



HAL
open science

[French breast cancer screening: What's the place of artificial intelligence?].

Isabelle Thomassin-Naggara, Luc Ceugnart, Anne Tardivon, Laurent Verzaux,
Corinne Balleyguier, Patrice Taourel, Brigitte Séradour

► To cite this version:

Isabelle Thomassin-Naggara, Luc Ceugnart, Anne Tardivon, Laurent Verzaux, Corinne Balleyguier, et al.. [French breast cancer screening: What's the place of artificial intelligence?]. Bulletin du Cancer, 2022, 109 (7-8), pp.780-785. 10.1016/j.bulcan.2022.04.008 . hal-04471699

HAL Id: hal-04471699

<https://hal.science/hal-04471699>

Submitted on 21 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Intelligence artificielle : Place dans le dépistage du cancer du sein en France

Isabelle Thomassin-Naggara¹, Luc Ceugnart^{2,7}, Anne Tardivon^{2,3}, Laurent Verzaux^{2,4}, Corinne Balleyguier^{2,5}, Patrice Taourel^{2,6}, Brigitte Seradour⁷

1. AP-HP Sorbonne Université, Hopital Tenon, Service IRIS, 75020 Paris Paris, France
2. Société d'Imagerie de la Femme (SIFEM) 75014 Paris, France
3. Institut Curie, 1, rue Pierre-et-Marie-Curie, 75005 Paris, France
4. Service de radiologie clinique Les Ormeaux, Le Havre, France
5. Département d'imagerie, Gustave-Roussy, Villejuif, France
6. Université de Montpellier, Hopital Lapeyronie, Service d'imagerie médicale, Montpellier, France
7. Société Française de Sénologie Pathologie Mammaire (SFSPM), 67000 Strasbourg, France

Correspondance :

Isabelle Thomassin-Naggara: AP-HP Sorbonne Université, Hopital Tenon, Service IRIS, 75020 Paris, France.
isabelle.thomassin@aphp.fr

Mots clés

Sein
Cancer
Dépistage
Intelligence artificielle

Keywords

Breast
Cancer
Screening
Artificial intelligence

■ Résumé

Cet article fera le point sur les possibilités actuelles de l'intelligence artificielle, les différents types d'utilisation et leur performance dans la littérature (Standalone, Radiologue augmenté, outil de triage), ainsi que les perspectives d'utilisation dans le futur (personnalisation du dépistage, prédiction des cancers de l'intervalle)

■ Summary

French breast cancer screening: What's the place of artificial intelligence?

This paper deals with the place in 2021 of artificial intelligence for screening of breast cancer in France et discusses of the different types of use and their performance in the literature (Standalone, Augmented radiologist, triage). Moreover, this paper will give an overview of the potential applications of AI in the future (Personalized screening, prediction of interval cancers)

Introduction

En 2019, le Conseil National Professionnel de Radiologie présentait lors de JFR (Journées Francophones de Radiologie) de printemps l'état de l'art des solutions d'intelligence artificielle et

faisait un certain nombre de propositions pour une bonne intégration au sein de la campagne de dépistage du système français [1]. En deux ans, les publications sur le sujet se sont multipliées avec une dynamique exponentielle et un

élargissement de l'offre à la disposition des radiologues. Cependant, la plupart des solutions proposées ont fait l'objet d'une mise sur le marché avant même la diffusion d'études évaluant la solution en pratique clinique. Ainsi, il semble pertinent de faire le point sur les différentes possibilités offertes par l'intelligence artificielle aujourd'hui en se plaçant dans le contexte des problématiques posées par la campagne de dépistage français : les difficultés liées à la dématérialisation et la diminution de l'apport de la seconde lecture en rapport avec la diffusion de la tomosynthèse mammaire (entre 700 et 800 appareils aujourd'hui en France).

Plusieurs types d'utilisations de l'intelligence artificielle se déclinent aujourd'hui dans la pratique de la mammographie de dépistage. Tout d'abord, de nombreuses solutions d'intelligence artificielle ont été développées pour améliorer le ratio qualité image-dose d'irradiation. Ces solutions ont été développées par les différents constructeurs et permettent de réduire l'irradiation. Certaines de ces solutions portent sur le système de reconstruction primaire et sont centrées sur l'optimisation du rapport signal sur bruit, d'autres sur l'optimisation du positionnement des patientes (notamment en améliorant la compression mammaire, responsable à 75 % de la dose d'irradiation). Ces dernières ont aussi l'avantage d'améliorer le *Work-Flow* en créant une alerte de « Cliché Techniquement Insuffisant (CTI) » auprès du manipulateur, ce qui permet de refaire immédiatement le cliché au lieu d'attendre la demande du radiologue. Ces solutions ne font l'objet d'aucun débat et se placent dans un processus d'innovation technologique inhérent à toute technique d'imagerie.

L'essentiel des questionnements actuels porte sur la façon d'intégrer les solutions d'intelligence artificielle dédiées à l'interprétation de la mammographie et de la tomosynthèse mammaire. L'interprétation radiologique est une part significative du rôle du radiologue, dont les fonctions sont multiples (discussion de l'indication de l'examen, choix de l'examen pertinent, optimisation de l'image radiologique, échange avec les médecins correspondants, communication avec le patient). On peut schématiquement diviser en trois grands types d'utilisation des logiciels d'intelligence artificielle pour l'interprétation mammographique (*figure 1*) : l'approche « Standalone » où les études opposent et comparent la performance diagnostique d'un modèle d'intelligence artificielle à la lecture humaine, l'approche dite « Radiologue augmenté » où est étudiée la valeur ajoutée qu'apporte un système d'intelligence artificielle à la performance du lecteur humain et enfin l'utilisation des systèmes d'intelligence artificielle comme outil de triage pour sélectionner les mammographies normales et peu denses.

Enfin, de nombreux travaux portent sur la capacité de l'intelligence artificielle à aller au-delà des informations radiologiques appréhendables par l'humain et tentent de mieux définir le niveau de risque de chaque femme pour mieux adapter son suivi (type et rythme). Ainsi, de nombreux travaux sont menés

pour tester des modèles prédictifs basés sur des modèles de *deep learning* appliqués à la mammographie en comparaison avec les modèles conventionnels utilisés aujourd'hui.

L'intelligence artificielle pour détecter un cancer du sein en 2021

Modèle d'utilisation en « Standalone »

Après un enthousiasme classique devant toute nouvelle technologie, largement relayée par une communication grand public, une revue systématique récente portant sur douze études correspondant à 131 822 femmes dépistées a comparé la performance de 36 solutions d'intelligence artificielle en mammographie à celle du radiologue. Cette étude rapportait que 94 % des logiciels d'intelligence artificielle étaient moins pertinents qu'un radiologue [2]. Cette étude mettait en lumière également le faible niveau méthodologique (risque de biais, inquiétude portant sur l'applicabilité en routine clinique) de la plupart des études. On constate aujourd'hui une explosion du nombre de publications relatives à l'utilisation de l'intelligence artificielle pour le diagnostic de cancer du sein qui est décorrélié avec l'utilité qu'y trouve les radiologues dans leur quotidien [3]. L'expérience des *Computed Aided Diagnosis* (CAD) au début des années 2000 a montré à quel point il est fondamental de tester l'utilité de ces systèmes en routine clinique. Ceci explique le faible degré de confiance des radiologues dans les systèmes d'intelligence artificielle et c'est peu probable que ce soit le type d'utilisation envisagée dans le futur. Une étude récente a montré qu'une utilisation des systèmes d'intelligence artificielle en *standalone* permettait d'atteindre une sensibilité identique au radiologue pour la détection de cancer mais péchait par leur manque de spécificité et notamment lorsqu'ils étaient appliqués sur les coupes de tomosynthèse [4]. Le dépistage du cancer du sein repose aujourd'hui sur une approche multimodale et notamment sur la combinaison mammographie et échographie justement pour pallier le manque de spécificité. Vouloir remplacer le diagnostic actuel basé sur les couples mammographie et échographie par un modèle d'intelligence artificielle basé uniquement sur la mammographie ne peut pas fonctionner et c'est ce qu'a très bien démontré l'étude prospective multicentrique (INSPIRED003) [5] avec une performance de l'approche classique humaine multimodale (AUROC = 0,95) supérieure à celle d'un modèle d'intelligence artificielle *standalone* (AUROC 0,90). Les auteurs concluaient qu'une des pistes serait de construire des modèles d'intelligence artificielle multimodalités [5]. Trois autres pistes d'amélioration pourraient être envisagées : la prise en considération des antériorités et l'intégration de la notion d'asymétrie que peu de solutions proposent aujourd'hui. La troisième piste consiste en l'analyse des clichés de tomosynthèse plutôt que des clichés de mammographie, ce qui permettrait de plus d'améliorer la sensibilité de détection, en particulier en cas d'acquisition de double incidence [6].

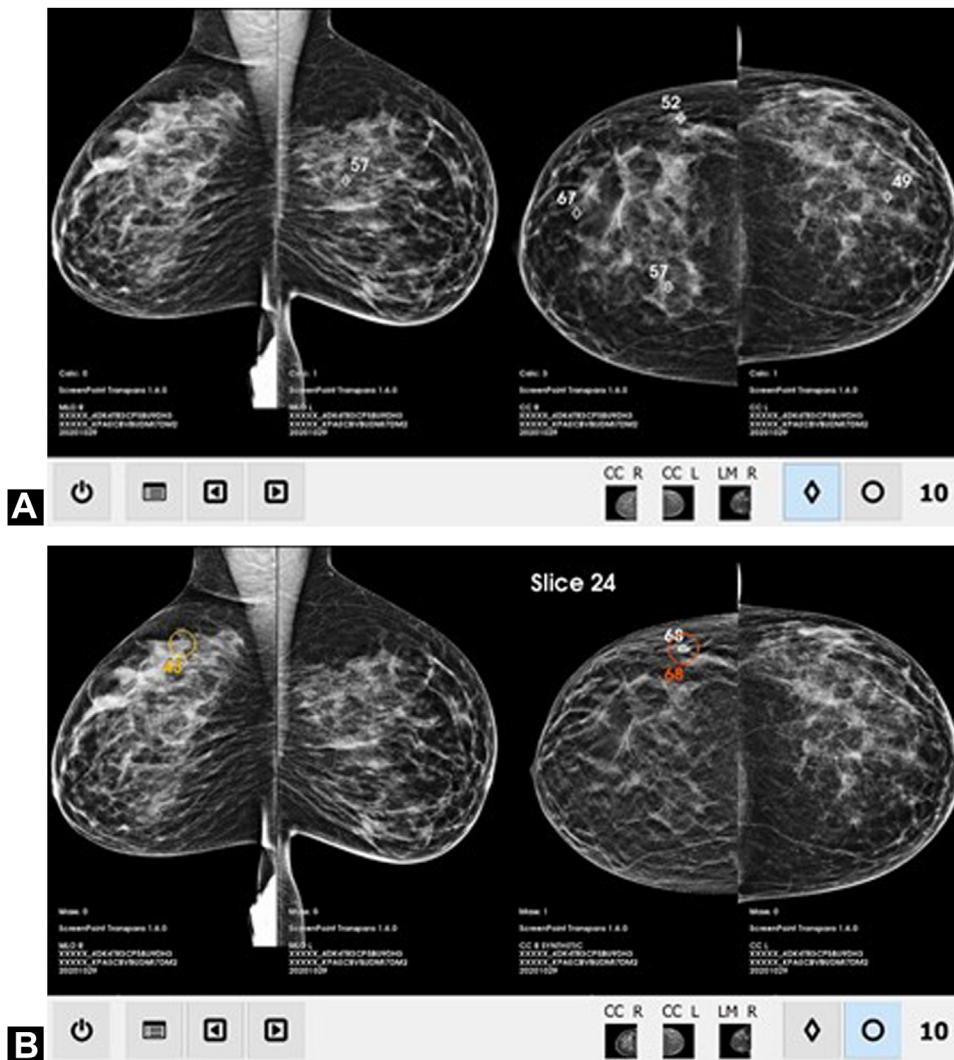


FIGURE 1

Application d'un logiciel d'intelligence artificielle à la mammographie et à la tomosynthèse illustrant la meilleure sensibilité et la meilleure spécificité du logiciel appliqué sur les acquisitions de tomosynthèse. A : Application à la mammographie : Le système d'intelligence artificielle arrête plusieurs foyers de calcifications dans l'image mammographique dont un à l'union des quadrants externes ; B : Application à la tomosynthèse (même patiente) : le système d'intelligence artificielle arrête une masse spéculée subtile à l'union des quadrants externes du sein droit qui était un carcinome canalaire infiltrant de grade 2 associé à un CCIS (calcifications détectées par le logiciel sur la mammographie)

Ceci pose un problème à l'heure actuelle puisque l'utilisation de la tomosynthèse mammaire n'est toujours pas validée pour le dépistage du cancer du sein en France. Elle est réalisée par de nombreux radiologues pour caractériser une anomalie détectée en mammographie (puisque plus performante et moins irradiante que le cliché en compression localisé) [7] mais ceci est source de difficulté pour le second lecteur, qui ne dispose pas de ces clichés, dans un contexte où le protocole de contrôle qualité tarde à se mettre en place de façon correcte. Il est aujourd'hui bien démontré que la tomosynthèse mammaire permet d'améliorer le taux de détection et de diminuer le taux de rappel en ajout de la mammographie numérique mais également de la mammographie synthétique [8], ce qui permet de pallier la problématique de l'augmentation de dose.

Modèle d'utilisation type « Radiologue augmenté »

Le deuxième type d'approche consiste à savoir si la performance du radiologue avec solution d'intelligence artificielle est supérieure à celle sur radiologue sans intelligence artificielle. Cette problématique, soulevée lors de la diffusion aux États Unis des premiers *Computed Aided Diagnosis* (CAD) avait fait l'objet de deux grandes études [9,10] qui avaient mis fin à l'utilisation des premières solutions d'intelligence artificielle en démontrant une diminution de performance des radiologues par augmentation du taux de faux positifs et de biopsies pour lésions bénignes. Les études basées sur les nouvelles solutions CAD développées à partir de modèle de *deep learning*, sont concordantes pour démontrer une supériorité du radiologue aidé de l'intelligence artificielle par rapport au radiologue seul ou au système

d'intelligence artificielle seul [11,12] grâce à une augmentation de la sensibilité et de la spécificité [13]. Les systèmes CAD *deep learning* permettent une meilleure détection des cancers sur les acquisitions de tomosynthèse que sur les acquisitions de mammographie [14]. De plus, ces systèmes CAD présentent l'avantage d'accélérer le temps de lecture en aidant le radiologue à identifier la coupe optimale où l'anomalie est détectée en tomosynthèse [15,16] qu'il s'agisse d'un vrai positif ou d'un faux positif qui sera alors plus facilement et plus rapidement négatif par le radiologue sans besoin de clichés ou d'exams complémentaires. Quelles que soient les solutions, le temps de lecture est réduit de façon significative (entre 30 et 50 %) avec un gain de sensibilité par patient et par lésion [16]. Les performances des solutions d'intelligence artificielle semblent identiques entre les acquisitions de mammographie 2D et les mammographies synthétiques [17] mais sont variables en fonction du type d'image. L'expérience quotidienne montre qu'il existe un grand nombre de faux positifs sur la détection de microcalcifications alors que les solutions semblent plus au point pour la détection et la caractérisation des masses et des distorsions et ce particulièrement sur les acquisitions de tomosynthèse. Ceci est bien corrélé avec la littérature qui a bien montré qu'un système d'intelligence artificielle est plus performant que le radiologue pour détecter les masses (90 % versus 78 %) et les distorsions ou asymétries (90 % versus 50 %), avec donc une supériorité du système d'intelligence artificielle pour les cancers de stade T1 N0 [18].

L'intelligence artificielle : outil de triage

Le dépistage du cancer du sein en France repose actuellement sur la réalisation d'une mammographie systématique qui permet de détecter sept à huit cancers pour 1 000 femmes en France. Le programme français repose sur la réalisation d'une double lecture avec une seconde lecture par un expert radiologue qui permet de détecter en moyenne plus de 6 % des cancers, non décelés lors de la première lecture. Cette seconde lecture est donc nécessaire mais rend plus complexe et plus cher le programme de dépistage organisé. Actuellement en France, le coût de la deuxième lecture correspondrait à un cinquième du coût global de la campagne de dépistage, soit 12 millions d'euros. En effet, l'absence de solution de dématérialisation fonctionnelle sur le plan national conduit à un coût humain important dépendant notamment de la volumétrie du nombre d'exams envoyés en seconde lecture (acheminement de dossiers papier, affichage de film sur négatoscope...). De plus, l'attente du résultat de la deuxième lecture peut être anxiogène pour les patientes. Des évolutions de la L2 sont indispensables à court terme auxquelles les solutions d'intelligence artificielle devraient contribuer ou participer.

Deux études récentes suggèrent que dans 20 % des cas, l'intelligence artificielle permettrait d'exclure à 100 % le diagnostic de cancer (VPN = 100 %). Ainsi, une combinaison, premier lecteur

et intelligence artificielle, permettrait d'atteindre une sensibilité équivalente à celle du couple premier et deuxième lecteur dans 20 % des cas, ce qui rendrait une seconde lecture inutile [19,20]. Une autre étude plus récente portant sur une cohorte de 15 986 patientes (taux de détection 6/1 000) a comparé plusieurs stratégies en incluant la tomosynthèse. Dans cette étude, l'utilisation de l'intelligence artificielle uniquement pour 70 % des exams n'entraînait pas de perte de sensibilité ou de spécificité et permettait un gain de temps significatif. Aussi, les auteurs avaient testé trois stratégies : double lecture mammographique, simple lecture tomosynthèse et double lecture tomosynthèse. L'introduction de l'intelligence artificielle rendait faisable en termes de temps de lecture humaine la double lecture tomosynthèse par une diminution de la volumétrie du nombre d'exams à lire. Enfin, cette étude confirmait que la double lecture tomosynthèse par rapport aux deux autres stratégies présentait une meilleure sensibilité (84,1 % contre 79,5 % en simple lecture tomosynthèse et 69 % en double lecture mammographique) et un meilleur taux de rappel par rapport à la double lecture mammographie (3,7 contre 4,2) [6]. Ces données sont intéressantes mais doivent être pondérées par le fait qu'une seule solution d'intelligence artificielle a été évaluée (Transpara, ScreenPoint) et que méthodologiquement la plupart des études comportent de nombreux biais qui doivent nous rendre prudents quant à l'applicabilité de ces hypothèses [2]. Une revue systématique publiée dans *Radiology* a montré l'extrême variabilité des résultats portant sur les études ayant évalué les systèmes d'intelligence artificielle comme outil de triage puisque le nombre de mammographies considérées comme lisibles seulement par l'intelligence artificielle variait de 7 à 91 % avec un taux de cancers manqués qui variait de 0 à 7 % [21]. Enfin, la plupart des solutions d'intelligence artificielle actuellement sur le marché ne font pas d'évaluation de la qualité image préalable à l'interprétation. Or, l'une des principales fonctions de la seconde lecture est d'identifier les clichés techniquement insuffisants. Des solutions sont en cours d'évaluation pour proposer cette fonctionnalité (Exemple HERA-MI). Enfin l'intelligence artificielle permettrait-elle d'améliorer l'efficacité du dépistage en diminuant le taux de cancer de l'intervalle ? La réponse semble être oui puisque deux publications concordantes avec deux logiciels différents (Transpara/Profound AI iCAD) démontrent une diminution potentielle d'environ 50 % des cancers de l'intervalle grâce aux solutions d'intelligence artificielle [22,23]. De plus, un score élevé du modèle d'intelligence artificielle serait un meilleur facteur prédictif que les modèles conventionnels d'évaluation du risque basés sur la densité et les facteurs de risque pour prédire la survenue de cancer de l'intervalle (OR = 2 versus OR = 1,59) [24]. Enfin, une approche combinant modèle intelligence artificielle et densité mammaire permettrait de mieux prédire la survenue des cancers de l'intervalle au cours des douze mois suivants que chacune des approches séparées [25].

L'intelligence artificielle pour prédire un cancer du sein dans le futur

Une autre piste d'utilisation des modèles d'intelligence artificielle appliqués à la mammographie est de mieux définir le risque individuel pour adapter la meilleure stratégie de dépistage. Plusieurs études sont en cours pour définir de nouvelles stratégies de dépistage basées sur le risque personnalisé [26], dont la plus connue aux Etats-Unis est l'étude WISDOM [27] et en Europe, l'étude « My Pebs », qui a la particularité d'inclure la densité mammaire radiologique dans la prédiction du risque [28]. Des résultats concordent sur l'apport de logiciels d'intelligence artificielle appliqués à la mammographie pour prédire le risque. Des études préliminaires avaient montré la supériorité d'un logiciel de *deep learning* par rapport aux modèles classiques de régression logistique combinant les facteurs de risques classiques de cancer du sein et ceux du modèle de Tyrer Cuzick [29]. Plus récemment, une large étude norvégienne basée sur la cohorte KARMA a prouvé qu'un logiciel de d'intelligence artificielle combinant densité mammaire, microcalcifications, présence de masses mammographiques et l'âge était plus performant que toutes les autres techniques conventionnelles d'évaluation du risque (Polymorphisme génomique, modèle de Gail, modèle de Tyrer-Cuzick). De plus, la prédiction du risque du modèle d'intelligence artificielle était améliorée lorsqu'il était combiné aux facteurs de risque classiques [30].

L'intelligence artificielle pourrait ainsi contribuer à mieux définir les populations à risque intermédiaire entre celui de la population générale et celui des groupes à très haut risque ainsi qu'un groupe de patientes à très bas risque où l'on pourrait envisager d'espacer le suivi.

En conclusion, l'intelligence artificielle pourrait devenir une aide quotidienne pour le radiologue afin d'améliorer la qualité d'image et son interprétation. Des études complémentaires sont nécessaires pour voir comment utiliser au mieux ces nouvelles solutions pour les intégrer à la campagne de dépistage en France. Les solutions d'intelligence artificielle doivent être évaluées en première lecture et en seconde lecture, cette seconde option rend la dématérialisation obligatoire de tout le flux et la nécessité que le contrôle qualité soit pris en compte dans les logiciels d'intelligence artificielle.

Déclaration de liens d'intérêts : Isabelle Thomassin-Naggara : lectures rémunérées Bard, Bracco, Bayer, Canon, Fujifilm, GE, Guerbet, GSK, Hologic, ICAD, Incepto, Roche, Siemens.

Luc Ceugnart : organisateur et intervenant FORCOMED association de formation continue en imagerie, responsable de la formation obligatoire au Dépistage Organisé du cancer du sein.

Anne Tardivon : intervenante FORCOMED association de formation continue en imagerie (Dépistage Organisé du cancer du sein)

Laurent Verzaux, Corinne Balleyguier, Patrice Taourel et Brigitte Seradour déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

- [1] Thomassin-Naggara I, Balleyguier C, Ceugnart L, et al. Artificial intelligence and breast screening: A position paper for the French radiological community. *Diagn Interv Imaging* 2019.
- [2] Freeman K, Geppert J, Stinton C, et al. Use of artificial intelligence for image analysis in breast cancer screening programmes: systematic review of test accuracy. *BMJ* 2021;374:n1872. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n1872>.
- [3] Philpotts LE. Advancing artificial intelligence to meet breast imaging needs. *Radiology* 2022;303(1):78-9. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.213101>.
- [4] Romero-Martin S, Elias-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(3):535-42. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.211590>.
- [5] Pfof A, Sidey-Gibbons C, Barr RG, et al. The importance of multi-modal imaging and clinical information for humans and AI-based algorithms to classify breast masses (INSPIRED 003): an international, multicenter analysis. *Eur Radiol* 2022. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-08519-z>.
- [6] Raya-Povedano JL, Romero-Martin S, Elias-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. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2021203555>.
- [7] Tagliafico A, Astengo D, Cavagnetto F, et al. One-to-one comparison between digital spot compression view and digital breast tomosynthesis. *Eur Radiol* 2012;22(3):539-44. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-011-2305-1>.
- [8] Giampietro RR, Cabral MVG, Lima SAM, Weber SAT, Dos Santos Nunes-Nogueira V. Accuracy and Effectiveness of Mammography versus Mammography and Tomosynthesis for Population-Based Breast Cancer Screening: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sci Rep* 2020;10(1):7991. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-64802-x>.
- [9] Fenton JJ, Taplin SH, Carney PA, et al. Influence of computer-aided detection on performance of screening mammography. *N Engl J Med* 2007;356(14):1399-409. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa066099>.
- [10] Lehman CD, Wellman RD, Buist DSM, et al. Diagnostic accuracy of digital screening mammography with and without computer-aided detection. *JAMA Intern Med* 2015;175(11):1828-37. <http://dx.doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.5231>.
- [11] Schaffter T, Buist D, Lee CI, et al. Evaluation of combined artificial intelligence and radiologist assessment to interpret screening mammograms. *JAMA Netw Open* 2020. <http://dx.doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.0265>.
- [12] Jiang Y, Edwards AV, Newstead GM. Artificial intelligence applied to breast MRI for improved diagnosis. *Radiology* 2021;298(1):38-46. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2020200292>.
- [13] Rodríguez-Ruiz A, Krupinski E, Mordang J-J, et al. Detection of breast cancer with mammography: effect of an artificial intelligence support system. *Radiology* 2019;290(2):305-14. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2018181371>.
- [14] Mendel K, Li H, Sheth D, Giger M. Transfer learning from convolutional neural networks for computer-aided diagnosis: a comparison of digital breast tomosynthesis and full-field digital mammography. *Acad Radiol* 2019;26(6):735-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2018.06.019>.
- [15] Conant EF, Toledano AY, Periaswamy S, et al. Improving accuracy and efficiency with

- concurrent use of artificial intelligence for digital breast tomosynthesis. *Radiol Artif Intell* 2019;1(4):e180096. <http://dx.doi.org/10.1148/ryai.2019180096>.
- [16] van Winkel SL, Rodríguez-Ruiz A, Appelman L, 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-07992-w>.
- [17] Lee SE, Han K, Kim E-K. Application of artificial intelligence-based computer-assisted diagnosis on synthetic mammograms from breast tomosynthesis: comparison with digital mammograms. *Eur Radiol* 2021;31(9):6929–37. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-07796-y>.
- [18] Kim H-E, Kim HH, Han B-K, et al. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study. *Lancet Digit Health* 2020;2(3):e138–48. [http://dx.doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30003-0](http://dx.doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30003-0).
- [19] Rodríguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-019-06186-9>.
- [20] 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-020-07165-1>.
- [21] Hickman SE, Woitek R, Le EPV, et al. Machine learning for workflow applications in screening mammography: systematic review and meta-analysis. *Radiology* 2022;302(1):88–104. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2021210391>.
- [22] Lång K, Hofvind S, Rodríguez-Ruiz A, Andersson I. Can artificial intelligence reduce the interval cancer rate in mammography screening? *Eur Radiol* 2021;31(8):5940–7. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-07686-3>.
- [23] Graewingholt A, Rossi PG. Retrospective analysis of the effect on interval cancer rate of adding an artificial intelligence algorithm to the reading process for two-dimensional full-field digital mammography. *J Med Screen* 2021;28(3):369–71. <http://dx.doi.org/10.1177/0969141320988049>.
- [24] Dembrower K, Wählin E, Liu Y, 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30185-0](http://dx.doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30185-0).
- [25] Wanders AJT, Mees W, Bun PAM, et al. Interval cancer detection using a neural network and breast density in women with negative screening mammograms. *Radiology* 2022;210832. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.210832>.
- [26] Pashayan N, Antoniou AC, Ivanus U, et al. Personalized early detection and prevention of breast cancer: ENVISION consensus statement. *Nat Rev Clin Oncol* 2020;17(11):687–705. <http://dx.doi.org/10.1038/s41571-020-0388-9>.
- [27] Eklund M, Broglio K, Yau C, Connor JT, Stover Fiscalini A, Esserman LJ. The WISDOM personalized breast cancer screening trial: simulation study to assess potential bias and analytic approaches. *JNCI Cancer Spectr* 2018;2(4):pky067. <http://dx.doi.org/10.1093/ncics/pky067>.
- [28] Giorgi Rossi P, Djuric O, Hélin V, et al. Validation of a new fully automated software for 2D digital mammographic breast density evaluation in predicting breast cancer risk. *Sci Rep* 2021;11(1):19884. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-99433-3>.
- [29] 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(1):60–6. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2019182716>.
- [30] Eriksson M, Czene K, Strand F, et al. Identification of women at high risk of breast cancer who need supplemental screening. *Radiology* 2020;297(2):327–33. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2020201620>.