

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Теодозова.Э.Л.¹. Хомутова Е.Ю.^{1, 2}

¹ФГБОУ ВО “Омский государственный медицинский университет” Минздрава России; 644099 Омск, ул. Ленина, 12, Российская Федерация

²БУЗОО “Областная клиническая больница”, Омск; 644111 Омск, ул. Березовая, 3, Российская Федерация

Авторы:

Теодозова Элина Леонидовна, ординатор 2 года обучения по специальности “Рентгенология” кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “ОмГМУ” Минздрава России. ORCID 0000-0003-2035-1943

Хомутова Елена Юрьевна – доктор мед. наук, заведующая кафедрой лучевой диагностики ОмГМУ. ORCID 0000-0001-9508-2202. SPIN 7148-7270

Автор, ответственный за переписку:

Теодозова Элина Леонидовна – врач ординатор кафедры лучевой диагностики ОмГМУ, E-mail: telariya@list.ru

DOI: 10.61634/2782-3024-2023-12-26-34

Рак молочной железы (РМЖ) занимает второе место по распространённости среди всех злокачественных опухолей и является наиболее частым онкологическим заболеванием у женщин. В данном литературном обзоре подробно рассматривается вопрос внедрения в клиническую практику систем искусственного интеллекта (ИИ) на основе сверточных нейронных сетей. Данное направление в диагностической медицине весьма перспективно, и во многом способно улучшить существующие и прочно вошедшие в повседневную практику методы визуализации молочной железы. К таким методам относят маммографию, ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ). Маммографический скрининг является передовым инструментом ранней диагностики рака молочной железы, позволившим снизить показатель смертности от данного заболевания за последние тридцать лет на 30 %. Тем не менее у метода есть и потенциальные недостатки, к которым относят ложноположительные и ложноотрицательные результаты, связанные с явлением суммации тканей на двухмерном снимке, а также с повышенной плотностью анатомических структур молочных желез. Системы искусственного интеллекта призваны улучшить и упростить данный метод визуализации, сокращая время на интерпретацию изображений. В настоящее время данные цифровые системы для внедрения их практику еще недостаточно изучены, имеется много ошибок и недочетов в интерпретации маммограмм. Следующим широко используемым методом визуализации молочной железы является УЗИ. Данный метод способен обнаружить новообразования, скрытые при маммографии у женщин с анатомически плотной структурой ткани молочной железы, что делает его особенно полезным в диагностике рака у женщин репродуктивного возраста. Однако, ультразвуковое исследование также имеет свои недостатки, среди которых выделяют операторозависимость метода. В настоящее время активно используется система искусственного интеллекта S-detect (2018 год, Samsung Medison), способная интерпретировать изображение, автоматически считывая информацию в режиме реального времени, повышая тем самым эффективность ультразвука. Программа уже на этапах пробного тестирования с 2019 года продемонстрировала высокую чувствительность, специфичность и точность (95.8%, 93.8%, 89.6% соответственно) при выявлении доброкачественных и злокачественных образований молочной железы. На сегодняшний день нет утвержденных методических рекомендаций по

применению программ искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике, при этом требуются дальнейшие исследования и доказательства полезности такой синергии. Программы искусственного интеллекта, совмещенные с МРТ-диагностикой, также продемонстрировали повышение эффективности и чувствительности метода. Однако, и в таком совмещении также отмечались ложноположительные и ложноотрицательные результаты (в том числе пропуски патологии).

Проведен обзор литературы по базам научных статей PubMed и Google Scholar. Внимание было сосредоточено на полнотекстовых статьях.

Ключевые слова: искусственный интеллект, рак молочной железы, маммография.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RADIAL DIAGNOSTICS OF BREAST CANCER

Teodozova.E.L. Khomutova E.Yu

¹Omsk State Medical University

²Regional Clinical Hospital, Omsk

Breast cancer (BC) ranks second in prevalence among all malignant tumors and is the most frequent cancer in women. This literature review details the introduction of artificial intelligence (AI) systems based on ultra-precise neural networks into clinical practice. This direction in diagnostic medicine is very promising, and in many ways can improve the existing and firmly entered into everyday practice methods of breast imaging. Such methods include mammography, ultrasound (USG) and magnetic resonance imaging (MRI). Mammography screening is an advanced tool for early detection of breast cancer, which has reduced the mortality rate from the disease by 30% in the last thirty years. Nevertheless, the method has potential drawbacks, including false positives and false negatives due to the phenomenon of tissue summation on a two-dimensional image, as well as the increased density of anatomical structures of the breast. Artificial intelligence systems are designed to improve and simplify this imaging method, reducing the time required for image interpretation. At present, these digital systems for their implementation in practice are not yet sufficiently studied, there are many errors and flaws in the interpretation of mammograms. The next widely used method of breast visualization is ultrasound. This method is able to detect neoplasms hidden by mammography in women with anatomically dense breast tissue structure, which makes it particularly useful in cancer diagnosis in women of reproductive age. However, ultrasound also has its disadvantages, among which stand out the operator-dependence of the method. Currently, the artificial intelligence system S-detect (2018, Samsung Medison) is actively used, which is able to interpret the image, automatically reading information in real time, thus increasing the effectiveness of ultrasound. The program has already demonstrated high sensitivity, specificity and accuracy (95.8%, 93.8%, 89.6%, respectively) in detecting benign and malignant breast masses in the trial phases from 2019. To date, there are no approved guidelines for the use of artificial intelligence programs in ultrasound diagnostics, with further research and evidence of the utility of such synergy required. Artificial intelligence programs combined with MRI diagnostics have also demonstrated increased efficiency and sensitivity of the method. However, false positives and false negatives (including missed pathology) have also been reported in this combination.

A literature review of PubMed and Google Scholar article databases was performed. The focus was on full-text articles.

Keywords: artificial intelligence, breast cancer, mammography.

Актуальность

Рак молочной железы входит в пятерку наиболее распространенных злокачественных опухолей, занимая 2-е место (11,6 %) среди всех онкологических заболеваний [1, 17]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2020 году у 2,3 миллиона женщин впервые был диагностирован рак молочной железы, а во всем мире было зарегистрировано 685 000 смертей от данного заболевания [2,4]. С целью снижения смертности от рака молочной железы, во многих странах мира была введена скрининговая маммография [2]. За последние тридцать лет она снизила этот показатель на 30 % [6, 7, 13]. Маммографический скрининг по сей день является передовым методом визуализации для ранней диагностики РМЖ [1, 6]. Тем не менее у метода есть и потенциальные недостатки [11]. К ним относят ложноположительные результаты, приводящие к дополнительной визуализации или биопсии, что, в свою очередь, увеличивает медицинские расходы и эмоциональный стресс для пациенток, а также ложноотрицательные результаты, когда рак молочной железы либо не обнаруживается при маммографии, либо возникают ошибки интерпретации, что в конечном итоге приводит к задержке постановки диагноза [14, 27]. В настоящее время активно разрабатываются и внедряются в клиническую практику системы искусственного интеллекта на основе сверхточных нейронных сетей, призванные улучшить и упростить данный метод визуализации [5, 8]. Данные цифровые системы активно разрабатываются и используются врачами-рентгенологами по всему миру в маммографическом скрининге, ультразвуковой диагностике и магнитно-резонансной томографии. Уже имеются накопленные данные доказывающие, что системы, разработанные на основе сверхточных нейронных сетей, являются наиболее эффективными методами в

медицине и превосходят традиционные методы визуализации [8].

Маммография

Маммография вот уже несколько десятилетий является передовым инструментом скрининга рака молочной железы, применяемым ежегодно при обследовании более 200 миллионов женщин [29]. Однако некоторые ограничения в чувствительности и специфичности данного метода сохраняются, несмотря на самые последние технологические усовершенствования [22].

Маммография, как пленочная, так и цифровая, предполагает получение двухмерного изображения всех анатомических структур молочной железы в двух проекциях [9, 25]. В результате на снимке здоровая ткань может скрыть образование, или наоборот, имитировать патологический участок [11]. Точность маммографического скрининга

значительно снижается у женщин с большим количеством фиброгландулярной ткани в молочных железах, которая присутствует у половины обследованных пациенток и отвечает за одну треть пропущенных случаев рака [9, 28, 30]. Учитывая данную структурную особенность визуализации молочных желез на маммограммах (в том числе и профилактических), а также растущую нехватку врачей-рентгенологов, требуются альтернативные методы, позволяющие упростить и улучшить программы скрининга [20]. В последние годы активно разрабатываются и используются для автоматического анализа профилактических маммограмм системы искусственного интеллекта (ИИ), основанные на сверхточных нейронных сетях [23, 25].

Карпов О.Э. и соавторы (2021 г.) в своей статье описали ретроспективное когортное исследование, которое включало группу пациенток из 49 человек, проходивших скрининг в

НМХЦ имени Н.И. Пирогова в период с 01.10.2017 г. по 01.10.2020 г., и имевших верифицированный диагноз злокачественного поражения по данным гистологии [1]. Авторами была разработана и использована система искусственного интеллекта «Цельс». Исследования были анонимизированы и предоставлены для анализа двум врачам-рентгенологам с опытом работы 8 и 18 лет. Расхождения между мнениями врачей решались путем консенсуса [1]. Используемая в исследовании система искусственного интеллекта «Цельс» предназначалась для выявления подозрительных на наличие злокачественных новообразований молочной железы областей. Система в качестве входных данных использовала полный набор из четырех изображений маммограммы и давала им соответствующую оценку [1].

В ходе исследования были полученные следующие результаты:

- 44 случая, в которых заключение поставлено верно системой искусственного интеллекта «Цельс» и врачами-рентгенологами;
- 1 случай, в котором заключение поставлено верно системой «Цельс» и неверно врачами-рентгенологами;
- 4 случая, в которых заключение поставлено неверно системой «Цельс» и верно врачами-рентгенологами. При этом следует отметить, что система определила новообразования как доброкачественные с рекомендацией проведения дополнительного обследования [1].

Результаты исследования продемонстрировали перспективность использования данной цифровой системы «Цельс», в частности были определены злокачественные образования в 45 случаях из 49 общего числа, что составляет 92%. Исследователи сделали вывод, что данная система может быть полезна для «двойного прочтения» врачами разной квалификации [1].

Mattie Salim и соавторы в своей работе описали ретроспективное исследование, проводимое в больнице Стокгольма, Швеция, в период с 2008 по 2015 год [35]. В исследовании приняли участие 8805 женщин в возрасте от 40 до 74 лет, которые прошли маммографический скрининг. В выборку вошли 739 женщин, у которых был диагностирован рак молочной железы, и 8066 здоровых женщин [35]. Интерпретация результатов была проведена с использованием трех систем искусственного интеллекта ИИ-1, ИИ-2, ИИ-3, и двух врачей-рентгенологов первого и второго чтения [22,35].

Чувствительность для искусственного интеллекта ИИ-1 составила 81,9%, для ИИ-2 - 67,0%, для ИИ-3 - 67,4%. Чувствительность для врача-рентгенолога первого чтения составила 77,4% и 80,1% - для врача-рентгенолога второго чтения. Совместная работа системы искусственного интеллекта ИИ-1 и врача-рентгенолога первого чтения позволила достичь чувствительности 88,6% при специфичности 93,0%. Ни одна другая комбинация систем искусственного интеллекта и врачей-рентгенологов не превзошла этот уровень чувствительности. ИИ-1 был обучен большему количеству данных, в отличие от систем ИИ-2 и ИИ-3 [22,35]. Jeong Hoop Lee и соавторы (2022 год, Южная Корея) в своем ретроспективном исследовании изучали возможности использования искусственного интеллекта, основанного на сверхточных нейронных сетях, с целью повышения эффективности обнаружения рака молочной железы врачами-рентгенологами [19]. Было взято в общей сложности 200 случаев изменений в молочной железе, выявленных на проведенной с марта 2009 по сентябрь 2018 года маммографии, при этом данные включали подтвержденные биопсией злокачественные образования - 100 случаев, доброкачественные образования - 40 случаев и отрицательные - 60 случаев [19]. В

исследовании учувствовали десять рентгенологов с разным уровнем профессионального опыта. Из них пятеро (группа №1) были с опытом работы в области визуализации молочных желез от 4 до 19 лет, и пятеро (группа №2) были рентгенологами общего профиля с опытом работы от 1 года до 10 лет [19]. Врачи-рентгенологи из 1 группы сначала описывали маммограммы при помощи программы искусственного интеллекта, а через два месяца повторно интерпретировали эти же снимки самостоятельно. Интервал в 2 месяца был необходим для сведения к минимуму возможного влияния системы искусственного интеллекта на время интерпретации снимков [19]. Врачи из 2 группы сначала описывали маммограммы с помощью искусственного интеллекта, а затем самостоятельно, без интервала в 2 месяца. Используемая система искусственного интеллекта была обучена обнаруживать рак молочной железы, используя данные 170 230 маммограмм, включая данные о более чем 30 000 случаях рака молочной железы. В результате исследования Jeong Hoop Lee с соавторами сделали однозначный вывод о значительном повышении чувствительности маммографии с использованием программ искусственного интеллекта как в группе №1 (с 74,6% до 88,6%), так и в группе №2 (с 52,1% до 79,4%), что составляет рост почти на 15% (группа №1) и на более чем 27% (группа №2) [19]. Также в выводах исследования было отмечено, что использование искусственного интеллекта может сократить среднее время анализа маммограмм, вероятно за счет более быстрого выявления патологических изменений и оформления заключения. Было высказано предположение, что сокращение времени на интерпретацию маммограмм как профилактических, так и диагностических, повысит эффективность работы врачей-

рентгенологов в клинической практике [19, 25].

Ультразвуковая диагностика (УЗИ)

Популяционный скрининг рака молочной железы с помощью маммографии снижает смертность от данного заболевания на 31-48% [7]. Тем не менее, у женщин с анатомически плотной структурой молочных желез чувствительность метода составляет всего 61% [13, 36]. Таким пациенткам требуется дообследование с применением дополнительных методов визуализации для выявления скрытого рака на маммографии [36]. Одним из таких методов дообследования является ультразвуковое исследование [33]. УЗИ молочных желез имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами визуализации, включая распространенность, доступность метода, относительно более низкую стоимость, отсутствие ионизирующего излучения и возможность оценки изображений в режиме реального времени [36]. УЗИ молочных желез способно обнаружить новообразования, скрытые при маммографии, что делает его особенно полезным методом в диагностике рака у женщин с анатомически плотной структурой молочных желез, в первую очередь у женщин репродуктивного периода [30]. Однако и ультразвуковое исследование имеет свои недостатки, в первую очередь связанные с зависимостью данного метода визуализации от опыта, знаний врача и технических возможностей УЗ-оборудования [33]. Программы искусственного интеллекта, используемые в ультразвуковой диагностике, способны повысить эффективность данного метода, автоматически выявляя участки измененной эхогенности, подозрительные на патологические [33]. Anton Becker и соавторы (2018 год, Швеция) проводили ретроспективное исследование для оценки эффективности программы искусственного интеллекта на основе нейронных сетей для

классификации рака молочной железы [33]. Они обнаружили, что точность программ ИИ для диагностики рака молочной железы при УЗИ сопоставима с точностью заключения врачей ультразвуковой диагностики. При дальнейшем усовершенствовании данная цифровая система может стать хорошим помощником в диагностике рака молочной железы для начинающих врачей [33].

Seokmin Han и соавторы (2017 год, Южная Корея) использовали программу искусственного интеллекта для дифференцировки разных типов поражений и образований молочных желез на ультразвуковых изображениях [33]. Программа на основе нейронных сетей показала хорошие результаты, среди которых – показатели диагностической точности около 90%, чувствительности – 86% и специфичности – 96%. Эти многообещающие результаты демонстрируют перспективы применения цифровых систем в выявлении РМЖ врачами ультразвуковой диагностики [33].

Ting Xiao и соавторы в своем исследовании (2018 год, Китай) сравнивали возможности использования в ультразвуковой диагностике трех программ искусственного интеллекта на основе сверхточных нейронных сетей и традиционной модели ИИ на основе машинного обучения для дифференцировки доброкачественных и злокачественных опухолей молочных желез. Исследователи обнаружили, что использование всех трех программ искусственного интеллекта по отдельности и в комбинациях превзошло возможности традиционной модели ИИ на основе машинного обучения. Показатель чувствительности данного метода составил 85% [33].

В настоящее время активно разрабатываются системы искусственного интеллекта, позволяющие идентифицировать и маркировать образования молочной

железы на ультразвуковом изображении в режиме реального времени [33]. К таким программам относится цифровая система S-detect [16].

Qun Xia и соавторы в своем исследовании (Китай, 2021 год) оценивали диагностическую эффективность программы S-detect (2019 год, Samsung Medison) с целью дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных поражений молочной железы [16, 33, 34]. Пациентку укладывали в положение лежа на спине, запрокинув руки за голову, чтобы как можно больше обнажить молочные железы и область подмышечных впадин. Сканирование последовательно проводилось двумя врачами ультразвуковой диагностики с опытом работы не менее 5 лет. После самостоятельной интерпретации изображений и оформления заключения врачи использовали программу ИИ S-Detect [33, 34]. Система выделяла границу поражения в качестве интересующей области, автоматически перечисляя характеристики поражения (размер, глубина, форма, границы и т. д.) и автоматически создавая предполагаемое заключение о характере новообразования [16]. Далее проводилась компрессионная эластография. Цвет эластографии был разделен на зеленый и синий, что отражает жесткость и эластичность ткани. Если образование повышенной жесткости, оно было окрашено в темно-синий цвет и определяло это как признак злокачественности. Эластичные образования окрашивались в светло-зеленый цвет, что определялось как признак доброкачественности и было подтверждено при верификации после биопсии [16]. В итоге доброкачественные поражения составили 40,0% (16/40), а злокачественные – 60,0% (24/40). Система искусственного интеллекта S-Detect продемонстрировала высокую чувствительность, специфичность и точность (95.8%, 93.8%, 89.6% соответственно) при выявлении

доброкачественных и злокачественных образований молочной железы [33, 34]. Совместное исследование с программой искусственного интеллекта повышает точность диагностики до 90% [33, 34]. В настоящее время нет рекомендаций по применению искусственного интеллекта с ультразвуком в клинической практике, и требуются дополнительные исследования для доказательства полезности метода [24, 34].

Магниторезонансная томография (МРТ)

Женщинам из группы высокого риска, которым требуется дообследование после маммографии, рекомендуется выполнение МРТ молочных желез [12, 21]. Комбинация этих методов повышает чувствительность обнаружения рака до 92,7% [31]. При дообследовании с применением УЗИ, чувствительность маммографии при выявлении РМЖ (в гибридном варианте) составляет всего 52% [21].

Рандомизированное контролируемое исследование по скринингу рака молочной железы (DENSE) в Нидерландах (2019 год), оценивающее частоту выявления РМЖ у женщин с анатомически плотной структурой молочных желез при использовании МРТ, продемонстрировало потенциальную пользу применения данного метода визуализации в дообследовании пациенток с показателем выявления рака 16,5 на 1000 случаев и снижением на 50% заболеваемости интервальным раком [15, 18, 32].

Mio Adachi и соавторы в своей статье (2020 год, Япония) описали ретроспективное исследование, где пациенткам была проведена МРТ молочных желез с контрастным усилением (гадолиний) в период с марта 2014 года по октябрь 2018 года, и были диагностированы доброкачественные или злокачественные поражения [3]. В исследовании использовалась система искусственного интеллекта (RetinaNet, 2017 год, США), в которую был загружен

набор томограмм, включающий 30 нормальных, 49 доброкачественных и 135 злокачественных случаев [3]. В этом наборе поражения молочной железы были помечены как “доброкачественные” или “злокачественные” врачом рентгенологом с 10-летним стажем работы [3]. Далее результаты МРТ молочных желез ретроспективно оценивались врачами-рентгенологами с 20-летним, 6-летним, 4-летним и 1 летним стажем работы самостоятельно, а в качестве «второго чтения» с использованием искусственного интеллекта [3]. В результате показатели чувствительности и специфичности МРТ с использованием программы искусственного интеллекта составили 92% и 83% соответственно, а для четырех рентгенологов 85% и 84% соответственно [3]. Системой искусственного интеллекта на основе нейронной сети (RetinaNet) было зарегистрировано семь ложноположительных и четыре ложноотрицательных случая, также был допущен пропуск злокачественного образования в области подмышечной впадины [3]. Данная программа весьма перспективна, но необходимо продолжение её усовершенствования с включением больших объемов данных [3, 10, 26].

Заключение

В настоящее время сложно представить практическую медицину без использования разнообразных цифровых систем. Данные компьютерные программы на протяжении нескольких лет активно разрабатываются и совершенствуются по всему миру. Они призваны улучшить и упростить раннюю диагностику многих заболеваний, тем самым повышая качество жизни пациентов. Особенно это направление перспективно в лучевой диагностике рака молочной железы. Искусственный интеллект на основе нейронных сетей обладает невероятным потенциалом для повышения точности

диагностики, эффективности работы рентгенологов, при этом позволяя снизить рабочую нагрузку на врача, занимающегося описанием снимков молочной железы. Кроме того, постоянное взаимодействие рентгенолога с программами искусственного интеллекта, с точки зрения взаимного обучения позволит значительно повысить качество принимаемых решений как цифровой системой, так и врачом.

Имеющиеся на сегодняшний день данные об использовании искусственного интеллекта в диагностике рака молочной железы, используя такие методы визуализации как маммография, ультразвуковая диагностика, магнитно-резонансная

томография, далеки от того качества и количества, которые необходимы для их внедрения их медицинскую практику. Однако, как и другие новые технологии, эти системы требуют тщательной оценки в клинической практике с использованием большого и разнообразного набора данных, прежде чем получить широкое распространение. В перспективе при дальнейшем усовершенствовании цифровых систем, повышении чувствительности и специфичности с использованием больших объемов данных высокого качества, эти системы могут стать весьма востребованными, в качестве первого или второго чтения, учитывая нехватку врачей-рентгенологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karpov O.E., Bronov O.Yu., Kapninsky A.A. Comparative study of the results of data analysis of digital mammography system based on artificial intelligence "cels" and radiologists. Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov 2021;16(2): 86-92. doi:10.25881/20728255_2021_16_2_86. Russian (Карпов О.Э., Бронов О.Ю., Капнинский А.А. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «цельс» и врачей-рентгенологов. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова 2021;16(2):86-92. doi: 10.25881/20728255_2021_16_2_86.).
2. Strunkin D.N., Kononchuk V.V., Gulyaeva L.F. Modern aspects of systematics, diagnosis and treatment of breast cancer. Tumors of the female reproductive system 2022;18(1):25-39. doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-1-25-39. Russian (Стрункин Д.Н., Конончук В.В., Гуляева Л.Ф. Современные аспекты систематики, диагностики и лечения рака молочной железы. Опухоли женской репродуктивной системы 2022;18(1):25-39. doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-1-25-39.).
3. Adachi M., Fujioka T., Tateishi U. Detection and Diagnosis of Breast Cancer Using Artificial Intelligence Based Assessment of Maximum Intensity Projection Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Images. *Diagnostics* 2020;10(5): 330-335. doi.org/10.3390/diagnostics10050330
4. Almalki Y., Soomro T., Ali A. Computerized Analysis of Mammogram Images for Early Detection of Breast Cancer. *Healthcare* 2022;10(5): 1-9. doi.org/10.3390/healthcare10050801
5. Alruwaili M., Gouda W. Automated Breast Cancer Detection Models Based on Transfer Learning. *Sensors* 2022;22(3): 1-8. doi.org/10.3390/s22030876
6. Chang Y., An J., Ryu J. Artificial Intelligence for Breast Cancer Screening in Mammography (AI-STREAM): A Prospective Multicenter Study Design in Korea Using AI-Based CADe/x. *Journal Breast Cancer* 2022;25(1):57-68. doi.org/10.4048/jbc.2022.25.e4
7. Chiwome L., Okojie O., Hamid P. Artificial Intelligence: Is It Armageddon for Breast Radiologists? *Cureus* 2020;12(6): 1-8. doi:10.7759/cureus.8923
8. Dahlblom V., Andersson I., Dustler M. Artificial Intelligence Detection of Missed Cancers at Digital Mammography That Were Detected at Digital Breast Tomosynthesis. *Radiology Artificial Intelligence* 2021;3(6): 1-7. doi:10.1148/ryai.2021200299
9. Elhakim M., Graumann O., Larsen L. et al. Kunstig intelligens til cancerdiagnostik i brystkræftscreening. *Ugeskr Læger* 2020;182(5): 1-9
10. Freeman K., Geppert J., Taylor-Phillips S. Use of artificial intelligence for image analysis in breast cancer screening programmes: systematic review of test accuracy. *British Medical Journal* 2021; 374:1-16. doi:10.1136/bmj.n1872
11. Geras K., Mann R., Moy L. Artificial Intelligence for Mammography and Digital Breast Tomosynthesis: Current Concepts and Future Perspectives. *Radiology* 2019; 293(6):246-259. doi.org/10.1148/radiol.2019182627

12. Herent P., Schmauch B. Detection and characterization of MRI breast lesions using deep learning. *Diagnostic and Interventional Imaging* 2019;100(4): 219-225. doi.org/10.1016/j.diii.2019.02.008
13. Hendrix N., Hauber B., Veenstra D. Artificial intelligence in breast cancer screening: primary care provider preferences. *Journal of the American Medical Informatics Association* 2021;28(6): 1117-1124. doi.org/10.7910/DVN/EX4NG2
14. Hyun Yoon J., Kim E. Deep Learning-Based Artificial Intelligence for Mammography. *Korean Journal Radiology* 2021;22(8): 1225-1239. doi.org/10.3348/kjr.2020.1210
15. Jiao H., Jiang X., Li L. Deep Convolutional Neural Networks-Based Automatic Breast Segmentation and Mass Detection in DCE-MRI. *Computational and Mathematical Methods in Medicine* Volume 2020;25(2): 1-7. doi.org/10.1155/2020/2413706
16. Kim K., Song M., Yoon J. Clinical application of S-Detect to breast masses on ultrasonography: a study evaluating the diagnostic performance and agreement with a dedicated breast radiologist. *Ultrasonography* 2017; 36:3-9.
17. Kyuwan L., Laura K., Joanne E.M. The Impact of Obesity on Breast Cancer Diagnosis and Treatment. *Current Oncology Reports* 2019;21(5): 1-5 doi: 10.1007/s11912-019-0787-1
18. Lassau N., Estienne T., Vomecourt P. Five simultaneous artificial intelligence data challenges on ultrasound, CT, and MRI. *Diagnostic and Interventional Imaging* 2019;100(4):199-209. doi.org/10.1016/j.diii.2019.02.001
19. Lee J., Kim K., Choi H. Improving the Performance of Radiologists Using Artificial Intelligence-Based Detection Support Software for Mammography: A Multi-Reader Study. *Korean Journal Radiology* 2022;23(5):505-516. doi.org/10.3348/kjr.2021.0476
20. Marinovich M., Wylie E., Houssami N. Artificial intelligence (AI) to enhance breast cancer screening: protocol for population-based cohort study of cancer detection. *British Medical Journal Open* 2022;12(2): 1-7. doi:10.1136/bmjopen-2021-054005
21. Mehdy M., Ng P., Gomes C. Artificial Neural Networks in Image Processing for Early Detection of Breast Cancer. *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2017;5(2): 1-13. doi: 10.1155/2017/2610628
22. Pacilè S., Lopez J., Fillard P. Improving Breast Cancer Detection Accuracy of Mammography with the Concurrent Use of an Artificial Intelligence Tool. *Radiology: Artificial Intelligence* 2020;2(6): 1-8. doi.org/10.1148/ryai.2020190208
23. Park G., Kang B., Lee J. Retrospective Review of Missed Cancer Detection and Its Mammography Findings with Artificial-Intelligence-Based, Computer-Aided Diagnosis. *Diagnostics* 2022;12(2): 1-5. doi.org/10.3390/diagnostics12020387
24. Plichta J., Ren Y., Thomas S. Implications for Breast Cancer Restaging Based on the 8th Edition AJCC Staging Manual. *Annals of Surgery* 2020;271(1): 169-176. doi: 10.1097/SLA.0000000000003071
25. Rodriguez-Ruiz A., Lang K., Sechopoulos I. Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists. *Journal of the National Cancer Institute* 2019;111(9): 916-921. doi: 10.1093/jnci/djy222
26. Salim M., Wahlin E., Strand F. External Evaluation of 3 Commercial Artificial Intelligence Algorithms for Independent Assessment of Screening Mammograms. *JAMA Oncology* 2020;6(10):1581-1588. doi:10.1001/jamaoncol.2020.3321
27. Schaffter T., Buist D., Jung H. Evaluation of Combined Artificial Intelligence and Radiologist Assessment to Interpret Screening Mammograms. *JAMA Network Open* 2020;3(3): 1-13. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.0265
28. Sechopoulos I., Mann R. Stand-alone artificial intelligence - The future of breast cancer screening? *The Breast* 2020;49(3): 254-260. doi.org/10.1016/j.breast.2019.12.014
29. Sechopoulos I., Teuwen J., Mann R. Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: State of the art. *Seminars in Cancer Biology* 2021;72(2): 214-225
30. Shen Y., Shamout F., Geras K. Artificial intelligence system reduces false-positive findings in the interpretation of breast ultrasound exams. *Nature Communications* 2021;12(3):1-11. doi.org/10.1038/s41467-021-26023-2
31. Tomas R., Sayat A., Atienza A. Detection of breast cancer by ATR-FTIR spectroscopy using artificial neural networks. *Plos one* 2022;17(1): 1-13. doi.org/10.1371/journal.pone.0262489
32. Weitao Ha and Zahra Vahedi. Automatic Breast Tumor Diagnosis in MRI Based on a Hybrid CNN and Feature-Based Method Using Improved Deer Hunting Optimization Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience* 2021; 19(2): 1-10. doi.org/10.1155/2021/5396327
33. Wu G., Zhou L., Dietrich C. Artificial intelligence in breast ultrasound. *World Journal Radiology* 2019;11(2): 19-26. doi: 10.4329/wjr.v11.i2.19
34. Xia Q., Cheng Y., Hu J. et al. Differential diagnosis of breast cancer assisted by S-Detect artificial intelligence system. *Mathematical Biosciences and Engineering* 2021;18(4): 3680-3689. doi: 10.3934/mbe.2021184
35. Youk J., Kim E. Research Highlight: Artificial Intelligence for Ruling Out Negative Examinations in Screening Breast MRI. *Korean Journal Radiology* 2022;23(2): 153-155. doi.org/10.3348/kjr.2021.0912
36. Zelst J., Tan T., Karssemeijer N. Validation of radiologists' findings by computer-aided detection (CAD) software in breast cancer detection with automated 3D breast ultrasound: a concept study in implementation of artificial intelligence software. *Acta Radiologica* 2020;61(3): 312-320. doi.org/10.1177/0284185119858051