



REVISIÓN

Utilización de semillas magnéticas en la cirugía de la mama y la axila: revisión de la literatura



Sagrario Fuerte Ruiz

Servicio de Cirugía General y Aparato Digestivo, Hospital Universitario de Getafe, Madrid, España

Recibido el 3 de agosto de 2023; aceptado el 5 de enero de 2024

PALABRAS CLAVE

Semilla magnética;
Magseed;
Localización
preoperatoria;
Lesiones no palpables
de mama;
Disección axilar
dirigida

Resumen El aumento del número de lesiones no palpables de la mama y la axila ha llevado a la aparición de diferentes métodos de localización de las mismas. Cada uno presenta ventajas e inconvenientes. En la actualidad, está aumentando la localización con semilla magnética en detrimento de otros métodos. El objetivo de este trabajo es valorar la experiencia reciente de diferentes grupos y analizar sus argumentos a favor de la utilización de la semilla magnética como método de localización de lesiones no palpables en la mama y la axila.

Se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos consultando las bases de datos PubMed y EMBASE, con restricción por fecha a artículos posteriores a 2018, en español e inglés. No se han hecho restricciones respecto al tipo de estudio. Se seleccionaron 43 artículos, con aportaciones y experiencias en diferentes países.

© 2024 SESPM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Magnetic seed;
Magseed;
Preoperative location;
Non-palpable breast
lesions;
Targeted axillary
dissection

Magnetic seed utilization in breast and axillary surgery: A literature review

Abstract The raise of non-palpable breast and axillary lesions has led to the development of multiple diagnostic techniques. Each one with its own has advantages and limitations. Currently, the technique using magnetic seed has increased, leading to a decrease of the other one. The aim of this study is to assess the recent experience of different groups and analyse the arguments in favour of using magnetic seed as a diagnostic technique for non-palpable breast and axillary lesions.

A literature review has been performed on PubMed and EMBASE, including articles in English and Spanish from 2018 to 2022. No restrictions have been made regarding the type of study. Forty-three articles were selected, with contributions and experiences in different countries.

© 2024 SESPM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Correo electrónico: sagrario.fuerte@gmail.com.

Introducción

Los avances en los métodos de detección precoz y el desarrollo de programas de cribado han favorecido el aumento en la incidencia del cáncer de mama y su diagnóstico en estadios más precoces. La neoadyuvancia ha incrementado las cirugías de lesiones no palpables y la necesidad de buscar alternativas a los métodos clásicos de localización preoperatoria. La cirugía conservadora de la mama se basa en la preservación de la mayor cantidad de tejido sano posible, obteniendo márgenes libres de tumor, evitando reintervenciones y mastectomías, con resultados oncológicos seguros y estéticos satisfactorios. Desarrollado en la década de 1970, la técnica *gold standard* para la localización preoperatoria de lesiones no palpables de mama ha sido el arpón o anclaje¹.

En 1996 aparece el primer sistema sin cables como alternativa al arpón. Es un método de localización radioguiada de lesiones ocultas (ROLL) usando albúmina con TC-99m, inyectado en el tumor bajo guía ultrasónica o estereotáxica 24 horas previas a la intervención.

Utilizando el mismo método de inserción, en 2001 surge la localización radioguiada mediante semillas de titanio marcadas con I-125 (RSL). Permite la confirmación radiológica del sitio de implantación y su vida media es de 60 días.

En 2014, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) aprueba un sistema con reflector de ondas de radar que se activa con luz infrarroja. Se coloca de manera percutánea, bajo control radiológico. Puede no detectarse después de la colocación y en lesiones profundas (45 mm).

En 2014 Health Canada² y en 2016 la FDA, aprueban un sistema no radiactivo para localizar magnéticamente lesiones no palpables de la mama y los ganglios axilares. En 2017 obtiene el marcador CE (Consejo de Europa). En 2020 se aprueba su implementación a largo plazo en cualquier momento antes de la cirugía (initialmente de 30 días) y su utilización en el marcaje de ganglios axilares preneoadyuvancia.

Todos estos métodos tienen sus ventajas e inconvenientes que deben ser valorados y adaptados a los recursos propios de cada centro³⁻⁵.

Método

El método utilizado para la realización de este trabajo ha sido la búsqueda bibliográfica de artículos científicos publicados en revistas internacionales de alto impacto, consultando las bases de datos PubMed y EMBASE principalmente, considerando los idiomas español e inglés. Dado lo novedoso de esta técnica, el estudio se ha restringido a artículos publicados en los últimos 5 años, desde 2018. No se han hecho restricciones respecto al tipo de estudio y se han incluido diferentes tipos de documentos como artículos, revisiones, patentes y congresos.

De los documentos encontrados se seleccionaron 43 artículos, con aportaciones y experiencias en diferentes países. En algunos hacen referencia a otros métodos de localización, comparando sus ventajas e inconvenientes con respecto a la utilización de la semilla magnética.

Resultados

La semilla magnética es un marcador de acero inoxidable de 1 x 5 mm. Se coloca bajo anestesia local, mediante una aguja 18 G precargada. Visible con el ecógrafo y el mamógrafo, puede implantarse en todo tipo de lesiones. Es compatible con la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), aunque artefacta la imagen. Sin límite de tiempo para su retirada, se puede utilizar más de una semilla y de manera bilateral.

Su localización es sencilla⁶, con una sonda que detecta material magnético mediante señales acústicas y numéricas en un campo de 360 grados. El número de cuentas marca la distancia a la semilla (fig. 1), pudiendo controlar así el margen de seguridad.

En 2018, se publica en el Reino Unido el primer estudio clínico de localización con semilla magnética⁷. Es un estudio de cohorte multicéntrico durante 10 meses en pacientes programadas para mastectomía. Detectan la semilla en todos los tamaños y profundidades de la mama⁸. La compresión con la sonda ayuda a ubicar el dispositivo, sobre todo tras la incisión quirúrgica. Revisar las imágenes radiológicas facilita su localización.

También en 2018 se publica otro estudio en San Francisco, con 73 semillas magnéticas en 64 pacientes durante 4 meses⁹. Sugiere que la utilización de semilla magnética es un método eficaz y preciso. Describe la utilización de más de una semilla (fig. 2), utilizando la angulación de la sonda en distancias menores a 2 cm entre ambas.

Su colocación días antes de la intervención, permite mayor flexibilidad organizativa. Reduce retrasos en la programación optimizando el tiempo de la jornada quirúrgica. En caso de suspensión, la paciente puede ser dada de alta. Aunque su precio es mayor al del arpón, el



Figura 1 Localización intraoperatoria de la semilla magnética (imagen procedente de un estudio propio).

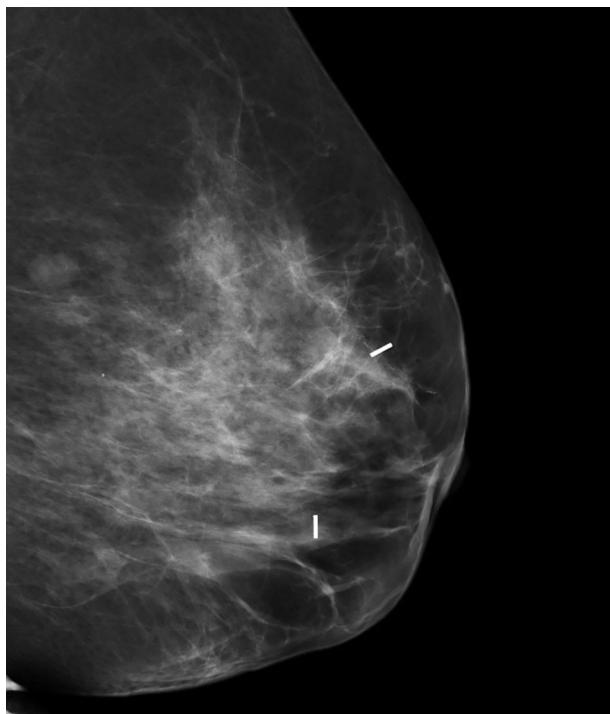


Figura 2 Mamografía con 2 semillas magnéticas (imagen procedente de un estudio propio).

facilitar un flujo de trabajo más eficiente¹⁰ y disminuir los retrasos en las listas de espera, hace que sea una opción rentable.

La semilla magnética no se fragmenta ni desplaza una vez implantada, obviando problemas como el de arpones retenidos. No presenta captación en la zona del trayecto de implantación, como con el ROLL. Al no ser radiactiva, se elimina sin medidas de seguridad, contrario a las semillas radiactivas, reduciendo la radioexposición y el precio final.

El abordaje quirúrgico no está condicionado¹⁰, disminuyendo la cantidad de disección de tejido^{11,12} y mejorando los resultados estéticos, sobre todo en mamas pequeñas^{6,13-15}. En estudios que comparan la semilla magnética frente al arpón, el peso de la pieza extirpada y la excentricidad de la lesión fueron significativamente inferiores con la semilla¹⁴, estadísticamente hablando. Las tasas de rescisión fueron favorables en comparación con el arpón¹⁶⁻¹⁹.

La localización de la semilla en la pieza y la comprobación del lecho quirúrgico con la sonda, hacen innecesario el control radiológico, salvo en los casos de microcalcificaciones extensas. Se evita la suspensión en casos de avería de los equipos y, al controlar con la sonda tanto la pieza como el lecho quirúrgico, no es necesario el radiólogo para el control de la pieza quirúrgica.

La curva de aprendizaje para cirujanos y radiólogos es sencilla¹⁷. La técnica de colocación es similar a la de otros marcadores^{13,14,18,20}. En 2022, en un estudio, donde se analizan los patrones de práctica de localizaciones mamarias y axilares, encuestando a los médicos de la *Society of Breast Imaging*, un mayor número de radiólogos con capacitación especializada en mamas tenían más probabilidades de usar dispositivos de localización inalámbricos²¹.

El desvincular la colocación de la semilla del día de la intervención, reduce el estrés y la ansiedad de las pacientes^{10,14}, disminuyendo las reacciones vasovagales por colocación del arpón en ayunas. Se puede coordinar con otras citas hospitalarias, reduciendo el número de visitas. Son conclusiones del estudio de Miller et al. en Cleveland, con 842 semillas magnéticas (136 en ganglios axilares) durante 20 meses¹³. En Australia, en 2021, un estudio multicéntrico llega a estas mismas conclusiones, recalculando la mejor logística en el quirófano, flexibilidad en la localización de la incisión y mejor experiencia de la paciente¹⁰.

La colocación de la semilla en diferente día al de la cirugía^{13,22} posibilita intervenciones en centros de cirugía ambulatoria, sin radiólogos presenciales¹⁷, reduciendo recursos personales y económicos. El precio de la semilla y la sonda se compensa con procedimientos más cortos y mayor eficiencia del quirófano. Permite realizar múltiples procedimientos durante la jornada quirúrgica. Son las mismas conclusiones de una revisión retrospectiva de una base de datos prospectiva de las primeras 100 pacientes con semillas magnéticas en un centro de referencia terciario irlandés¹⁵.

Un análisis de costes completo debe incluir el precio de compra, la eficiencia radiológica y del quirófano, las inyecciones de radionucleótidos, la satisfacción del paciente y los resultados quirúrgicos⁷. La evidencia reciente sugiere que la semilla magnética es más rentable que el arpón y aunque son más costosas, facilitan un flujo de trabajo más eficiente¹⁵ y eliminan retrasos en las listas quirúrgicas y radiológicas, mejorando la capacidad para gestionar derivaciones de pacientes, aumentando la rentabilidad del proceso¹⁴. A esta misma conclusión llegan tras un estudio prospectivo realizado durante 5 años en un entorno rural en Australia²³.

En 2020, un análisis del impacto presupuestario en Holanda durante 5 años entre semilla magnética, radiactiva y arpón, reveló que la semilla magnética podría ser rentable²⁴.

Se han publicado diversos estudios comparando sistemas de localización. En 2019, Zacharioudakis et al. presentaron un estudio de control prospectivo no aleatorizado multicéntrico entre semilla y arpón en 2 grupos de 100 pacientes durante un año. No encontraron diferencias en las tasas de rescisión²⁵.

En el Reino Unido, en 2019, un estudio prospectivo multicéntrico de un solo brazo con semilla magnética encuentra una disminución de la tasa de rescisión, con mejor utilización de recursos y coordinación entre los servicios¹⁶.

Para el primer ensayo prospectivo fase IV, en 2020, con 107 pacientes, la semilla magnética es un método eficaz y seguro con margen de resección negativo del 91%²⁰. Los médicos encuestados lo calificaron como una técnica sencilla de aprendizaje y de fácil implantación.

En 2020, Gera et al. en una revisión sistemática y análisis combinado de 1.559 procedimientos, comparando semilla magnética y arpón²⁶, concluyen que la semilla es eficaz, fácil, sensible, válida y segura, superando limitaciones del arpón, con una tasa de localización del 99,86% y de rescisión baja comparada con otros métodos. Los resultados oncoplásticos y la eficiencia de la programación superan

limitaciones de otros métodos. Los retrasos en las intervenciones y los resultados quirúrgicos la hacen una opción rentable.

Un estudio alemán de 2020, compara arpones en 14 pacientes con semillas magnéticas en otras 14²⁷. Las pacientes con arpón refirieron más dolor al toser, moverse y dormir. La semilla disminuyó el tiempo quirúrgico tras la curva de aprendizaje, redujo la carga organizacional al simplificar la programación y obtuvo mejores resultados estéticos por el abordaje quirúrgico. Además, no precisa de control de radiactividad.

En China, un estudio retrospectivo de 2020, con 22 semillas, concluye que es un sistema seguro y eficaz, sin documentar complicaciones²⁸. En 2021, un estudio de viabilidad multicéntrico en Japón en 87 pacientes, utilizando un marcador y una sonda magnética, llegan a las mismas conclusiones²⁹.

En 2021, Garzotto et al. en una revisión sistemática y metaanálisis, compararon en 27 estudios los resultados clínicos de la utilización de técnicas no ionizantes sin cable con la localización con arpón³⁰, la semilla magnética y el radar tuvieron menor tasa de margen positivo, disminuyendo las rescisiones y mejorando la estética. Ross et al. publican una reducción de rescisiones en un estudio prospectivo con 255 pacientes¹⁹.

En la República Checa, un ensayo clínico multicéntrico con semillas magnéticas en la mama y la axila³¹ destaca la ausencia de controles de radiactividad, siendo comparable a otros métodos en radicalidad oncológica.

Son varios los estudios de 2022 que comparan semillas magnéticas con arpones¹⁸. En un análisis de cohortes retrospectivo con 608 procedimientos con semilla y 628 con arpones, el tiempo quirúrgico y el tejido extirpado fueron inferiores con las semillas¹². En otro, comparando 2 grupos de 148 pacientes encuentran menor volumen de tejido extirpado, menos márgenes positivos y menores tasas de rescisión, utilizando semillas¹¹. Dave et al. encuentran resultados similares en cuanto a seguridad y eficacia en un estudio de cohortes prospectivo con 2.300 pacientes³².

Liang et al. analizan retrospectivamente los resultados con semillas magnéticas como alternativa a las radiactivas y a los arpones²². Los arpones son más incómodos, pueden migrar y dificultan la coordinación. Las tasas de márgenes negativos fueron similares en ambas semillas, pero la magnética supera las limitaciones de seguridad de radiación y aumenta la eficiencia de programación.

Un metaanálisis en red de ensayos controlados aleatorizados compara diferentes métodos de localización³³. Se incluyen 24 ensayos clínicos que evaluaron 9 métodos en 4.236 mamas. No encuentran diferencias en la duración de la intervención ni en las complicaciones. Las tasas de margen positivo y de rescisión disminuyen con los nuevos métodos, comparados con el arpón. La semilla magnética es la que consigue mayor satisfacción de las pacientes.

Los factores a considerar antes de la selección de un método, incluyen precio, eficiencia del flujo de trabajo, preferencia del radiólogo y el cirujano, facilidad de uso y satisfacción del paciente^{34,35}.

Otro uso de la semilla magnética es en la disección axilar dirigida (TAD). Consiste en la localización y extirpación de ganglios metastásicos marcados previo a la neoadyuvancia, y de los ganglios centinela para evaluar la respuesta axilar al tratamiento. Tras finalizar la quimioterapia se realiza la

biopsia selectiva del ganglio centinela y la extirpación del ganglio marcado, que puede coincidir o no con el centinela³⁶. La semilla se coloca, con control ecográfico, previo al tratamiento quimioterápico o tras finalizarlo. Disminuye la tasa de falsos negativos y el número de linfadenectomías, con seguridad oncológica, según los criterios actuales de las guías NCCN® (*The National Comprehensive Cancer Network®*)³¹.

En 2019 García Moreno et al. publican el primer caso clínico del uso de semillas magnéticas en ganglios axilares metastásicos antes de la neoadyuvancia³⁷. La semilla genera un artefacto en la RMN, que podría afectar a la visualización del tumor en un diámetro de 3 cm, por lo que la respuesta radiológica en los ganglios tras la neoadyuvancia debe evaluarse con ecografía.

Greenwood et al. publican el primer estudio con 37 semillas magnéticas en ganglios axilares³⁸. Debido a la proximidad de los vasos no utilizan arpones. Es el mismo argumento para Mariscal et al. en su estudio de cohorte prospectivo transversal entre 2017 y 2019 en 29 pacientes, con una tasa de éxito del 100%³⁹.

En 2021 Simons et al. presentan un ensayo prospectivo de TAD con semilla magnética en 50 pacientes⁴⁰. Es una forma segura, eficaz y fácil de realizar, que supera los problemas de las semillas radiactivas de seguridad y tiempo limitado, por su vida media. En Austria, en 2021, utilizaron la semilla magnética en TAD en 40 pacientes, con una tasa de identificación del ganglio marcado del 100%⁴¹.

Se reseña sobre la técnica combinada totalmente magnética de lesiones no palpables de mama con semilla magnética y de ganglio centinela con nanopartículas superparamagnéticas de óxido de hierro utilizando la misma sonda de detección. Las nanopartículas se inyectan subaréolar desde una semana antes hasta el momento de la cirugía. En 2019 se publicó en Suecia el primer estudio combinado⁴². Facilita la planificación y evita a las pacientes ir al hospital el día antes de la intervención para la inyección del radioisótopo. Posibilita la localización de los tumores y el ganglio centinela en las instalaciones sin medicina nuclear⁴³.

Discusión

Tras la aprobación del uso de semillas magnéticas para la localización preoperatoria de lesiones no palpables de la mama y adenopatías axilares, son numerosos los estudios publicados a nivel mundial durante los últimos 5 años sobre las experiencias, los resultados clínicos y la comparación con otros sistemas. Hemos encontrado ensayos clínicos, estudios prospectivos, retrospectivos, de cohortes, de control, aleatorizados o no, multicéntricos y revisiones sistemáticas. Analizan diferentes aspectos, centrándose en sus ventajas en comparación con otros métodos.

Frente al uso de arpones la semilla no se rompe ni se desplaza, no hace falta colocarla el día de la intervención y no condiciona la incisión quirúrgica. Comparado con el ROLL y el SNOLL, no precisa de inyección en las 24 horas previas, se evita la captación del trayecto, permite la obtención de imágenes radiológicas y obvia la necesidad de un servicio de medicina nuclear. Al no ser radiactiva evita los problemas de seguridad y control de residuos de los métodos de localización radioguiada (RSL). Los reflectores de radar

Tabla 1 Diferencias entre distintas técnicas de localización de lesiones no palpables en mama y axila

	Arpón	ROLL/SNOLL	RSL	Radar	Semilla magnética
Colocación	Día de la cirugía	24 h	60 días	Sin límite de tiempo	Sin límite de tiempo
Visible en Rx	+	-	+	+	+
Radiactividad	-	+	++	-	-
Localización/extracción	+	++	++	++	+++
Tamaño de la pieza/estética	+	+	++	++	+++
Comodidad del paciente, radiólogo y cirujano	+	++	+++	+++	++++

- Negativo; + Afirmativo, a mayor número de símbolos mayor valor del concepto analizado.

pueden no detectarse después de su colocación entre un 2 y 2,5%. En la [tabla 1](#) se muestran comparativamente las principales diferencias existentes entre las técnicas analizadas.

El desvincular su colocación del día de la intervención optimiza los tiempos quirúrgicos, aumentando el número de pacientes intervenidas por jornada. Aporta independencia al radiólogo para organizar sus citas y posibilita la realización de estas cirugías en centros sin radiólogos de presencia. Todo ello influye favorablemente en el precio final del proceso.

Dentro de la tendencia actual de humanización de los procesos sanitarios, su colocación días antes de la intervención disminuye el estrés de las pacientes. Permite hacer coincidir ese día con otras citas, evitando visitas reiteradas. Al no condicionar la localización de la incisión, utilizando las zonas de la mama menos visible, mejoran los resultados estéticos¹⁰⁻¹². El menor tamaño de las piezas quirúrgicas posibilita la realización de cirugías conservadoras, incluso en mamas pequeñas^{6,13,15}.

La satisfacción con el proceso también se ha documentado entre radiólogos y cirujanos por su facilidad y rapidez de aprendizaje y coordinación entre ambos especialistas²¹.

En el intento de evitar linfadenectomías axilares innecesarias surge la TAD. La semilla magnética contribuye a la realización de la técnica con el marcaje de los ganglios metastásicos preneoadyuvancia. Evita posibles lesiones del paquete vascular axilar^{38,39}. Al no tener límite de tiempo para su extracción no se ve afectada por la duración del tratamiento neoadyuvante. La ausencia de control radiactivo mejora el precio final^{17,31}.

La técnica combinada magnética en la mama y el ganglio centinela, evita la necesidad de un servicio de medicina nuclear en el centro y evita el desplazamiento de las pacientes⁴³. Salvo en caso excepcionales de pacientes alérgicas a determinados metales.

Son numerosos los trabajos publicados en poco tiempo, con un número importante de pacientes estudiados. Tras la revisión de los 43 artículos recopilados, parece que la tendencia actual es hacia el aumento de la utilización de semillas magnéticas para localización de lesiones no palpables de la mama y el marcaje de ganglios metastásicos en TAD tras la neoadyuvancia.

Conclusiones

El incremento de lesiones no palpables de la mama por los programas de cribado, la mejora de métodos diagnósticos por imagen y de terapias neoadyuvantes, ha propiciado la

búsqueda y mejora de métodos de localización preoperatoria de dichas lesiones. Cada método busca mantener las ventajas del anterior y superar sus desventajas. Tras realizar esta revisión, parece que la evidencia científica nos dirige hacia el uso creciente de semillas magnéticas. Supera las desventajas de otros métodos, es eficaz, seguro, económicamente competente y humaniza un proceso con gran carga psicológica para los pacientes.

El marcaje de ganglios axilares metastásicos con semillas magnéticas facilita la TAD tras la neoadyuvancia. El futuro se encamina a técnicas quirúrgicas más conservadoras en la mama y la axila. La semilla magnética va en esa dirección.

El uso combinado de semillas magnéticas en la mama con nanopartículas superparamagnéticas en el ganglio centinela, favorecería el tratamiento quirúrgico de pacientes con cáncer de mama en los centros sin servicio de medicina nuclear. Se aportarían ventajas logísticas, económicas y de comodidad de las pacientes.

El precio final del proceso está influenciado por múltiples factores, desde la compra de la semilla hasta el resultado final postoperatorio. La suma de todos ellos hace que el precio inicial más elevado de la semilla magnética se vea atenuado, llegando a ser un método eficaz, competitivo e incluso más económico que sus predecesores en el mercado.

Cada centro deberá adoptar el sistema que mejor se adapte a sus condiciones particulares valorando todas las variables que afectan al proceso.

Responsabilidades éticas

La autora declara que ha seguido todas las normas éticas para la publicación de artículos de revisión.

Consentimiento informado

La autora declara que se han obtenido todos los consentimientos para la publicación de este artículo.

Financiación

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

Conflictos de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Pieszko K, Wichtowski M, Cieciorkowski M, Jamont R, Murawa D. Evaluation of the nonradioactive inducible magnetic seed system Magseed for preoperative localization of nonpalpable breast lesions - initial clinical experience. *Contemp Oncol (Pozn)*. 2020;24:51–4. <https://doi.org/10.5114/wo.2020.93677>.
- Yeung SST, Farrah K. Magnetic seed localization for soft tissue lesions in breast patients: Clinical effectiveness, cost-effectiveness, and guidelines.CADTH Rapid Response Report: Summary with Critical Appraisal. Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health: Ottawa (ON); 2019 May 23. ISSN: 1922-8147.
- Mayo 3rd RC, Kalambo MJ, Parikh JR. Preoperative localization of breast lesions: current techniques. *Clin Imaging*. 2019;56:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2019.01.013>.
- Tayeh S, Gera R, Perry N, Michell M, Malhotra A, Mokbel K. The use of magnetic seeds and radiofrequency identifier tags in breast surgery for non-palpable lesions. *Anticancer Res*. 2020;40:315–21. <https://doi.org/10.21873/anticancer.13955>.
- Norman C, Lafaurie G, Uhercik M, Kasem A, Sinha P. Novel wire-free techniques for localization of impalpable breast lesions-A review of current options. *Breast J*. 2021;27:141–8. <https://doi.org/10.1111/tbj.14146>.
- Rulli A, Covarelli P, Servoli A, Saracini A, Panzarola P, Colella R, et al. Accuracy and feasibility of SentiMag technique for localization of nonpalpable breast lesions. *Minerva Chir*. 2020;75:255–9. <https://doi.org/10.23736/S0026-4733.20.08303-0>.
- Harvey JR, Lim Y, Murphy J, Howe M, Morris J, Goyal A, et al. Safety and feasibility of breast lesion localization using magnetic seeds (Magseed): a multi-centre, open-label cohort study. *Breast Cancer Res Treat*. 2018;169:531–6. <https://doi.org/10.1007/s10549-018-4709-y>.
- Nicolae A, Dillon J, Semple M, Hong NL, Ravi A. Evaluation of a ferromagnetic marker technology for intraoperative localization of non-palpable breast lesions. *AJR Am J Roentgenol*. 2019;212:727–33. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20195>.
- Price ER, Khouri AL, Esserman LJ, Joe BN, Alvarado MD. Initial clinical experience with an inducible magnetic seed system for preoperative breast lesion localization. *AJR Am J Roentgenol*. 2018;210:913–7. <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18345>.
- McCamley C, Ruysers N, To H, Tsao S, Keane H, Poliness C, et al. Multicentre evaluation of magnetic technology for localisation of non-palpable breast lesions and targeted axillary nodes. *ANZ J Surg*. 2021;91:2411–7. <https://doi.org/10.1111/ans.17108>.
- Redfern RE, Shermis RB. ASO Visual Abstract: initial experience using Magseed for breast lesion localization compared to wire-guided localization-analysis of volume and margin clearance rates. *Ann Surg Oncol*. 2022;29:3784. <https://doi.org/10.1245/s10434-022-11398-3>.
- Kelly BN, Webster AJ, Lamb L, Spivey T, Korotkin JE, Henriquez A, et al. Magnetic seeds: An alternative to wire localization for non-palpable breast lesions. *Clin Breast Cancer*. 2022;22:E700–7. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2022.01.003>.
- Miller ME, Patil N, Li P, Freyvogel M, Greenwalt I, Rock L, et al. Hospital system adoption of magnetic seeds for wireless breast and lymph node localization. *Ann Surg Oncol*. 2021;28:3223–9. <https://doi.org/10.1245/s10434-020-09311-x>.
- Micha AE, Sinnott V, Downey K, Allen S, Bishop B, Hector LR, et al. Patient and clinician satisfaction and clinical outcomes of Magseed compared with wire-guided localisation for impalpable breast lesions. *Breast Cancer*. 2021;28:196–205. <https://doi.org/10.1007/s12282-020-01149-1>.
- Murphy E, Quinn E, Stokes M, Kell M, Barry M, Flanagan F, et al. Initial experience of magnetic seed localization for impalpable breast lesion excision: first 100 cases performed in a single Irish tertiary referral centre. *Surgeon*. 2022;20:e36–42. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2021.02.010>.
- Thekkinkattil D, Kaushik M, Hoosein MM, Al-Attar M, Pilgrim S, Gvaramadze A, et al. A prospective, single-arm, multicentre clinical evaluation of a new localisation technique using non-radioactive Magseeds for surgery of clinically occult breast lesions. *Clin Radiol*. 2019;74:974.e7–974.e11. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.08.018>.
- Powell M, Gate T, Kalake O, Ranjith C, Pennick MO. Magnetic seed localization (Magseed) for excision of impalpable breast lesions-The North Wales experience. *Breast J*. 2021;27:529–36. <https://doi.org/10.1111/tbj.14232>.
- Constantinidis F, Sakellariou S, Chang SL, Linder S, MacPherson B, Seth S, et al. Wireless localisation of breast lesions with MagSeed. A radiological perspective of 300 cases. *Br J Radiol*. 2022;95:20211241. <https://doi.org/10.1259/bjr.20211241>.
- Ross FA, Elgammal S, Reid J, Henderson S, Kelly J, Flinn R, et al. Magseed localisation of non-palpable breast lesions: experience from a single centre. *Clin Radiol*. 2022;77:291–8. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.01.034>.
- Singh P, Scoggins ME, Sahin AA, Hwang RF, Kuerer HM, Caudle AS, et al. Effectiveness and safety of Magseed-localization for excision of breast lesions: a prospective, phase IV trial. *Ann Surg Open*. 2020;1, e008. <https://doi.org/10.1097/as9.0000000000000008>.
- Anderson TL, Johnson MP, Viers LD, Khanani S. Practice patterns of preoperative breast and axillary localizations. *Curr Probl Diagn Radiol*. 2022;51:707–11. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2022.01.011>.
- Liang DH, Black D, Yi M, Luo CK, Singh P, Sahin A, et al. Correction to: Clinical outcomes using magnetic seeds as a non-wire, non-radioactive alternative for localization of non-palpable breast lesions. *Ann Surg Oncol*. 2022 Mar 17. <https://doi.org/10.1245/s10434-022-11652-8>. Erratum for: *Ann Surg Oncol*. 2022;29:3822–3828. <https://doi.org/10.1245/s10434-022-11443-1>.
- Sreedhar S, Maloney J, Hudson S. Introducing SentiMag in a rural setting: a 5-year experience. *ANZ J Surg*. 2021;91:2404–10. <https://doi.org/10.1111/ans.17093>.
- Lindenberg M, van Beek A, Retèl V, van Duijnhoven F, van Harten W. Early budget impact analysis on magnetic seed localization for non-palpable breast cancer surgery. *PLoS One*. 2020;15: e0232690. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232690>.
- Zacharioudakis K, Down S, Bholah Z, Lee S, Khan T, Maxwell AJ, et al. Is the future magnetic? Magseed localisation for non-palpable breast cancer. a multi-centre non randomised control study. *Eur J Surg Oncol*. 2019;45:2016–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2019.06.035>.
- Gera R, Tayeh S, Al-Reefy S, Mokbel K. Evolving role of Magseed in wireless localization of breast lesions: systematic review and pooled analysis of 1,559 procedures. *Anticancer Res*. 2020;40: 1809–15. <https://doi.org/10.21873/anticancer.14135>.
- Kühn F, Simon CEE, Aliyeva I, Kußmaul J, Groß J, Schweizerhof O, et al. A German study comparing standard wire localization with magnetic seed localization of non-palpable breast lesions. *In Vivo*. 2020;34:1159–64. <https://doi.org/10.21873/invivo.11888>.
- Fung WY, Wong T, Chau CM, Yu ELM, Chan TS, Chan RLS, et al. Safety and efficacy of magnetic seed localisation of non-palpable breast lesions: pilot study in a Chinese population. *Hong Kong Med J*. 2020;26:500–9. <https://doi.org/10.12809/hkmj208559>.
- Kurita T, Taruno K, Nakamura S, Takei H, Enokido K, Kuwayama T, et al. Magnetically guided localization using a Guiding-Marker System® and a handheld magnetic probe for non-palpable breast lesions: a multicenter feasibility study in Japan. *Cancers (Basel)*. 2021;13:2923. <https://doi.org/10.3390/cancers13122923>.

30. Garzotto F, Comoretto RI, Michieletto S, Franzoso G, Lo Mele M, Gregori D, et al. Preoperative nonpalpable breast lesion localization, innovative techniques and clinical outcomes in surgical practice: a systematic review and meta-analysis. *Breast.* 2021;58:93–105. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2021.04.007>.
31. Žatecký J, Kubala O, Coufal O, Kepičová M, Faridová A, Rauš K, et al. Magnetic seed (Magseed) localisation in breast cancer surgery: a multicentre clinical trial. *Breast Care (Basel).* 2021;16:383–8. <https://doi.org/10.1159/000510380>.
32. Dave RV, Barrett E, Morgan J, Chandarana M, Elgammal S, Barnes N, et al. Wire- and magnetic-seedguided localization of impalpable breast lesions: iBRA-NET localisation study. *Br J Surg.* 2022;109:274–82. <https://doi.org/10.1093/bjs/znab443>.
33. Davey MG, O'Donnell JPM, Boland MR, Ryan ÉJ, Walsh SR, Kerin MJ, et al. Optimal localization strategies for non-palpable breast cancers - a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Breast.* 2022;62:103–13. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2022.02.004>.
34. Davis KM, Raybon CP, Monga N, Waheed U, Michaels A, Henry C, et al. Image-guided localization techniques for non-palpable breast lesions: an opportunity for multidisciplinary patient-centered care. *J Breast Imaging.* 2021;542–55. <https://doi.org/10.1093/jbi/wbab061>.
35. Cebrecos I, Sánchez-Izquierdo N, Ganau S, Mensión E, Perissinotti A, Úbeda B, et al. Radioactive and non-radioactive seeds as surgical localization method of non-palpable breast lesions. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed).* 2022;41:100–7. <https://doi.org/10.1016/j.remmie.2022.01.002>.
36. Woods RW, Camp MS, Durr NJ, Harvey SC. A review of options for localization of axillary lymph nodes in the treatment of invasive breast cancer. *Acad Radiol.* 2019;26:805–19. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.07.002>.
37. García-Moreno JL, Benjumeda-Gonzalez AM, Amerigo-Góngora M, Landra-Dulanto PJ, Gonzalez-Corena Y, Gomez-Mencher J. Targeted axillary dissection in breast cancer by marking lymph node metastasis with a magnetic seed before starting neoadjuvant treatment. *J Surg Case Rep.* 2019;2019:rjz344. <https://doi.org/10.1093/jscr/rjz344>.
38. Greenwood HI, Wong JM, Mukhtar RA, Alvarado MD, Price ER. Feasibility of magnetic seeds for preoperative localization of axillary lymph nodes in breast cancer treatment. *AJR Am J Roentgenol.* 2019;213:953–7. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21378>.
39. Mariscal Martínez A, Vives Roselló I, Salazar Gómez A, Catanese A, Pérez Molina M, Solà Suarez M, et al. Advantages of preoperative localization and surgical resection of metastatic axillary lymph nodes using magnetic seeds after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. *Surg Oncol.* 2021;36:28–33. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2020.11.013>.
40. Simons JM, Scoggins ME, Kuerer HM, Krishnamurthy S, Yang WT, Sahin AA, et al. Prospective registry trial assessing the use of magnetic seeds to locate clipped nodes after neoadjuvant chemotherapy for breast cancer patients. *Ann Surg Oncol.* 2021;28:4277–83. <https://doi.org/10.1245/s10434-020-09542-y>.
41. Reitsamer R, Peintinger F, Forsthuber E, Sir A. The applicability of Magseed® for targeted axillary dissection in breast cancer patients treated with neoadjuvant chemotherapy. *Breast.* 2021;57:113–7. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2021.03.008>.
42. Hersi AF, Eriksson S, Ramos J, Abdsaleh S, Wärnberg F, Karakatsanis A. A combined, totally magnetic technique with a magnetic marker for non-palpable tumour localization and superparamagnetic iron oxide nanoparticles for sentinel lymph node detection in breast cancer surgery. *Eur J Surg Oncol.* 2019;45:544–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejso.2018.10.064>.
43. Pohlodek K, Sečanský P, Haluzová I, Mečiarová I. Localization of impalpable breast lesions and detection of sentinel lymph nodes through magnetic methods. *Eur J Radiol.* 2019;120, 108699. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.108699>.