sin signos de progresión tumoral.

Tabla 2 Resumen de resultados del dolor en EVA

Tratamiento	Nº pacientes	Nº de lesiones	EVA prequirúrgico	EVA posquirúrgica (6 semanas de evolución)
Radiofrecuencia	14	26	7,7 ± 1,9	2,6 ± 1,6
Microondas	93	129	6,8 ± 1,4	1,7 ± 1,4

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar.

una media de 5,1 puntos de la escala EVA (tabla 2). En el grupo AMO previo a la intervención la puntuación media de EVA fue de $6,8 \pm 1,4$ (tabla 2) y a las seis semanas la puntuación media fue de $1,7 \pm 1,4$ y 73% pacientes estaban libres de dolor (tabla 2). El resultado de la mejoría del dolor utilizando ambos métodos de ablación es muy similar.

En el grupo ARF hubo una mejora estadísticamente significativa entre el grado de discapacidad evaluado mediante ODI¹² preoperatorio y en el seguimiento a las seis semanas con $p < 0,05$. La puntuación media prequirúrgica fue $56,3 \pm 31$ (incapacidad severa), mientras que la posquirúrgica, medida a las seis semanas, fue de $30,4 \pm 15$ (incapacidad moderada).

Discusión

Hasta hace unos años la técnica de elección para tratar las fracturas vertebrales sin inestabilidad y sin compresión neurológica cuando había fracasado el tratamiento conservador y radioterápico era la cementación vertebral. Los resultados obtenidos son excelentes¹³ publicando mejoría del dolor de 9,1 en EVA a 2,8. El nivel de evidencia de la cementación en lesiones metastásicas vertebrales es el más alto, 1-A¹⁴.

La cementación es capaz de estabilizar la vértebra y mejorar el dolor también por el efecto térmico y químico del cemento en los nociceptores⁸, no obstante, no sería capaz de controlar el desarrollo tumoral más allá de la superficie en contacto con el cemento.

Se ha demostrado que tras la cementación vertebral aumenta el número de células tumorales circulantes en sangre a los 20 minutos tanto en vertebroplastia como cípoplastia. Se debería a la presión ejercida por el cemento o el balón sobre el tumor que provocaría la salida de las células tumorales a través de los vasos sanguíneos¹⁵. Debido a esto la creación de una cavidad en el tumor mediante la ablación podría disminuir o evitar esta diseminación. Otras estrategias experimentales incluirían la adición de antineoplásicos al cemento^{16,17} con lo que podríamos aumentar el control de la enfermedad a corto y medio plazo.

La ablación tumoral con o sin cementación aparece en la mayoría de los escenarios propuestos por el *Metastatic Spine Disease Multidisciplinary Working Group*¹⁸ para el tratamiento de las metástasis vertebrales como una opción terapéutica lo que muestra la importancia de incorporar esta técnica en nuestro arsenal terapéutico. El nivel de evidencia de la ablación en lesiones metastásicas vertebrales con o sin cementación es II, 2-B¹⁴.

Nuestros resultados han sido similares a los obtenidos por otros autores con radiofrecuencia, como en una revisión sistemática de 15 estudios en 2021⁹, consiguiendo un descenso del dolor y la discapacidad a corto plazo. También nuestros resultados con la técnica de microondas han sido similares a los de la literatura. En una revisión sistemática de ocho estudios en 2020 concluían que la ablación con microondas conseguía mejorar el dolor a corto plazo en pacientes con metástasis vertebrales⁷.

Podemos pensar, dado que hay muy buenos resultados solo con la cementación, los resultados obtenidos en nuestro estudio pueden deberse a la cementación más que a la ablación. Esto es algo que no podemos demostrar en nuestro estudio, pero sí en la literatura. Así lo demuestra Goetz et al.⁵ en una serie de 31 lesiones tratadas por radiofrecuencia sin cementación en las que obtuvieron una mejoría clínica del dolor en EVA de 7,9 a 1,4 a las 24 semanas, aunque existía el riesgo de fractura en lesiones grandes.

Se puede aspirar a controlar la enfermedad en lesiones pequeñas y delimitadas en las que podamos asegurar un buen acceso con las cánulas de ablación a toda la lesión. En lesiones que afectan a todo el cuerpo vertebral el control de la enfermedad es más difícil. En el trabajo de Yildizhan et al.¹⁹ evidencian que la ablación con radiofrecuencia más cementación obtiene mejores resultados en el control del dolor y progresión del tumor que la ARF sola.

Respecto a la comparación de las dos técnicas de ablación empleadas en nuestro estudio no hemos encontrado ningún ensayo clínico aleatorizado comparando la radiofrecuencia con las microondas. Pusceddu et al.²⁰ observa mejores resultados en sus casos realizados con microondas -mejoría de 98% de los casos- que los publicados por Clarençon et al.²¹ con radiofrecuencia -mejoría de 81% de los casos-. Puede ser atribuible a la técnica, pero principalmente a que en su serie se cementaron todos los casos mientras que en la de Clarençon et al.²¹ solo se cementaron la mitad y como sabemos esta técnica asociada mejora los resultados. En nuestro estudio hemos encontrado resultados similares con las dos técnicas, con un descenso medio de 5 puntos en la EVA y parecen igualmente seguras, puesto que no hemos tenido complicaciones más allá de la exacerbación del dolor en el posoperatorio inmediato atribuible a la necrosis tisular.

Nuestro estudio presenta una serie de limitaciones. En cada centro se ha utilizado una técnica de ablación por lo que no hemos podido comparar directamente una técnica con otra realizada por los mismos operadores. El grupo radiofrecuencia incluye pacientes con inestabilidad vertebral por una fractura patológica en los que se ha realizado una fijación percutánea o abierta y descompresión si lo requería, mientras que en el grupo microondas los casos eran menos avanzados y no han requerido fijación y descompresión añadidas.

Conclusiones

Las técnicas de ablación con radiofrecuencia y con microondas son seguras, exentas de complicaciones graves si se realizan bajo control radiológico estricto. Presentan muy buenos resultados asociados a la cementación vertebral. Los resultados de ambas técnicas son comparables en cuanto a la mejoría del dolor a las seis semanas.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Financiación

Los autores declaran no haber recibido financiación para la realización de este estudio.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- WHO report on cancer: setting priorities, investing wisely and providing care for all. World Health Organization 2020: 1-160.
- Van den Brande R, Cornips EM, Peeters M, Ost P, Billiet C, Van de Kelft E. Epidemiology of spinal metastases, metastatic epidural spinal cord compression and pathologic vertebral compression fractures in patients with solid tumors: A systematic review. *J Bone Oncol.* 2022;9:35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbo.2022.100446>.
- Lutz S, Balboni T, Jones J, Lo S, Petit J, Rich S, et al. Palliative radiation therapy for bone metastases: Update of an ASTRO Evidence-Based Guideline. *Pract Radiat Oncol.* 2017;7:4, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pronc.2016.08.001>.
- Wagner A, Haag E, Joerger AK, Joerger A-K, Jost P, Combs SE, et al. Comprehensive surgical treatment strategy for spinal metastases. *Sci Rep.* 2021;11:7988, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-87121-1>.
- Goetz MP, Callstrom MR, Charboneau JW, Farrell MA, Maus TP, Welch TJ, et al. Percutaneous image-guided radiofrequency ablation of painful metastases involving bone: a multicenter study. *Clin Oncol J.* 2004;22:300-6, <http://dx.doi.org/10.1200/JCO.2004.03.097>.
- Carrafiello G, Laganà D, Mangini M, Fontana F, Dionigi G, Boni L, et al. Microwave tumors ablation: principles, clinical applications and review of preliminary experiences. *Int J Surg.* 2008;6 Suppl 1:S65-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2008.12.028>.
- Sagoo NS, Haider AS, Rowe SE, Haider M, Sharma R, Neeley OJ, et al. Microwave Ablation as a Treatment for Spinal Metastatic Tumors: A Systematic Review. *World Neurosurg.* 2021;148:15-23, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2020.12.162>.
- Barile A, Arrigoni F, Zugaro L, Zappia M, Cazzato RL, Gannon J, et al. Minimally invasive treatments of painful bone lesions: state of the art. *Med Oncol.* 2017;34:53, <http://dx.doi.org/10.1007/s12032-017-0909-2>.
- Murali N, Turmezei T, Bhatti S, Patel P, Marshall T, Smith T. What is the effectiveness of radiofrequency ablation in the management of patients with spinal metastases? A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2021;16:659, <http://dx.doi.org/10.1186/s13018-021-02775-x>.
- Orgera G, Krokidis M, Matteoli M, Varano GM, La Verde G, David V, et al. Percutaneous vertebroplasty for pain management in patients with multiple myeloma: is radiofrequency ablation necessary? *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2014;37:203-10, <http://dx.doi.org/10.1007/s00270-013-0624-0>.
- Wallace AN, Greenwood TJ, Jennings JW. Radiofrequency ablation and vertebral augmentation for palliation of painful spinal metastases. *J Neurooncol.* 2015;124:111-8, <http://dx.doi.org/10.1007/s11060-015-1813-2>.

12. Alcantara S, Florez M, Echavarri C, García F. Escala de incapacidad por dolor lumbar de Oswestry. Rehabilitacion. 2006;40:150-8, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120\(06\)74881-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120(06)74881-2).
13. Alvarez L, Perez-Higueras A, Quinones D, Calvo E, Rossi R. Vertebroplasty in the treatment of vertebral tumors: postprocedural outcome and quality of life. Eur Spine J. 2003;12:356-60, <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-003-0525-z>.
14. Aman M, Mahmoud A, Deer T, Sayed D, Hagedorn JM, Brogan SE, et al. The American Society of Pain and Neuroscience (ASPN) Best Practices and Guidelines for the Interventional Management of Cancer-Associated Pain. J Pain Res. 2021;14:2139-64, <http://dx.doi.org/10.2147/JPR.S315585>.
15. Mohme M, Riethdorf S, Dreimann M, Werner S, Maire CL, Joosse SA, et al. Circulating Tumour Cell Release after Cement Augmentation of Vertebral Metastases. Sci Rep. 2017;7:7196, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-07649-z>.
16. Llombart-Blanco R, Villas C, Silva Á, Aldaz A, Navarro I, Forteza J, et al. Local and systemic diffusion of antineoplastic drugs following vertebroplasty using acrylic cement mixed with cisplatin or methotrexate: experimental study in pigs. Eur Spine J. 2017;26:3216-24, <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-017-4980-3>.
17. González AS, Llombart-Blanco R, Angulo MG, Tomé CV, Olmos-García MA. Clinical Outcome and Histological Findings After Induced Leakage of PMMA Loaded With Methotrexate and Cisplatin During Vertebroplasty: Experimental Model in Pigs. Global Spine J. 2023;13:156-63, <http://dx.doi.org/10.1177/2192568221994800>.
18. Wallace A, Robinson C, Meyer J, Tran ND, Gangi A, Callstrom MR, et al. The metastatic Spine Disease multidisciplinary working Group Algorithms. Oncologist. 2015;20:1205-15, <http://dx.doi.org/10.1634/theoncologist.2015-0085err>.
19. Yildizhan S, Boyaci M, Rakip U, Aslan A, Canbek I. Role of radiofrequency ablation and cement injection for pain control in patients with spinal metastasis. BMC Musculoskelet Disord. 2021;22:912, <http://dx.doi.org/10.1186/s12891-021-04799-0>.
20. Pusceddu C, Sotgia B, Fele RM, Ballicu N, Melis L. Combined Microwave Ablation and Cementoplasty in Patients with Painful Bone Metastases at High Risk of Fracture. Cardiovasc Intervent Radiol. 2016;39:74-80, <http://dx.doi.org/10.1007/s00270-015-1151-y>.
21. Clarençon F, Jean B, Pham HP, Cormier E, Bensimon G, Rose M, et al. Value of percutaneous radiofrequency ablation with or without percutaneous vertebroplasty for pain relief and functional recovery in painful bone metastases. Skeletal Radiol. 2013;42:25-36, <http://dx.doi.org/10.1007/s00256-011-1294-0>.