



REVISIÓN

Inteligencia artificial en el diagnóstico por imagen de patología mamaria



Marina Álvarez-Benito*, Esperanza Elías-Cabot y Sara Romero-Martín

Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC), Córdoba, España

Unidad de Mama, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, España

Facultad de Medicina, Universidad de Córdoba, Córdoba, España

Recibido el 10 de febrero de 2025; aceptado el 10 de marzo de 2025

Disponible en Internet el 21 de abril de 2025

PALABRAS CLAVE

Neoplasia de mama;
Inteligencia artificial;
Mamografía;
Cribado masivo

Resumen Los sistemas de inteligencia artificial están mostrando un gran desarrollo en el ámbito de la imagen médica. Destaca su papel en los programas poblacionales de cribado, donde estos sistemas pueden resolver muchos de los problemas detectados, como son la falta de sensibilidad y especificidad de la mamografía, la carga de trabajo que supone la lectura de un número importante de estudios o la introducción de la tomosíntesis.

La capacidad de los sistemas de IA para establecer el riesgo de cáncer de mama de forma ágil, sin duda supone un paso muy importante hacia un cribado personalizado que permitirá seleccionar la técnica y la frecuencia de la misma para cada paciente, o la administración de medidas y tratamientos preventivos en mujeres con alto riesgo.

El análisis mediante radiómica de los cánceres de mama, a partir de distintas modalidades y en combinación con otros datos clínico-patológicos, mejora la caracterización tumoral, así como la predicción del pronóstico y la respuesta a determinadas terapias.

© 2025 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SESPM.

KEYWORDS

Breast neoplasm;
Artificial intelligence;
Mammography;
Mass screening

Artificial intelligence in imaging diagnosis of breast pathology

Abstract Artificial Intelligence systems are showing great development in the field of medical imaging. Its role in population screening programs stands out, where these systems can solve many of the problems detected, such as the lack of sensitivity and specificity of mammography, the workload involved in reading a significant number of studies or the introduction of tomosynthesis.

The ability of AI systems to establish the risk of breast cancer in an agile way undoubtedly represents a very important step towards personalized screening that will allow the selection of technique and frequency for each patient, or the administration of preventive measures and treatments in women at high risk.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: maria.alvarez.benito.sspa@juntadeandalucia.es (M. Álvarez-Benito).

Radiomics analysis of breast cancers from different modalities and in combination with other clinical-pathological data improves tumor characterization, as well as the prediction of prognosis and response to certain therapies.

© 2025 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of SESPM.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) se está incorporando en todos los ámbitos de la medicina, demostrando su capacidad para optimizar procesos y flujos de trabajo, y mejorar los resultados en salud.

La imagen médica es un entorno muy favorable para la aplicación de estas tecnologías, dado que su formato digital y su inclusión en la historia clínica digital del paciente facilita contar con amplias series y bases de datos validadas para el desarrollo y entrenamiento de diferentes *softwares* de IA.

En concreto, la imagen mamaria es uno de los ámbitos en los que se ha producido un desarrollo más importante de *softwares* de IA, con publicaciones que incluyen un amplio número de pacientes en entornos reales y resultados muy prometedores, y que están permitiendo que estos sistemas se conviertan en una herramienta de trabajo indispensable en el día a día.

En el presente trabajo se presentan algunas de las aplicaciones de la IA en la imagen mamaria, como son su capacidad para mejorar el diagnóstico y flujos de trabajo; su papel en la predicción del riesgo de cáncer de mama; y la posibilidad de caracterizar tumores y predecir pronósticos y respuestas a tratamientos a través del análisis radiómico.

Mejora del diagnóstico y cribado de cáncer de mama

En los últimos años, hemos podido ver cómo diferentes sistemas de IA se desarrollan e incorporan como sistemas de ayuda a la lectura e interpretación de estudios de mamografía. A diferencia de los sistemas de ayuda al diagnóstico tradicionales (CAD), que demostraron poco impacto en la interpretación de mamografías, los nuevos sistemas de IA basados en tecnología *deep learning* sí están demostrando su aportación en este campo.

Algunos de estos sistemas han mostrado un rendimiento similar o superior al de un radiólogo cuando se utilizan de forma autónoma. Utilizados como apoyo a la lectura humana, estos sistemas mejoran el rendimiento de los radiólogos. Si bien se pueden utilizar en el ámbito diagnóstico, donde se están realizando los estudios más importantes de investigación con resultados muy prometedores es en el ámbito de los programas de cribado para cáncer de mama.

Los programas de cribado son un entorno propicio para el desarrollo, validación e implantación de diferentes *softwares* de IA, dado el alto volumen de mamografías que se realizan, así como por contar con archivos de imágenes y la monitorización de sus resultados.

Por otra parte, actualmente existen ciertos retos o aspectos por resolver en los programas de cribado, y la IA está demostrando su capacidad para responder a los mismos.

Si bien la mamografía es la única prueba aceptada para el cribado de cáncer de mama, sabemos que su sensibilidad no es perfecta, especialmente en mujeres con mamas densas, donde hasta un 30-40% de los cánceres de mama pueden pasar desapercibidos, manifestándose posteriormente como carcinomas de intervalo. Tampoco su especificidad es perfecta, y un porcentaje de mujeres debe realizarse pruebas complementarias después de una mamografía de cribado para confirmar o descartar un posible cáncer de mama. La mayoría de estas mujeres no tendrán un cáncer, y sabemos que estas derivaciones crean incertidumbre y pueden afectar de forma negativa su futura participación en el programa, además de los costes y la carga de trabajo que suponen para las unidades de referencia¹.

Por otra parte, y siguiendo las recomendaciones del grupo europeo para cáncer de mama, en los últimos años hemos podido ver cómo nuevas tecnologías, como la tomosíntesis, se incorporan al cribado. Sabemos la superioridad de esta modalidad frente a la mamografía 2D en cuanto a detección y rellamadas, pero también sabemos que la interpretación de los estudios de tomosíntesis supone un aumento en el tiempo de lectura que prácticamente dobla el tiempo de lectura de la mamografía 2D, y que exige entrenamiento de los radiólogos lectores además de otros requisitos de infraestructura. Así mismo, contamos con nuevas recomendaciones para aumentar la población diana a la que van dirigidos estos programas, orientadas a comenzar a los 45 años y abarcar hasta los 75 años. Todo ello está motivando un problema importante de recursos humanos para responder tanto a la carga de trabajo que suponen los programas de cribado como a la complejidad y nivel de cualificación que exigen los mismos: es necesario contar con suficientes radiólogos expertos en imagen mamaria y lectura de mamografía de cribado.

Los sistemas de IA podrían ser una solución a los problemas comentados.

Los nuevos sistemas de IA, no solo proporcionan marcas en lesiones sospechosas, sino que aportan un score para cada una de estas marcas en función de su probabilidad para malignidad, y un score global para el estudio. De este modo, es posible estratificar los estudios de un programa de cribado en función de su probabilidad para malignidad¹⁻³.

Esta capacidad de clasificación de las mamografías es muy interesante en un programa de cribado, donde más del 90% de los estudios van a ser normales, dado que nos va a permitir establecer diferentes estrategias de lectura en función de su probabilidad de malignidad, centrando los esfuerzos o llevando a cabo estrategias más intensivas en estudios de alta probabilidad para malignidad.

Varios estudios retrospectivos han demostrado que los sistemas de IA pueden tener un rendimiento similar al de los radiólogos cuando funcionan de forma autónoma¹⁻⁴.

También se ha demostrado en entornos simulados y en entornos reales de cribado cómo los radiólogos mejoran sus resultados en cuanto a detección y rellamadas cuando trabajan con el apoyo de herramientas de IA⁴⁻⁹.

Conan et al. demostraron, en un estudio retrospectivo, incluyendo a radiólogos expertos en imagen mamaria, cómo la lectura de estudios de tomosíntesis con el soporte de un sistema de IA presenta mejores resultados en detección y derivaciones, además de disminuir el tiempo de lectura⁶. Resultados similares fueron obtenidos por Winkel et al.⁸.

Pero, sin duda, los objetivos y esfuerzos en los estudios realizados se centran en demostrar cómo estos sistemas pueden disminuir la carga de trabajo que suponen estos programas, gracias a su capacidad para identificar con precisión un alto porcentaje de estudios con alta probabilidad de normalidad, en los cuales podría realizarse una lectura única o incluso evitarse la lectura humana, sin afectar de forma negativa, e incluso mejorando, los resultados de un programa de cribado¹⁰⁻¹⁶.

En un estudio retrospectivo llevado a cabo por nuestro grupo, a partir de 15.987 mujeres estudiadas tanto con DM como con DBT, se demostró que una estrategia basada en la utilización de DBT con IA se acompañaba de una disminución en la carga de trabajo del 72,5% y una disminución del 16,7% en las rellamadas, sin afectar de forma negativa la detección, en relación con la estrategia estándar de doble lectura de DBT. Las estrategias de IA con DM presentaron resultados similares. En este trabajo podemos ver también, cómo la estrategia de DBT con IA presentaba una disminución en la carga de trabajo del 25%, un aumento de la sensibilidad del 27% y una reducción del 29% en las rellamadas, en comparación con la estrategia estándar de doble lectura de DM, concluyendo, por tanto, que las estrategias basadas en la utilización de IA pueden ser una solución que faciliten la implantación de la DBT en los programas de cribado¹⁰.

Resultados similares utilizando estrategias basadas en IA con DBT han sido obtenidos por otros autores¹⁷⁻¹⁹. En esta línea, Dahlblom et al. analizaron de forma retrospectiva varias estrategias de DBT con IA, comprobando que reemplazar la segunda lectura humana por un sistema de IA se acompañaba de una reducción del 50% en la carga de trabajo y conseguía detectar el 95% de los cánceres identificados por la doble lectura humana de DBT. A su vez, esta estrategia de IA con DBT lograba aumentar un 27% la detección de cánceres con respecto a la doble lectura de DM¹⁹.

La capacidad de estratificar los estudios puede utilizarse también para llevar a cabo un cribado más intensivo o con pruebas funcionales en mujeres con estudios identificados por el sistema de IA como de alta probabilidad de cáncer (con score muy elevado). Dembrower, en una simulación retrospectiva en el programa de cribado de Estocolmo, demostró cómo realizar resonancia magnética al 1% de estudios identificados como más sospechosos por un sistema de IA podría haber detectado el 12% de los cánceres de intervalo y el 14% de los cánceres detectados en la siguiente vuelta. Estas cifras podrían elevarse al 25 y 35%, respectivamente, si la resonancia se realizase al 5% de los estudios más sospechosos²⁰.

Si bien los resultados de los estudios retrospectivos han sido muy prometedores, es necesario contar con estudios

prospectivos para valorar el impacto real de estos sistemas de IA en la toma de decisiones del radiólogo.

MASAI fue el primer ensayo controlado y aleatorizado que publicó resultados sobre la utilización de un sistema de IA en un programa poblacional de cribado de cáncer de mama. Si bien el objetivo principal de este ensayo era demostrar el impacto de una estrategia de lectura basada en IA en la tasa de carcinoma de intervalo, en el trabajo publicado en *The Lancet Oncology* en 2023 presenta los resultados de un análisis de seguridad con más de 80.000 mujeres incluidas, comparando los resultados de una estrategia basada en IA con la estrategia estándar del programa, que consistía en una doble lectura independiente de DM con consenso. La estrategia basada en IA conllevaría un *triage* previo de los estudios por el sistema de IA, lo cual permitía la realización de lectura simple en los casos de bajo riesgo (scores 1-9) y doble lectura en los casos de alto riesgo (score 10). En todos los casos, los radiólogos tenían disponible la información aportada por el sistema de IA. La estrategia basada en IA presentó un aumento en la tasa de detección (6,1 frente a 5,1 por cada 1.000), una tasa de FP similar, y una reducción en la carga de trabajo del 44% con respecto a la estrategia estándar²¹.

También en 2023 se publican los resultados de ScreenTrustCAD, un estudio prospectivo y pareado, de no inferioridad, realizado en el Capio Hospital Sankt Görans en Estocolmo, Suecia. Este estudio incluye a 55.581 mujeres con edad comprendida entre 40 y 74 años, que participan de forma consecutiva en el programa de cribado y que se estudian mediante MD. Este ensayo demuestra que una estrategia de lectura basada en IA, en la cual un radiólogo es sustituido por un sistema de IA, presenta una tasa de detección no inferior que la obtenida mediante la estrategia estándar (0,5% vs. 0,4%), con una disminución de un 50% en la carga de trabajo con respecto a la estrategia estándar de doble lectura. Incluso, la lectura única por un sistema de IA demostró una tasa de detección no inferior a la estrategia estándar (0,4% en ambas), acompañándose esta última de una reducción del 100% de la carga de trabajo²².

Un aspecto a destacar es que ambos ensayos presentan resultados muy similares, trabajando con equipos de mamografía de diferentes casas comerciales y distintos sistemas de IA, lo que pone de manifiesto la capacidad de estos sistemas de mejorar los resultados y flujos de trabajo en un programa de cribado, y su posible extensión, si bien los autores de ambos coinciden en destacar que los resultados han sido obtenidos en un entorno de radiólogos expertos en imagen mamaria y en cribado, y que han recibido previamente entrenamiento en lectura con sistemas de IA^{21,22}.

Probablemente estos resultados tan positivos serán de utilidad para orientar futuros ensayos. Será interesante contar con resultados de estudios prospectivos basados en la utilización de sistemas de IA en programas de cribado que trabajen con tomosíntesis, lo cual facilitará la elección de la estrategia de lectura más adecuada en cada caso.

Valoración del riesgo para cáncer de mama

En los últimos años existe un gran interés por predecir el riesgo de una mujer para cáncer de mama en los siguientes

años, dado que ello permitiría elegir la estrategia de prevención más adecuada en cada caso, desde la modalidad a utilizar, la frecuencia de los estudios o, incluso, la aplicación de determinadas terapias preventivas.

Con independencia de la utilización de determinados *test* para la evaluación del riesgo basados en factores genéticos, antecedentes personales y familiares para cáncer de mama, factores hormonales o estudios poligénicos, la densidad mamaria se incluye como un factor más a tener en cuenta para la estimación del riesgo para cáncer de mama^{23,24}.

La densidad mamaria está basada en el patrón y la distribución del tejido fibroglandular de la mama, estableciendo el sistema BI-RADS del Colegio Americano de Radiología 4 categorías para su evaluación. No obstante, la valoración subjetiva de la densidad presenta grandes limitaciones dada la variabilidad inter- e intraobservador. Para resolver y estandarizar esta valoración del modelo o patrón mamográfico, se han desarrollado determinados sistemas de cuantificación automática de la densidad mamaria. Aun así, la utilización de la densidad mamaria como forma de aproximación a la información contenida en una mamografía es muy limitada, dado que sintetiza esta información en un valor único.

La investigación con IA ha identificado nuevas características mamográficas que podrían explicar en gran medida la asociación a corto plazo entre la densidad mamaria y el riesgo de cáncer de mama. Determinados sistemas de IA basados en tecnología DL y especialmente diseñados para este fin, tendrían capacidad para detectar hallazgos sutiles en las mamografías, no visibles al ojo humano o simples mediciones de densidad y se podrían utilizar para conseguir modelos de estimación del riesgo para cáncer de mama mejorados²⁵.

Yala et al. analizaron varios modelos basados en tecnología DL para la valoración del riesgo de cáncer de mama en los siguientes 5 años: un modelo de regresión logística basado en factores de riesgo tradicionales, un modelo basado en el análisis exclusivo de la información contenida en la mamografía y un sistema híbrido, y compararon sus resultados con los obtenidos mediante el modelo Tyrer-Cuzick. El modelo híbrido fue el que obtuvo mayor área bajo la curva (0,7), si bien todos los modelos basados en tecnología DL mostraron mayor área bajo la curva que el modelo Tyrer-Cuzick (0,62)²⁶.

En esta línea, Dembrower et al. diseñaron un ensayo clínico aleatorizado (screenTrustMRI), utilizando un sistema de IA que establecía el riesgo para cáncer de mama en los siguientes años, y ofreciendo a las mujeres con mamografía normal y score elevado para cáncer de mama realizar una resonancia mamaria complementaria. Con este método se consiguió una tasa de detección de cánceres de 64,4/1.000, muy superior a la tasa de detección encontrada en el DENSE TRIAL (16,5/1.000), donde la selección de mujeres para la realización de resonancia complementaria se realizó a partir de un sistema de valoración automática de la densidad^{27,28}.

Estos sistemas son una alternativa a los sistemas tradicionales de valoración del riesgo (Claus, BRCAPRO, BOADICEA, Gail, Tyrer-Cuzick, etc.), y suponen un gran paso en la medicina personalizada, facilitando estrategias de prevención y manejo clínico individualizadas.

Orientación en el pronóstico y planificación del tratamiento en el cáncer de mama

El análisis de la imagen a partir de determinados desarrollos computacionales permite avanzar y dar un paso más en la información que puede obtenerse de la imagen médica.

La radiómica permite un análisis cuantitativo de una o varias modalidades de imagen resaltando rasgos o hallazgos que no son visibles al ojo humano y que mejoran la capacidad discriminatoria y predictiva de la imagen médica. En radiómica, una sola imagen se emplea para generar varias imágenes adicionales, cada una de las cuales puede capturar un aspecto específico, también denominado «característica radiómica». En oncología, la radiómica incluye la extracción de datos relativos al tamaño tumoral, la textura, la forma o la intensidad, permitiendo la caracterización tumoral o lo que se denomina «firma radiómica del tumor»^{29,30}.

La información obtenida es una información cuantitativa que puede analizarse de forma combinada con otros datos clínicos o patológicos, facilitando modelos predictivos.

Son muchas las aplicaciones que la radiómica puede tener en el cáncer de mama: diferenciar lesiones benignas de malignas, predecir el tipo histopatológico o grado tumoral, o predecir la posibilidad de recurrencia o de respuesta a un tratamiento determinado.

Determinados estudios de radiómica a partir de imágenes de resonancia o tomosíntesis han demostrado la capacidad de diferenciar entre lesiones benignas o malignas o entre diferentes tipos histopatológicos de cáncer de mama^{29,30}.

Zhenwei et al. realizaron un estudio valorando la heterogeneidad tumoral en imágenes de resonancia pretratamiento de 355 mujeres que habían recibido tratamiento sistémico neoadyuvante, demostrando que el análisis de estos datos en combinación con datos clínicos y patológicos permitía predecir con precisión la respuesta al tratamiento³¹.

Dos estudios han demostrado cómo el análisis del tumor a partir de la radiómica permite predecir el estado de los ganglios linfáticos axilares. En este sentido, Dong et al. encontraron una alta correlación entre los datos extraídos a partir de secuencias de difusión en resonancia con la existencia de metástasis en el ganglio centinela^{32,33}.

Por tanto, la radiómica supone un paso más en la medicina personalizada.

Otras aplicaciones

Si bien en el presente trabajo se han expuesto las principales aplicaciones de la IA en la imagen mamaria, son múltiples los desarrollos basados en IA que en el día a día se están incorporando en la práctica clínica, permitiendo mejorar muchos aspectos de la misma.

Podríamos citar herramientas que permiten reducir la dosis de radiación empleada en los estudios, que mejoran la calidad de imagen, que agilizan la obtención de la misma, que facilitan el procesado y la visualización, entre otras.

Ya se han desarrollado algunas herramientas que permiten el control de la calidad técnica de los estudios, aportando un control en tiempo real y un *feedback* a los profesionales.

Sin duda con un futuro por delante en el que el desarrollo de estos sistemas cambiará la práctica clínica.

Conclusiones

La aplicación de la IA a la imagen mamaria está demostrando gran utilidad en la mejora del diagnóstico, optimización de flujos de trabajo, introducción de nuevas tecnologías en el cribado, la predicción del riesgo para cáncer de mama o la posibilidad de predecir el comportamiento de un tumor determinado.

La validación clínica de estas herramientas a través de estudios prospectivos en entornos reales permitirá establecer su papel en la práctica clínica.

Financiación

Los autores declaran que no se ha recibido financiación para la elaboración de este manuscrito

Conflicto de intereses

Sara Romero-Martín es Editora de la Revista de Senología y Patología Mamaria, los demás autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Bibliografía

1. Romero-Martín S, Elías-Cabot E, Raya-Povedano JL, Gubern-Mérida A, Rodríguez-Ruiz A, Álvarez-Benito M. Stand-alone use of artificial intelligence for digital mammography and digital breast tomosynthesis screening: a retrospective evaluation. *Radiology*. 2022;302:535–42. <https://doi.org/10.1148/radiol.211590>.
2. Mattie Salim MD, Wählén E, Dembrower K, Azavedo E, Foukakis T, Liu Y, et al. External evaluation of 3 commercial artificial intelligence algorithms for independent assessment of screening mammograms. *JAMA Oncol*. 2020;6(10):1581–8. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2020.3321>.
3. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, Broeders M, Gennaro G, Clauser P, et al. Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: comparison with 101 radiologists. *JNCI J Natl Cancer Inst*. 2019;111(9):djy222. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy222>.
4. Kim H-E, Kim HH, Han BK, Kim KH, Han K, Nam H, et al. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study. *Lancet Digital Health*. 2020;2:e138–48. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30003-0](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30003-0).
5. Elías-Cabot E, Romero-Martín S, Raya-Povedano JL, Brehl A-K, Álvarez-Benito M. Impact of real-life use of artificial intelligence as support for human reading in a population-based breast cancer screening program with mammography and tomosynthesis. *Eur Radiol*. 2024;34(6):3958–66. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10426-4>.
6. Conant EF, Toledo AY, Periaswamy S, Fotin SV, Go J, Boatman JE, et al. Improving accuracy and efficiency with concurrent use of artificial intelligence for digital breast tomosynthesis. *Radiology*. 2019;1(4):e180096. <https://doi.org/10.1148/ryai.2019180096>.
7. Paciè S, Lopez J, Chone P, Bertinotti T, Grouin JM, Fillard P. Improving breast cancer detection accuracy of mammography with the concurrent use of an artificial intelligence tool. *Radiology*. 2020;2(6):e190208. <https://doi.org/10.1148/ryai.2020190208>.
8. van Winkel SL, Rodríguez-Ruiz A, Appelman L, Gubern-Mérida A, Karssemeijer N, Teuwen J, et al. Impact of artificial intelligence support on accuracy and reading time in breast tomosynthesis image interpretation: a multi-reader multi-case study. *Eur Radiol*. 2021;31(11):8682–91. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07992-w>.
9. Ng AY, Oberije CJG, Ambrózay É, Szabó E, Serfőző O, Karpati E, et al. Prospective implementation of AI-assisted screen reading to improve early detection of breast cancer. *Nat Med*. 2024;29:3044–9. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02625-9>.
10. Raya-Povedano JL, Romero-Martín S, Elías-Cabot E, Gubern-Mérida A, Rodríguez-Ruiz A, Álvarez-Benito M. AI-based strategies to reduce workload in breast cancer screening with mammography and tomosynthesis: a retrospective evaluation. *Radiology*. 2021;300(1):57–65. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021203555>.
11. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, Teuwen J, Broeders M, Gennaro G, et al. Can we reduce the workload of mammographic screening by automatic identification of normal exams with artificial intelligence? A feasibility study. *Eur Radiol*. 2019;29:4825–32. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06186-9>.
12. Lång K, Dustler M, Dahlblom V, Åkesson A, Andersson I, Zackrisson S. Identifying normal mammograms in a large screening population using artificial intelligence. *Eur Radiol*. 2021;31(3):1687–92. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07165-1>.
13. Yala A, Schuster T, Miles R, Barzilay R, Lehman CA. A deep learning model to triage screening mammograms: a simulation study. *Radiology*. 2019;293:38–46. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182908>.
14. Lauritzen AD, Rodríguez-Ruiz A, von Euler-Chelpin MC, Lynge E, Vejborg I, Nielsen M, et al. An artificial intelligence-based mammography screening protocol for breast cancer: outcome and radiologist workload. *Radiology*. 2022;304:41–9. <https://doi.org/10.1148/radiol.210948>.
15. Lauritzen AD, Lillholm M, Lynge E, Nielsen M, Karssemeijer N, Vejborg I. Early indicators of the impact of using AI in mammography screening for breast cancer. *Radiology*. 2024;311(3):1–9. <https://doi.org/10.1148/radiol.232479>.
16. Larsen M, Aglen CF, Hoff SR, Lund-Hanssen H, Hofvind S. Possible strategies for use of artificial intelligence in screen-reading of mammograms, based on retrospective data from 122,969 screening examinations. *Eur Radiol*. 2022;32:8238–46. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08909-x>.
17. Shoshan Y, Bakalo R, Gilboa-Solomon F, Ratner V, Barkan E, Ozery-Flato M, et al. Artificial intelligence for reducing workload in breast cancer screening with digital breast tomosynthesis. *Radiology*. 2022;303:69–77. <https://doi.org/10.1148/radiol.211105>.
18. Goldberg JE, Reig B, Lewin AA, Gao Y, Heacock L, Heller SL, et al. New horizons: artificial intelligence for digital breast tomosynthesis. *Radiographics*. 2023;43(1):1–13. <https://doi.org/10.1148/rg.220060>.
19. Dahlblom V, Dustler M, Tingberg A, Zackrisson S. Breast cancer screening with digital breast tomosynthesis: comparison of different reading strategies implementing artificial intelligence. *Eur Radiol*. 2023;33:3754–65. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09316-y>.
20. Dembrower K, Wahlin E, Liu Y, Salim M, Smith K, Lindholm P, et al. Effect of artificial intelligence-based triaging of breast cancer screening mammograms on cancer detection and radiologist workload: a retrospective simulation study. *Lancet Digit Health*. 2020;2(9):e468–74.
21. Lång K, Josefsson V, Larsson A-M, Larsson S, Höglberg C, Sartor H, et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the mammography screening with artificial intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a

- randomised, controlled, non-inferiority, single blinded, screening accuracy study. *Lancet Oncol.* 2023;24:936–44.
22. Dembrower K, Crippa A, Colón E, Eklund M, Strand F, the ScreenTrustCAD Trial Consortium. Artificial intelligence for breast cancer detection in screening mammography in Sweden: a prospective, population-based, paired-reader, non-inferiority study. *Lancet Digit Health.* 2023;5(10):e703–11. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(23\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(23)00153-X).
 23. Pal Choudhury P, Brook MN, Hurson AN, Lee A, Mulder CV, Coulson P, et al. Comparative validation of the BOADICEA and Tyrer-Cuzick breast cancer risk models incorporating classical risk factors and polygenic risk in a population-based prospective cohort of women of European ancestry. *Breast Cancer Res.* 2021;23(1):22. <https://doi.org/10.1186/s13058-021-01399-7>.
 24. Ming C, Viassolo V, Probst-Hensch N, Chappuis PO, Dinov ID, Katapodi MC. Machine learning techniques for personalized breast cancer risk prediction: comparison with the BCRAT and BOADICEA models. *Breast Cancer Res.* 2019;21:75. <https://doi.org/10.1186/s13058-019-1158-4>.
 25. Ingman WV, Britt KL, Stone J, Nguyen TL, Hopper JL, Thompson EW. Artificial intelligence improves mammography-based breast cancer risk prediction. *Trends Cancer.* 2024;11(3):188–91.
 26. Yala A, Lehman C, Schuster T, Portnoi T, Barzilay R. A deep learning mammography-based model for improved breast cancer risk prediction. *Radiology.* 2019;292:60–6. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182716>.
 27. Salim M, Liu Y, Sorkhei M, Ntoula D, Foukakis T, Fredriksson I, et al. AI-based selection of individuals for supplemental MRI in population-based breast cancer screening: the randomize ScreenTrustMRI trial. *Nat Med.* 2024;30(9):2623–30. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03093-5>.
 28. Bakker MF, de Lange SV, Pijnappel RM, Mann RM, Peeters PHM, Monninkhof EM, et al. Supplemental MRI screening for women with extremely dense breast tissue. *N Engl J Med.* 2019;381(22):2091–102.
 29. Conti A, Duggento A, Indovina I, Guerrisi M, Toschi N. Radiomics in breast cancer classification and prediction. *Semin Cancer Biol.* 2021;72:238–50. <https://doi.org/10.1016/j.semancer.2020.04.002>.
 30. Tagliafico AS, Piana M, Schenone D, Lai R, Massone AM, Houssami N. Overview of radiomics in breast cancer diagnosis and prognostication. *Breast.* 2020;49:74e80.
 31. Shi Z, Huang X, Cheng Z, Xu Z, Lin H, Liu C, et al. MRI-based quantification of intratumoral heterogeneity for predicting treatment response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. *Radiology.* 2023;308(1):e222830. <https://doi.org/10.1148/radiol.222830>.
 32. Dong Y, Feng Q, Yang W, Lu Z, Deng C, Zhang L, et al. Preoperative prediction of sentinel lymph node metastasis in breast cancer based on radiomics of T2 weighted fat-suppression and diffusion-weighted MRI. *Eur Radiol.* 2018;28:582e91. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5005-7>.
 33. Han L, Zhu Y, Liu Z, Yu T, He C, Jiang W, et al. Radiomic nomogram for prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer. *Eur Radiol.* 2019;29:3820e9. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5981-2>.