

RM de mama: Estado actual, nuevas indicaciones e inteligencia artificial

Cecilia Santos Montón¹, Susana Gallego García¹, Enrique Díaz Gordo², María Pilar Cerdá Riche¹,
Ignacio Martín García¹, Paula Oleaga Gómez¹, Valentina Constanza Lenz Ruiz¹, Karina Elisabeth Pillajo Cevallos¹.

¹Complejo Asistencial de Zamora, Zamora; ²Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa, Zaragoza.

Objetivo docente

- Analizar el rol de la RM de mama en la práctica clínica actual y destacar las principales indicaciones.
 - Explorar la implementación de protocolos abreviados.
 - Evaluar el impacto creciente de la inteligencia artificial en su aplicación.
-

Principales indicaciones RM mama

- Estadiaje cáncer mama conocido.
 - Screening cáncer mama en mujeres de alto riesgo.
 - Evaluación de respuesta a quimioterapia neoadyuvante.
 - Otras:
 - Cáncer de origen desconocido.
 - Hallazgos inciertos en otras técnicas.
 - Mujeres con prótesis mamarias [1-4].
-

Estadíaje cáncer mama con RM

- Tema controvertido
 - Detección de más enfermedad no mejora resultados
 - Factores de riesgo
 - Cáncer invasivo lobulillar
 - Mujeres jóvenes
 - Mujeres con cáncer de intervalo
 - Mujeres con cáncer HR negativo
 - Mamas densas [2,3]
-

Estadíaje cáncer mama con RM

Precisión y detección de cáncer adicional

- La RM es más precisa que la mamografía y ecografía para estimar la extensión tumoral y detectar cáncer oculto en ambas mamas. Identifica lesiones adicionales en aproximadamente 20% de pacientes, aunque con una tasa relevante de falsos positivos que requieren biopsia.

Impacto en resultados quirúrgicos

- Puede reducir reintervenciones en algunos estudios, pero los resultados son inconsistentes. También se ha asociado a mayores tasas de mastectomía por detección de lesiones adicionales.

Recurrencia y supervivencia

- La evidencia actual no demuestra una reducción clara de recurrencia ni mejora de la supervivencia [2,3].
-

Técnica

- Posición decúbito prono
- RM de al menos 1,5 T
- Antena específica
- Uso de gadolinio
- Preferible entre día 5º y 12º de ciclo en mujeres fértiles [3,4]

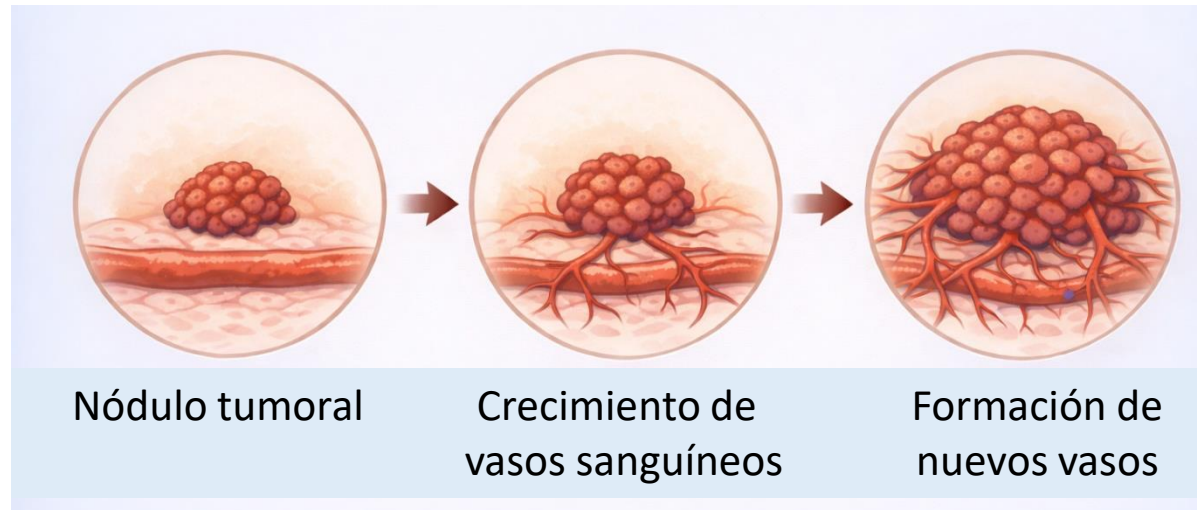


Secuencia 3D T1 en RM de mama

- Con o sin saturación grasa, antes y después de gadolinio (0,1 mmol/kg, 2 ml/s + bolo 20 ml).
 - 5–7 adquisiciones volumétricas post-contraste, cada 60–90 s.
 - Plano axial, grosor $\leq 2,5$ mm, FOV 300 mm, matriz $\geq 300 \times 300$ mm.
 - Técnicas de posprocesamiento: sustracción, proyección de máxima intensidad, curvas tiempo-intensidad [4].
-

FUNDAMENTO DE RM PARA DETECCIÓN DE CÁNCER

- Evaluar la permeabilidad de los vasos sanguíneos usando gadolinio que acorta el tiempo relajación de T1 llevando a un aumento de señal en secuencias en T1.
- El principio en el que se basa es la **neoangiogénesis** que lleva a la formación de nuevos vasos permeables que permiten una extravasación más rápida de contraste llevando a un realce local rápido [1].



Evaluación curva realce-tiempo



BI-RADS y descriptores suplementarios para la evaluación de lesiones en RM de mama [3].

Secuencia y descripción	Descriptor	Términos
T1 basal		
Composición mamaria	Tejido fibroglandular	Casi totalmente grasa, áreas parcheadas, heterogéneo, denso
T1 postcontraste		
Realce de fondo	Realce parenquimatoso de fondo	Mínimo, leve, moderado, marcado
Lesión	Tipo de lesión	Foco, masa, no masa
Masa		
	Forma	Redondeada, ovalada, irregular
	Margen	Circunscrito, irregular, espiculado
	Patrón de realce interno	Homogéneo, heterogéneo, realce en anillo, septos internos hipointensos
Realce no masa	Distribución	Focal, lineal, segmentario, regional, múltiples regiones, difuso
	Patrón de realce interno	Homogéneo, heterogéneo, empedrado, anular agrupado
T1 dinámico		
Intensidad de señal en el tiempo	Realce inicial (primeros 90s)	Lento, <50%; medio, 50–100%; rápido, ≥100%
	Realce tardío (realce relativo comparado con el pico)	Persistente, >10% de aumento; meseta, –10% a +10%; lavado, >10% de disminución
Ultrafast		
Curva inicial	Tiempo hasta el realce (s)	Temprano, <10; intermedio, 10–15; tardío, >15
	Pendiente máxima (%/s)	Lenta, <6,4; intermedia, 6,4–13,3; rápida, >13,3
T2		
Intensidad de señal de lesión	Intensidad de señal	Alta, intermedia, baja
Edema	Presencia	Ausente, perifocal, prepectoral, unilateral difuso, bilateral difuso
DWI		
Grado difusión de lesión	ADC (mm²/s)	Muy bajo, <0,9; bajo, 0,9–1,3; intermedio, 1,3–1,7; alto, 1,7–2,1; muy alto, >2,1

Léxico RM mama ACR BI-RADS v2025

BREAST TISSUE		
A. Amount of fibroglandular tissue (FGT)		
A. Almost entirely fatty		
B. Scattered fibroglandular tissue		
C. Heterogeneous fibroglandular tissue		
D. Extreme fibroglandular tissue		
B. Background parenchymal enhancement (BPE): Primarily assessed on the first post-contrast image; subtraction and MIP imaging may give additional information		
1. Level <i>(select one)</i>	a. Minimal	Includes no enhancement
	b. Mild	
	c. Moderate	
	d. Marked	
2. Symmetry	a. Symmetric	
	b. Asymmetric	

Léxico RM mama ACR BI-RADS v2025

FINDINGS		
C. Masses: 3-dimensional space-occupying lesions		
1. Shape <i>(select one)</i>	a. Oval	Elliptical or egg-shaped
	b. Lobulated	One or more indentations resulting in an undulating contour
	c. Round	Spherical, ball-shaped, similar in diameter in all three axes
	d. Irregular	Neither oval, lobulated nor round, with acute angle protruding portions
2. Margin <i>(select one)</i>	a. Circumscribed	Entire margin is sharply demarcated with abrupt transition between the finding and surrounding tissue
	b. Non-circumscribed	
	i. Indistinct	Uneven edges (but not spiculated)
	ii. Spiculated	Characterized by lines radiating from the mass
3. Internal enhancement pattern <i>(select one)</i>	a. Homogeneous	Confluent uniform enhancement
	b. Dark internal septations	Dark non-enhancing lines within a mass
	c. Heterogeneous	Varied, non-uniform enhancement signal intensity
	d. Thick rim enhancement	Thick enhancement at the periphery of mass
4. T2 signal intensity	a. Hyperintense	Mass is uniformly bright; "lymph node bright"
	b. Not hyperintense	Not uniformly bright or "lymph node bright"

D. Non-mass enhancement (NME): A unique area of enhancement that is not a mass and is distinct from BPE

1. Distribution <i>(select one)</i>	a. Diffuse	Enhancement distributed randomly through a large portion of the breast
	b. Regional	Enhancement in a large volume of tissue (typically more than one quadrant) but not diffuse and does not follow a segmental or linear distribution
	c. Focal	Localized and occupies less than one quadrant and does not follow a segmental or linear distribution
	d. Linear	Enhancement arrayed in a line or a line that branches (not necessarily a straight line)
	e. Segmental	Triangular or cone shaped region of enhancement, apex pointing to nipple, suggesting a duct or its branches
2. Internal enhancement pattern <i>(select one)</i>	a. Homogeneous	Confluent uniform enhancement
	b. Heterogeneous	Non-uniform enhancement in a random pattern, separated by normal tissue or fat
	c. Clumped	Enhancement of varying shapes and sizes with cobblestone or beaded enhancement, with occasional confluent areas
	d. Clustered ring	Rings of enhancement around ducts

E. Enhancement kinetics: Description of enhancement characteristics during injection of contrast medium

1. Early phase	Enhancement-related signal intensity within the first 60-120 seconds after contrast injection	
	a. Slow	< 50% increase in signal intensity
	b. Medium	50-100% increase in signal intensity
	c. Fast	> 100% increase in signal intensity
2. Delayed phase	Enhancement-related signal intensity after the first 60-120 seconds after contrast injection or when the curve begins to change	
	a. Persistent	Signal intensity increases > 10% compared to early phase
	b. Plateau	Signal intensity increases or decreases ≤ 10% compared to early phase
	c. Washout	Signal intensity decreases > 10% compared to early phase

Léxico RM mama ACR BI-RADS v2025

38 CONGRESO NACIONAL

seram  

F. Lymph nodes		
1. Intramammary	a. Normal	Circumscribed, reniform, T2 hyperintense, homogeneously enhancing
	b. Abnormal	Subjectively enlarged, possibly non-circumscribed margin
2. Axillary	a. Normal	Circumscribed, reniform, homogeneously enhancing and typically T2 hyperintense
	b. Abnormal	Subjectively asymmetric in cortical thickness compared to other ipsilateral or contralateral axillary lymph nodes, lack of fatty hilum in larger lymph nodes, or have significantly increased in size or cortical thickness compared to a prior exam
3. Internal mammary	a. Normal	May measure up to 9 –10 mm if morphologically normal in screening populations
	b. Abnormal	Subjectively asymmetric in size compared to other ipsilateral or contralateral internal mammary lymph nodes; suspicious if $\geq$ 5mm in size in patients with current breast cancer
G. Associated Features (select all that apply)		
1. Nipple retraction	Nipple is pulled in; do not confuse with nipple inversion	
2. Nipple involvement	Abnormal enhancement involving the nipple when the tumor involves/directly extends into the nipple	
3. Skin retraction	The skin is pulled in abnormally	
4. Skin thickening	May be focal or diffuse; defined as being greater than 2 mm in thickness	
5. Skin involvement	Abnormal enhancement within the skin, either when tumor directly invades or without direct extension (often due to inflammatory breast cancer) via the invasion of the dermal lymphatics	
6. Pectoralis muscle involvement	Abnormal enhancement involving the underlying pectoralis major and/or minor muscle(s)	
7. Chest wall involvement	Abnormal enhancement extending into the ribs or intercostal spaces (behind the pectoralis muscle)	
8. Peritumoral edema	Hyperintense T2 signal is present in the tissue surrounding a malignant or suspicious finding	

H. Other findings, typically benign

1. High T1 duct signal	Hyperintense signal is present in ducts on T1-weighted images before contrast administration
2. Cysts	Circumscribed, round or oval, fluid-filled mass with a thin wall. Usually hyperintense on T2 images but may also be hypointense on T2 images and hyperintense on T1 images when their contents are proteinaceous or hemorrhagic. A cyst may have thin peripheral peri-cystic enhancement of the adjacent parenchymal tissue
3. Postoperative fluid collections (hematoma/seroma)	Often T2 hyperintense and may also have bright signal on T1 weighted imaging due to blood or protein. A fat-fluid layer may be present. May demonstrate thin peripheral enhancement, a benign pattern
4. Post-therapy skin thickening and trabecular thickening	May be seen following surgery and/or radiation therapy
5. Non-enhancing mass	Solid masses that do not exhibit enhancement, distinguished from cysts as they do not contain fluid. Subtraction imaging may be useful in confirming absence of enhancement
6. Signal void	Absence of signal due to susceptibility artifact, typically from a metallic clip or other foreign body
7. Fat necrosis	Focal collections of fat can be present at sites of prior trauma including surgery
8. Hamartoma	A focal area of fat and fibroglandular tissue is contained within a pseudocapsule
9. Enhancing skin lesions	Enhancing lesions of the skin unrelated to a current or suspected breast cancer such as moles, keloids, skin-related cysts (epidermal inclusion or sebaceous) and areas of focal inflammation, all of which may normally enhance

I. Location of finding

1. Laterality	Describe right, left or bilateral
2. Location in breast	Describe clock face (preferred) in whole number, or quadrant or other anatomic location
3. Depth	Indicate depth (anterior, middle, posterior third)
4. Distance from nipple	From base of nipple to center of finding in whole cm; include centimeters from the skin, or chest wall as appropriate

J. Implants and other types of augmentation

1. Implant location	a. Prepectoral	The implant is located anterior to the pectoralis muscle
	b. Retropectoral	The implant is located deep to portions of the pectoralis major muscle
2. Material	a. Saline	Indicate intact vs ruptured status
	b. Silicone	Indicate intact vs ruptured status
	c. Other implant/augmentation material	Might include autologous (such as TRAM, DIEP and other tissue flaps) tissue, non-autologous tissue (such as fat) and direct injection of materials such as silicone, paraffin, soy oil, polypropylene and polyurethane

RM ABREVIADA $\neq$ RM ULTRAFAST

RM abreviada:

- Solo secuencias más relevantes.
- No es posible análisis cinético porque solo se hace una secuencia pre-contraste y otra post-contraste precoz.
- Se basa en el hecho de que el cáncer invasivo y el ductal in situ tienden a presentar realce precoz [5].

RM ultra-rápida:

- Aporta análisis cinético sin alargar los tiempos de adquisición.
 - Mantiene una alta resolución espacial y consigue disminuir los tiempos de adquisición [5].
-

Protocolo abreviado RM

- RM tradicional alto coste por tiempo de estudio y de interpretación.
- Indicación principal: Mujeres alto riesgo cáncer mama.
- Gran mayoría de cáncer invasivo realza en fase precoz postcontraste, aprox 60 segundos [6].

SECUENCIA	DURACIÓN (min)
Localizador	<1
Secuencia T1 con saturación grasa sin contraste	2
Secuencia dinámica T1 con saturación grasa tras contraste	2,5
Secuencia T2	4
Protocolo total	≈9

Comparison of Abbreviated Breast MRI vs Digital Breast Tomosynthesis for Breast Cancer Detection Among Women With Dense Breasts Undergoing Screening

Christopher E. Comstock, MD; Constantine Gatsonis, PhD; Gillian M. Newstead, MD; Bradley S. Snyder, MS; Ilana F. Gareen, PhD; Jennifer T. Bergin, MD; Habib Rahbar, MD; Janice S. Sung, MD; Christina Jacobs, MD; Jennifer A. Harvey, MD; Mary H. Nicholson, MD; Robert C. Ward, MD; Jacqueline Holt, MD; Andrew Prather, MD; Kathy D. Miller, MD; Mitchell D. Schnall, MD, PhD; Christiane K. Kuhl, MD, PhD

- 1444 mujeres de 40-75 años.
 - 48 centros en EEUU y Alemania.
 - RM menos de 10 minutos con una secuencia T2 y una secuencia T1 antes y tras administración de contraste.
 - RM detectó 17/17 ca invasivo y 5/6 ca in situ.
 - Mamografía detectó 7/17 ca invasivo y 2/6 ca in situ.
 - Tasa de detección significativamente más alta para cáncer invasivo.
 - Se necesitan más estudios para evaluar la relación entre métodos de screening y resultados clínicos [7].
-

Limitaciones RM mamaria abreviada y ultrarrápida

- **Coste:** La RM mamaria es más cara que la mamografía. El protocolo abreviado podría reducir costes al disminuir el tiempo de adquisición e interpretación.
 - **Accesibilidad:** Hay menos centros con RM mamaria y mayor dificultad para la población para acceder a ellos.
 - **Uso de gadolinio IV:** Pacientes alérgicos, insuficiencia renal o posible depósito de gadolinio en tejido neuronal (significado clínico aún incierto).
-

Inteligencia artificial

- **Machine Learning**

- RADIÓMICA: disciplina que utiliza la extracción automática y análisis cuantitativo de un gran número de características de las imágenes médicas.

- **Deep Learning**

- REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES: Modelo de IA que aprende a reconocer las características de la imagen por sí sola, generalmente basándose en un amplio número de imágenes previas.
 - MODELOS GENERATIVOS: Modelos capaces de generar o reconstruir imágenes nuevas a partir de los datos aprendidos [8].
-

APLICACIONES INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- Triage y detección de lesiones.
 - Clasificación de lesiones.
 - Caracterización del cáncer de mama: distinción entre subtipos moleculares.
 - Predicción de respuesta al tratamiento.
 - Predicción de riesgo de desarrollo cáncer/recidiva [8].
-

LIMITACIONES ACTUALES USO IA

- Falta de bases de datos públicas y bien anotadas.
 - Validación clínica: necesarios ensayos clínicos aleatorizados.
 - Falta de estandarización: diferencias entre centros.
 - Integración de la IA en el flujo de trabajo clínico: cómo integrarla a sistemas informáticos hospitalarios.
 - Privacidad y confidencialidad de los datos.
 - Responsabilidad legal [8].
-

Posibilidades futuras

PROTOCOLOS SIN CONTRASTE

- Surgen por la preocupación de uso de gadolinio y riesgo de fibrosis sistémica nefrogénica.
 - Protocolos con secuencias T2 y DWI +- STIR
 - Aún siguen teniendo menor sensibilidad, especificidad y precisión diagnóstica que el protocolo con contraste [4,9].
-

Posibilidades futuras

DIFUSIÓN:

- **Imagen por curtos de difusión:** refleja mejor la complejidad microestructural del tejido y puede calcular eficazmente la desviación respecto a la distribución gaussiana.
 - **Movimiento incoherente intravóxel (IVIM):**
 - Permite cuantificar la hipervascularidad tumoral.
 - Ayuda a detectar hiper celularidad en lesiones malignas.
 - Puede mejorar la diferenciación entre lesiones benignas y malignas.
 - No requiere contraste intravenoso [4,9].
-

Posibilidades futuras

RM CON TRANSFERENCIA DE SATURACIÓN POR INTERCAMBIO QUÍMICO (CEST):

- Permite evaluar características metabólicas del tejido tumoral detectando protones intercambiables que transfieren saturación a la señal del agua.
 - Combinada con adquisiciones GRE Dixon, permite obtener imágenes libres de grasa y corregir inhomogeneidades del campo magnético (B0).
 - El uso de agentes como loversol posibilita la medición del pH extracelular tumoral, proporcionando información sobre el microambiente tumoral independientemente de la concentración del contraste [9].
-

Posibilidades futuras

LA fMRI BASADA EN CONTRASTE BOLD

- Permite evaluar la hemodinámica y oxigenación del tejido mamario mediante cambios en la señal $T2^*$.
 - Su aplicación en mama es más compleja que en cerebro debido a la variabilidad tisular, el movimiento y los efectos de susceptibilidad magnética.
 - Las secuencias SSFSE y GRE $T2^*$ a 3T son suficientemente robustas, aunque requieren estandarización de la resolución espacial para reducir errores por inhomogeneidad del campo [4,9].
-

Posibilidades futuras

ESPECTROSCOPIA POR RESONANCIA MAGNÉTICA

Las técnicas avanzadas de MRS en mama permiten evaluar el metabolismo tumoral.

- La hiperpolarización con ^{13}C ofrece información metabólica dinámica, aunque limitada por la corta duración de la polarización.
 - La MRS de ^{31}P analiza el metabolismo energético y de membrana.
 - La espectroscopia de ^{23}Na evalúa la homeostasis iónica, actuando como posible biomarcador tumoral [4,9].
-

Posibilidades futuras

IMAGEN HÍBRIDA: PET/MRI

- Combina información metabólica (PET) y anatómica/funcional (RM).
 - Mejora la precisión diagnóstica y reduce biopsias innecesarias.
 - Aumenta la detección de metástasis ganglionares.
 - Potencial futuro con radiotrazadores específicos.
 - Uso actual limitado: reservado para enfermedad avanzada, no recomendado en estadios I–III.
 - Restricciones: disponibilidad y complejidad técnica [9].
-

Posibilidades futuras

RM de 7 T

- Mayor relación señal-ruido (SNR) y mejor resolución espacial y temporal.
 - Desafíos: inhomogeneidad del campo aún requiere mejoras.
 - Avances técnicos: bobina de 30 canales densamente distribuidos.
 - Beneficio potencial: aumentar la especificidad de la RM mamaria [9].
-

Conclusiones

- La RM de mama es la técnica más precisa para el estadiaje, la valoración de respuesta terapéutica y la detección de enfermedad adicional en pacientes con cáncer de mama.
 - Sus principales limitaciones son el coste, el uso del gadolinio, la accesibilidad y la tasa de falsos positivos.
 - Los nuevos protocolos como la RM abreviada y ultrarrápida buscan reducir tiempos y costes manteniendo la eficacia diagnóstica.
 - La inteligencia artificial promete mejorar la detección, caracterización y predicción de las lesiones, aunque aún enfrenta retos de validación e integración clínica.
 - El futuro incluye técnicas avanzadas (difusión, espectroscopia, imagen híbrida...), orientadas a una medicina más precisa y personalizada.
-

Referencias

1. Scaranelo AM. What's Hot in Breast MRI. Can Assoc Radiol J. 2022 Feb;73(1):125-140. doi: 10.1177/08465371211030944. Epub 2021 Aug 12. Erratum in: Can Assoc Radiol J. 2022 May;73(2):433.
 2. Christensen DM, Shehata MN, Javid SH, Rahbar H, Lam DL. Preoperative Breast MRI: Current Evidence and Patient Selection. J Breast Imaging. 2023 Mar 20;5(2):112-124.
 3. Mann RM, Cho N, Moy L. Breast MRI: State of the Art. Radiology. 2019 Sep;292(3):520-536. Orlando AAM, Clauser P, Zarcaro C, Ferraro F, Curatolo C, Marino MA, Bartolotta TV. MRI Insights in Breast Imaging. Curr Med Imaging. 2024;20:e15734056274670.
 4. Newell, MS, Destounis SV, Leung, JWT, DeMartini, WB, Lee, CH, Eby, PR. ACR BI-RADS® v2025 Manual. Reston, VA: American College of Radiology; 2025.
 5. Greenwood HI. Abbreviated protocol breast MRI: The past, present, and future. Clin Imaging. 2019 Jan-Feb;53:169-173.
 6. Grimm LJ, Mango VL, Harvey JA, Plecha DM, Conant EF. Implementation of Abbreviated Breast MRI for Screening: AJR Expert Panel Narrative Review. AJR Am J Roentgenol. 2022 Feb;218(2):202-212.
 7. Comstock CE, Gatsonis C, Newstead GM, Snyder BS, Gareen IF, Bergin JT, et al. Comparison of Abbreviated Breast MRI vs Digital Breast Tomosynthesis for Breast Cancer Detection Among Women With Dense Breasts Undergoing Screening. JAMA. 2020 Feb 25;323(8):746-756.
 8. Lo Gullo R, Brunekreef J, Marcus E, Han LK, Eskreis-Winkler S, Thakur SB, et al. AI Applications to Breast MRI: Today and Tomorrow. J Magn Reson Imaging. 2024 Dec;60(6):2290-2308.
 9. Bougias H, Stogiannos N. Breast MRI: Where are we currently standing? J Med Imaging Radiat Sci. 2022 Jun;53(2):203-211.
-