

Роль искусственного интеллекта в кардиоонкологии: настоящее и будущее

Ю.И. Бузиашвили, Э.У. Асымбекова, Э.Ф. Тугеева, Ф.Р. Акилджонов✉

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

Кардиоонкология разработана как относительно новое направление в медицине, которое фокусируется на профилактике и лечении неблагоприятных сердечно-сосудистых осложнений, связанных с терапией онкологических заболеваний. Новые, более эффективные методы получения данных, такие как использование искусственного интеллекта, желательны для помощи в оценке сердечно-сосудистых событий у пациентов с онкологическими заболеваниями. Извлекая скрытые закономерности и доказательства из больших объемов медицинских данных, искусственный интеллект может создавать новые предикторы и параметры для прогнозирования рисков у пациентов с кардиоонкологическими заболеваниями.

Ключевые слова: кардиоонкология, искусственный интеллект, машинное обучение

Для цитирования: Бузиашвили Ю.И., Асымбекова Э.У., Тугеева Э.Ф., Акилджонов Ф.Р. Роль искусственного интеллекта в кардиоонкологии: настоящее и будущее. *Consilium Medicum*. 2023;25(1):29–33. DOI: 10.26442/20751753.2023.1.202095
© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

REVIEW

The role of artificial intelligence in cardio-oncology: present and future: A review

Yuri I. Buziashvili, Elmira U. Asymbekova, Elvina F. Tugeeva, Firdavsdzhon R. Akildzhonov✉

Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia

Abstract

Cardiooncology has been developed as a relatively new branch of medicine that focuses on the prevention and treatment of adverse cardiovascular events associated with cancer therapy. Newer, more efficient data acquisition methods, such as the use of artificial intelligence, are desirable to help assess CVR in cancer patients. By extracting hidden patterns and evidence from large volumes of medical data, artificial intelligence can create new predictors and parameters to predict risks in patients with cardio-oncological diseases.

Keywords: cardiooncology, artificial intelligence, machine learning

For citation: Buziashvili Yul, Asymbekova EU, Tugeeva EF, Akildzhonov FR. The role of artificial intelligence in cardio-oncology: present and future: A review. *Consilium Medicum*. 2023;25(1):29–33. DOI: 10.26442/20751753.2023.1.202095

По данным Американского общества медицинских онкологов, у 17 млн человек, выживших после онкологических заболеваний в США, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной смертности [1]. Ежегодно от сердечно-сосудистых осложнений (ССО) умирают около 370 тыс. человек, перенесших онкологические заболевания [2]. Прогнозирование и ранняя диагностика ССЗ в данной популяции имеют решающее значение и играют потенциальную роль в принятии решений об инициации медикаментозной терапии и улучшении отдаленного прогноза. Кроме того, по мере увеличения выживаемости и роста количества потенциально кардиотоксичных методов лечения растет и потребность в высокопроизводительных, высококачественных и сфокусированных методах визуализации для серийного мониторинга сердечно-сосудистой

системы (ССС) у онкологических пациентов [3]. Новые, более эффективные методы получения данных, такие как использование искусственного интеллекта (ИИ), желательны для помощи в оценке ССС у пациентов с онкологическими заболеваниями. Извлекая скрытые закономерности и доказательства из больших объемов медицинских данных, ИИ может создавать новые предикторы и параметры для прогнозирования рисков у пациентов с кардиоонкологическими заболеваниями.

Кардиоонкология разработана как относительно новое направление в медицине, которое фокусируется на профилактике и лечении неблагоприятных ССО, связанных с терапией онкологических заболеваний. Небольшая часть данного направления посвящена диагностике и лечению первичных или вторичных опухолей сердца. Большая часть

Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Акилджонов Фирдавсджон Рустамджонович** – аспирант клинико-диагностического отд-ния ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева». E-mail: firdavs96_tths@mail.ru; ORCID: 0000-0002-1675-4216

Бузиашвили Юрий Иосифович – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., зав. клинико-диагностическим отд-нием ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева». ORCID: 0000-0001-7016-7541

Асымбекова Эльмира Уметовна – д-р мед. наук, вед. науч. сотр. клинико-диагностическим отд-нием ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева». ORCID: 0000-0002-5422-2069

Тугеева Эльвина Фаатовна – д-р мед. наук, ст. науч. сотр. клинико-диагностического отд-ния ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева». ORCID: 0000-0003-1751-4924

✉ **Firdavsdzhon R. Akildzhonov** – Graduate Student, Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. E-mail: firdavs96_tths@mail.ru; ORCID: 0000-0002-1675-4216

Yuri I. Buziashvili – D. Sci. (Med.), Prof., Acad. RAS, Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. ORCID: 0000-0001-7016-7541

Elmira U. Asymbekova – D. Sci. (Med.), Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. ORCID: 0000-0002-5422-2069

Elvina F. Tugeeva – D. Sci. (Med.), Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery. ORCID: 0000-0003-1751-4924

данного направления посвящена химиотерапии, лучевой терапии и кардиотоксичности, связанной с иммунотерапией. В то время как антрациклины являются наиболее исследуемыми препаратами и связаны с кардиомиопатией, постоянно разрабатываются новые кардиотоксические фармакологические агенты, связанные с различными сердечно-сосудистыми эффектами. Традиционная химиотерапия, а также таргетная или иммунотерапия могут вызывать прямое токсическое повреждение кардиомиоцитов с последующим развитием сердечной недостаточности (СН), как и лучевая терапия. Выжившие после онкологического заболевания подвергаются повышенному риску СН и смертности от ССЗ, связанных с предшествующим воздействием химио- и/или лучевой терапии. Ранняя верификация кардиотоксичности, ассоциированной с химиотерапией (КАХ), дает возможность для первичной и вторичной профилактики, которые потенциально могут улучшить отдаленный прогноз, качество и продолжительность жизни у онкологических пациентов. Следовательно, руководства по клинической практике различных кардиоонкологических сообществ рекомендуют раннее выявление субклинической дисфункции миокарда левого желудочка (ЛЖ) с целью снижения прогрессирования СН и улучшения отдаленного прогноза, в том числе с применением алгоритмов ИИ [4, 5].

ИИ относится к компьютерным программам, которые способны выполнять задачи, связанные с человеческим интеллектом, такие как распознавание образов и решение проблем [6]. ИИ в медицине является быстро развивающимся направлением, которое оказывает влияние на клиническую практику, особенно в отношении выявления установленных шаблонов данных, которые можно использовать для прогнозирования отдаленных исходов. В области кардиоонкологии исследователи подтверждают, что ИИ может играть потенциальную роль в мультимодальной визуализации сердца варьирующимися от классификации и реконструкции изображений до автоматизации сегментации и количественной оценки, которые могут повлиять на рабочий процесс, точность диагностики, воспроизводимость измерений и в конечном счете прогноз пациента.

Термин ИИ впервые использован в 1956 г. для обозначения машин, имитирующих человеческий интеллект [7]. ИИ включает в себя несколько методов, в том числе использование машинного обучения (МО) и гибридных интеллектуальных систем, которые обеспечивают эффективное представление и анализ данных. ИИ обрабатывает и анализирует данные с высокой плотностью, что невозможно с помощью традиционной статистики. ИИ отличается от традиционных параметрических статистических методов тем, что фиксирует многомерные и иерархические отношения, что делает ИИ более применимым к реальным проблемам [8].

Таким образом, область прецизионной кардиоонкологии с помощью ИИ развивается в сторону большей персонализации и точности с упором на раннюю профилактику ССЗ и индивидуальный подбор терапии онкологического заболевания [9]. В кардиоонкологии особый интерес представляет использование МО для прогнозирования ранней КАХ. Хотя у ИИ есть свои пробелы, подходы МО и глубокого обучения (ГО), применяемые к различным функциям, могут преобразовать прогнозирование и диагностику в кардиоонкологии. МО учится на совокупных данных для создания прогнозистических моделей и изучения взаимосвязей между переменными; ГО использует глубокие или нейронные сети для распознавания тонких закономерностей посредством абстракции и синтеза многочисленных слоев данных для анализа и прогнозирования. ИИ, включая МО и подкатегорию ГО, на ранних стадиях применяли к различным сердечно-сосудистым модальностям [10]. До сих пор МО показывает большие перспективы в кардиоонкологических исследованиях. В одном из продольных исследований авторы оценили использование алгоритмов МО для прогнозирования риска

развития КАХ. В ретроспективном исследовании проанализированы клинико-лабораторные и инструментальные данные 4309 онкологических больных. Выявлено, что эхокардиографические данные оказались более прогностическими для верификации КАХ, а лабораторные данные имели ограниченную аддитивную ценность. Площадь под ROC-кривой 0,85 получена только из эхокардиографических данных, тогда как площадь под ROC-кривой 0,74 получена из лабораторных методов исследований. Наконец, комбинированная модель, включающая 2 группы, продемонстрировала наиболее высокую чувствительность в диагностике КАХ (площадь под ROC-кривой – 0,91) [11]. Данный анализ демонстрирует наиболее надежные критерии оценки риска для кардиоонкологических заболеваний, доступные в опубликованной литературе по ИИ. После дополнительной валидации алгоритм будет доступен в онлайн-инструменте стратификации рисков. В последующем исследовании данная исследовательская группа применила МО к крупномасштабным электронным медицинским записям учреждений с целью прогнозирования неблагоприятных ССО. Они создали большую продольную кардиоонкологическую когорту (с максимальным периодом наблюдения более 20 лет, с марта 1997 по январь 2019 г.) более 4600 онкологических пациентов в клинике Кливленда. Авторы использовали подход кластеризации для проведения объективного анализа базы данных пациентов с использованием эхокардиографии (более 25 тыс.), лабораторных исследований и клинических факторов риска ССЗ. В данном исследовании продемонстрировано, что алгоритмы МО, ориентированные на анализ сходства между пациентами в течение нескольких лет, имели аддитивную способность в идентификации пациентов после онкологических заболеваний с высоким риском развития ССЗ [12].

Примечательно, что электрокардиограмма (ЭКГ) остается наиболее часто используемым диагностическим инструментом для определения нарушений ритма и проводимости, очаговых изменений миокарда ЛЖ, а также ключевым прогностическим и диагностическим инструментом в кардиоонкологии. Параллельный прогресс в вычислительной мощности, методах МО и доступности крупномасштабных данных значительно расширил клинические выводы, полученные из ЭКГ, сохраняя при этом интерпретируемость для принятия медицинских решений в кардиоонкологии. В обычной практике ИИ уже используется в ограниченной степени в виде компьютерных ЭКГ. В частности, МО, в котором используются передовые компьютерные алгоритмы для изучения сложных паттернов, может улучшить прогнозирование ССО, раннюю диагностику и в конечном итоге профилактику ССЗ. За последнее десятилетие идея применения МО в кардиологии вызвала значительный интерес: только за последние 5 лет опубликовано более 3 тыс. статей по данной тематике [13].

Это утверждение подтверждается недавними исследованиями с использованием ГО данных ЭКГ в 12 отведениях, предполагающими, что анализ только электрокардиографических данных может идентифицировать пациентов с риском развития СН через 10 лет (AUC 0,76) с точностью, аналогичной калькулятору риска Framingham Heart Study (AUC 0,78). Кроме того, сочетание с клиническими факторами риска увеличивало чувствительность данной методики (AUC 0,83), подтверждая дополнительную ценность ЭКГ в оценке сердечно-сосудистого риска [14]. Другая исследовательская группа определила, можно ли использовать ИИ-ЭКГ в качестве инструмента поддержки принятия клинических решений для раннего выявления КАХ. Авторы исследования, применяя ИИ, проанализировали данные электронных медицинских карт. Они использовали данные электронных медицинских карт в режиме реального времени и инструменты поддержки принятия клинических решений в небольших и крупных онкологических центрах. ЭКГ от более чем 22 600 взрослых (n=11 573 в

группе ИИ-ЭКГ, $n=11$ 068 в контрольной группе) без ранее известной дисфункции миокарда ЛЖ получены во время плановых посещений. В 1-й группе выявлено большое количество СН по сравнению с контрольной группой (2,1% против 1,6%, отношение шансов 1,32, доверительный интервал 1,01–1,61; $p=0,007$) [15]. В другом исследовании авторы оценили доказательства использования ГО для анализа ЭКГ с целью прогнозирования дисфункции миокарда, гипертрофии ЛЖ и ишемической болезни сердца. Проведен систематический обзор, в результате которого опубликовано 12 статей о применении алгоритмов ГО к ЭКГ. Эти алгоритмы использовались для обнаружения структурных патологий сердца в амбулаторных условиях или во время проведения нагрузочных проб. В 3 статьях сообщалось об использовании ГО-ЭКГ для выявления дисфункции миокарда (AUC) 0,89–0,93 и точностью 98%. В 1 исследовании сообщалось об использовании ГО-ЭКГ для выявления гипертрофии миокарда ЛЖ (AUC 0,87, точность 87%). Данный алгоритм может иметь клиническое значение для скрининга бессимптомных лиц и ранней диагностики симптоматических пациентов [16]. Кроме того, ИИ-ЭКГ может помочь выявить ранние признаки КАХ. Z. Attia и соавт. (2019 г.) сообщили, что анализ ЭКГ под контролем ИИ точно и надежно идентифицировал бессимптомную дисфункцию ЛЖ, определяемую как фракция выброса (ФВ) $\leq 35\%$, с чувствительностью и специфичностью 86,3 и 85,7% соответственно [17]. В отдельном исследовании D. Adedinsewo и соавт. (2020 г.) продемонстрировали эффективность использования ИИ для выявления пациентов с одышкой с риском систолической СН. Они показали, что анализ ЭКГ с использованием ИИ позволил точно идентифицировать систолическую дисфункцию ЛЖ и даже превзошел результаты измерения N-концевого про-В-типа натрийуретического пептида. Кроме того, они показали, что их алгоритм ЭКГ с поддержкой ИИ недорог и эффективен в распознавании пациентов с одышкой по сравнению с существующими диагностическими методами. ЭКГ можно использовать в качестве удобного инструмента скрининга у пациентов на фоне химиотерапии [18].

В дополнение к выявлению тех, кто может быть подвержен риску фибрилляции предсердий, анализ ЭКГ с ГО можно использовать для оценки пациентов с риском лекарственно-индуцированного удлинения интервала QT. Удлинение интервала QT может привести к фатальным аритмиям, таким как *torsade de pointes*, которые могут вызвать внезапную сердечную смерть [19]. Путем выявления пациента с риском лекарственно-индуцированного удлинения интервала QT и последующего *torsade de pointes* может быть осуществлено немедленное вмешательство для предотвращения летального исхода. В области кардиоонкологии скрининг лиц с риском развития удлинения интервала QT и фатальных аритмий до их развития имеет решающее значение, поскольку многие методы лечения рака, такие как ингибиторы тирозинкиназы, связаны с удлинением интервала QT.

Быстрый рост современной мультимодальной визуализации ССС привел к получению огромного количества данных, которые изменили подход к лечению ССЗ. Разработка новых алгоритмов ИИ может открыть путь для исследований по улучшению отдаленного прогноза для онкологических пациентов, подверженных риску ССЗ. Применение ИИ в визуализации ССЗ продемонстрировало огромные перспективы с точки зрения диагностической поддержки и интерпретации изображений. Получение высококачественных изображений для использования в алгоритмах ИИ представляет собой уникальный набор проблем. Для этого требуются регистрация изображений и сегментация. Регистрация используется для выравнивания нескольких изображений, исправления артефактов, поворота изображения и обеспечения одинаковой ориентации всех изображений для создания согласованного и полного источника инфор-

мации. Сегментация – это процесс извлечения содержимого из изображений путем определения ориентиров, их сегментации на значимые сегменты и определения областей интереса. В литературе описаны передовые методы сегментации, управляемые ИИ, для различных методов визуализации [20]. После регистрации и сегментации соответствующих структур можно проводить автоматические измерения. Созданы многочисленные крупные национальные и международные многоцентровые базы данных изображений с одномоментной сегментацией, что делает их подходящими для приложений МО. Модель ГО (EchoNet), обученная на наборе данных из более чем 2,6 млн эхокардиографических изображений от 2850 пациентов, использовалась для идентификации локальных сердечных структур, оценки сердечной функции и прогнозирования системных факторов риска. Это говорит о том, что ИИ можно использовать для выявления эхокардиографических изменений у пациентов с КАХ. Эта теория исследована с использованием алгоритмов МО для выявления паттернов признаков деформации, наиболее сильно связанных с кардиотоксичностью, в продольном проспективном когортном исследовании 248 пациентов с раком молочной железы, получающих химиотерапию доксорубицином. Алгоритмы МО смогли выявить нарушения механики сердца, связанные со снижением ФВ ЛЖ в этой популяции [21].

Трансторакальная эхокардиография является важным инструментом в кардиоонкологии для оценки структуры ССС. В настоящее время эхокардиографическая оценка ФВ ЛЖ и глобальной продольной деформации (GLS) играет центральную роль в диагностике и мониторинге кардиотоксичности при проведении химиотерапии [22]. Однако существуют ограничения текущего рабочего процесса, такие как продолжительность анализа, изменчивость между операторами и наблюдателями, что может привести к антропогенным вариациям и ограниченной воспроизводимости. Кроме того, традиционная оценка ФВ ЛЖ и GLS способна отражать только кардиотоксичность миокарда на основе традиционных определений и может упустить более тонкие признаки дисфункции. В многочисленных исследованиях оценивалась интерпретация эхокардиограмм с использованием ИИ [23, 24]. В кардиоонкологии алгоритмы ИИ могут играть важную роль в эхокардиографии, причем их использование варьирует от классификации и реконструкции изображений, автоматизации сегментации и количественной оценки до прогнозирования риска с интеграцией демографических и медицинских данных, что потенциально может повлиять на эффективность, точность диагностики, воспроизводимость измерений и в конечном счете – прогноз для пациента. Такие методы ИИ, как МО, могут повысить эффективность ранней диагностики КАХ.

В рекомендациях Национальной комплексной онкологической сети пациентам с повышенным сердечно-сосудистым риском рекомендуется рутинная эхокардиография [25]. Однако эти рекомендации соблюдаются непоследовательно, и прогнозирование КАХ остается относительно уклончивым. Кроме того, с течением времени использовались различные определения кардиотоксичности, и некоторые из них являлись довольно дифференцированными, например снижение ФВ ЛЖ более чем на 10%, если ФВ ЛЖ остается $\geq 50\%$, или снижение на 5% баллов или более, если ФВ ЛЖ $< 50\%$. Кроме того, педиатрические когортные исследования онкологических заболеваний продемонстрировали различия в доступе и барьеры для соблюдения режима последующего наблюдения, связанные с расой/этнической принадлежностью, социально-экономическим и страховым статусом, географическим положением, поведенческими факторами. Данные аспекты затрудняют разработку моделей прогнозирования и алгоритмов ГО. Поэтому применение новых методов прогнозирования и раннего распознавания ССЗ в данной популяции пациентов имеет важное значение и потенциально может дать информацию о противоопухолевом режиме,

кардиопротекции и принятии решений относительно частоты динамичного наблюдения [26]. Несмотря на хорошо установленные клинические факторы риска, прогнозирование кардиотоксичности по-прежнему остается не до конца изученным. Из-за большой межиндивидуальной вариабельности и отсутствия данных относительно предикторов риска наш прогноз ССЗ у выживших после онкологических заболеваний остается неопределенным. Необходима разработка инновационных подходов для улучшения отдаленного прогноза у онкологических пациентов. Существует большая потребность в разработке неинвазивных и доступных методов исследований для раннего прогнозирования предикторов развития и прогрессирования ССО у пациентов с онкологическими заболеваниями. МО использует компьютерные алгоритмы, способные обучаться и адаптироваться без явных инструкций, путем анализа и вывода закономерностей в данных с использованием передовых статистических моделей для определения выходных данных. Например, автоматические измерения ФВ ЛЖ с использованием эхокардиографии с ИИ во время визитов в онкологический центр могут значительно упростить уход за пациентами, которым требуется серийная оценка ФВ ЛЖ. В FAST-EF, многоцентровом исследовании 255 пациентов, автоматизированные измерения ЛЖ являлись выполнимыми, быстрыми и воспроизводимыми по сравнению с визуальным и ручным биплановым методом Симпсона. Среднее время анализа для автоматических измерений ЛЖ пациента составило 8 ± 1 с, и не отмечено вариабельности между наблюдателями. Автоматизированные измерения деформации менее изучены. В исследовании 152 пациентов с HER2-положительным раком молочной железы, получавших таргетную терапию и антрациклины, с помощью ИИ получены автоматические показатели ФВ и GLS; эти измерения находились в близком соответствии (среднее стандартное отклонение значений деформации 1,2%) со стандартными значениями, полученными с помощью программного обеспечения при серийном эхокардиографическом мониторинге [27]. Раннее выявление дисфункции миокарда ЛЖ может дать возможность своевременно начать раннюю профилактику КАХ.

Раннее выявление снижения ФВ ЛЖ в основном использовалось для диагностики кардиотоксичности противоопухолевых препаратов. Рекомендации Американского общества эхокардиографистов и Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации рекомендуют усреднение пяти последовательных сокращений для расчета ФВ ЛЖ [28]. Однако на практике, поскольку измерение и расчет могут занять много времени, обычно для оценки ФВ ЛЖ используется одно репрезентативное сокращение. Это может привести к неточностям и вариациям в количественной оценке ФВ ЛЖ, поскольку она может иметь значительную вариативность от удара к удару. Между прочим, снижение ФВ на 10% представляет собой ту же самую величину изменения, которая используется для определения значительной кардиотоксичности, приводящей к потенциальной необходимости прерывания химиотерапии. Этот уровень изменчивости между операторами представляет серьезную проблему в кардиоонкологии. Ответ на эти вызовы лежит в автоматизации. В то время как программное обеспечение для визуализации улучшилось за последние несколько десятилетий и теперь включает в себя автоматическое контурирование ЛЖ, современные пакеты программного обеспечения, как правило, не могут оценить границу эндокарда с достаточной точностью в технически сложных исследованиях с субоптимальными изображениями. Наиболее многообещающим решением для сведения к минимуму вариабельности между операторами и улучшения воспроизводимости является эволюция ИИ. В недавнем исследовании Y. Deng и соавт. (2020 г.) показали, что с помощью ГО можно более точно и беспристрастно измерить ФВ ЛЖ [29]. Использование ИИ обеспечивает более

быструю сегментацию и количественную оценку, способствуя более эффективному, последовательному и точному количественному определению ФВ ЛЖ. Возможность получить более точные измерения ФВ ЛЖ может позволить достоверно выявить снижение ФВ ЛЖ на ранних стадиях субклинической дисфункции миокарда ЛЖ.

GLS предложена в качестве более чувствительного показателя для раннего выявления дисфункции миокарда до снижения ФВ ЛЖ. Последовательное измерение GLS ЛЖ может быть полезным при выборе химиотерапевтического режима. Тем не менее исследование, проведенное K. Farsalinos и соавт., выявило значительную изменчивость среди различных поставщиков ультразвуковых систем при измерении GLS [30]. В то время как GLS может быть более воспроизводимым и относительно более легким для получения по сравнению с ФВ ЛЖ, эти различия между поставщиками могут влиять на результаты GLS в различных практиках. X. Luo и соавт. (2020 г.) продемонстрировали, что использование алгоритма автоматической деформации с ГО может помочь согласовать эти различия [31]. Таким образом, использование ИИ может помочь облегчить измерение деформации, что приведет к более эффективному, стандартизированному и независимому от поставщиков методу для изображений различного качества. Кроме того, в отдельном исследовании I. Salte и соавт. (2021 г.) продемонстрировали аналогичный результат в уменьшении разброса измерений и предоставлении более эффективного способа количественной оценки деформации [32]. Более универсальное и последовательное измерение GLS с поддержкой ИИ может помочь в определении ранних признаков кардиотоксичности. В ноябре 2021 г. в статье, опубликованной в журнале «Circulation», сравнивался анализ GLS у кардиоонкологических пациентов с использованием платформы ИИ EchoGo с двумя конкурирующими платформами, использующими традиционные полуавтоматические методы. Результаты показали, что анализ продольной деформации на основе ИИ оказался возможен в 51/52 (98%) трансоракальных эхокардиографических исследованиях. Средняя продольная деформация составила $-17,3 \pm 3,3\%$ для EchoGo, $-16,9 \pm 2,4\%$ для TomTec и $-17,5 \pm 3,1\%$ для QLAB. Анализ Бленда-Альтмана показал погрешность $-0,4 \pm 2,7\%$ и 95% пределы от $-5,7$ до $4,9\%$ между продольной деформацией EchoGo и TomTec GLS. Замечена систематическая ошибка $0,2 \pm 3,3\%$ и 95% пределы от $-6,2$ до $6,6\%$ между продольной деформацией EchoGo и QLAB GLS. Смещение между TomTec GLS и QLAB GLS составило $0,6 \pm 2,2\%$. Коэффициенты корреляции между операторами TomTec GLS и QLAB GLS составили 0,57 и 0,71 соответственно [32]. Этот новый анализ продольной деформации на основе ИИ оказался возможен для большинства эхокардиограмм без участия оператора. Анализ деформации миокарда на основе ИИ может уменьшить вариабельность и облегчить длительное наблюдение за GLS у пациентов с кардиоонкологическими заболеваниями. Он пришел к выводу, что анализ деформации на основе ИИ с помощью EchoGo не только возможен без участия оператора, но также обеспечивает более раннее обнаружение и лучший прогноз у этих пациентов. Этот результат еще больше укрепляет идею о том, что ИИ можно использовать для стандартизации и точной стратификации риска популяций пациентов, коррелируя маркеры крови для ССО.

Если алгоритмы управления и измерения окажутся надежными, возможность получить ФВ ЛЖ и GLS у постели больного перед инфузией химиотерапии может стать перспективной полностью интегрированного и совместного подхода к кардиоонкологической помощи. Однако важным компонентом успеха этого рабочего процесса является необходимость поддерживать взаимодействие между кардиологами и онкологами для наилучшего ухода за кардиоонкологическими пациентами. Другие результаты эхокардиографии под контролем ИИ, такие как обнаружение внутрисердечных образований, перикардиальных вы-

потов и использование визуализации нижней полой вены для оценки давления в правом предсердии, могут оказаться полезными в кардиоонкологической популяции и являться актуальными направлениями текущих исследований.

Наконец, применение ИИ к системам архивации изображений позволяет дополнительно снизить затраты и повысить эффективность процессов за счет персонализированного расположения изображений на рабочих станциях, автоматизированного ввода данных в электронные медицинские записи и подготовки отчетов.

Заключение

Кардиоонкология стала относительно новой специальностью, направленной на профилактику и лечение ССО на фоне комбинированного лечения онкологических заболеваний. Тем не менее остаются проблемы в отношении точности и правильности прогнозирования лиц с самым высоким риском кардиотоксичности. Барьеры, такие как доступ к медицинской помощи, также ограничивают скрининг и раннюю диагностику КАХ для улучшения прогноза. Таким образом, разработка инновационных подходов к прогнозированию и раннему выявлению ССЗ в этой популяции имеет решающее значение.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Литература/References

1. Sturgeon K, Deng L, Bluethmann S, et al. A population-based study of cardiovascular disease mortality in US cancer patients. *Eur Heart J*. 2019;40(48):3889-97. DOI:10.1093/eurheartj/ehz766
2. Herrmann J. From trends to transformation: where cardio-oncology is to make a difference. *Eur Heart J*. 2019;40(48):3898-900. DOI:10.1093/eurheartj/ehz781
3. Curigliano G, Lenihan D, Fradley M, et al. Management of cardiac disease in cancer patients throughout oncological treatment: ESMO consensus recommendations. *Ann Oncol*. 2020;31(2):171-90. DOI:10.1016/j.annonc.2019.10.023
4. Müller O, Baldus C. Treatment recommendations in cardio-oncology: where are we? *Internist (Berl)*. 2020;61(11):1125-31. DOI:10.1007/s00108-020-00886-x
5. Iliescu C, Grines C, Herrmann J, et al. SCAI Expert consensus statement: Evaluation, management, and special considerations of cardio-oncology patients in the cardiac catheterization laboratory (endorsed by the cardiological society of India, and Sociedad Latino Americana de Cardiologia intervencionista). *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016;87(5):E202-23. DOI:10.1002/ccd.26379
6. Madan N, Lucas J, Akhter N, et al. Artificial intelligence and imaging: Opportunities in cardio-oncology. *Am Heart J Plus*. 2022;15:100126. DOI:10.1016/j.ahjplus.2022.100126
7. Dey D, Slomka P, Leeson P, et al. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73(11):1317-35. DOI:10.1016/j.jacc.2018.12.054
8. Sarker I. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Comput Sci*. 2021;2(3):160. DOI:10.1007/s42979-021-00592-x
9. Martinez D, Noseworthy P, Akbilgic O, et al. Artificial intelligence opportunities in cardio-oncology: Overview with spotlight on electrocardiography. *Am Heart J Plus*. 2022;15:100129. DOI:10.1016/j.ahjplus.2022.100129

10. Currie G, Hawk K, Rohren E, et al. Machine Learning and Deep Learning in Medical Imaging: Intelligent Imaging. *J Med Imaging Radiat Sci*. 2019;50(4):477-87. DOI:10.1016/j.jmir.2019.09.005
11. Zhou Y, Hou Y, Hussain M, et al. Machine Learning-Based Risk Assessment for Cancer Therapy-Related Cardiac Dysfunction in 4300 Longitudinal Oncology Patients. *J Am Heart Assoc*. 2020;9(23):e019628. DOI:10.1161/JAHA.120.019628
12. Cai C, Guo P, Zhou Y, et al. Deep Learning-Based Prediction of Drug-Induced Cardiotoxicity. *J Chem Inf Model*. 2019;59(3):1073-84. DOI:10.1021/acs.jcim.8b00769
13. Khurshid S, Friedman S, Reeder C, et al. ECG-Based Deep Learning and Clinical Risk Factors to Predict Atrial Fibrillation. *Circulation*. 2022;145(2):122-33. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.121.057480
14. Baek Y, Lee S, Choi W, Kim D. A new deep learning algorithm of 12-lead electrocardiogram for identifying atrial fibrillation during sinus rhythm. *Sci Rep*. 2021;11(1):12818. DOI:10.1038/s41598-021-92172-5
15. Yao X, Rushlow D, Inselman J, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiograms for identification of patients with low ejection fraction: a pragmatic, randomized clinical trial. *Nat Med*. 2021;27(5):815-9. DOI:10.1038/s41591-021-01335-4
16. Al Hinaï G, Jammoul S, Vajhi Z, Afilalo J. Deep learning analysis of resting electrocardiograms for the detection of myocardial dysfunction, hypertrophy, and ischaemia: a systematic review. *Eur Heart J Digit Health*. 2021;2(3):416-23. DOI:10.1093/ehjdh/ztab048
17. Attia Z, Kapa S, Yao X, et al. Prospective validation of a deep learning electrocardiogram algorithm for the detection of left ventricular systolic dysfunction. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2019;30(5):668-74. DOI:10.1111/jce.13889
18. Aedeenewo D, Carter R, Attia Z, et al. Artificial Intelligence-Enabled ECG Algorithm to Identify Patients With Left Ventricular Systolic Dysfunction Presenting to the Emergency Department With Dyspnea. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2020;13(8):e008437. DOI:10.1161/CIRCEP.120.008437
19. Salem J, Yang T, Moslehi J, et al. Androgenic Effects on Ventricular Repolarization: A Translational Study From the International Pharmacovigilance Database to iPSC-Cardiomyocytes. *Circulation*. 2019;140(13):1070-80. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.119.040162
20. Ghesu F, Georgescu B, Zheng Y, et al. Multi-Scale Deep Reinforcement Learning for Real-Time 3D-Landmark Detection in CT scans. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2019;41(1):176-89. DOI:10.1109/TPAMI.2017.2782687
21. Ghorbani A, Ouyang D, Abid A, et al. Deep learning interpretation of echocardiograms. *NPJ Digit Med*. 2020;3:10. DOI:10.1038/s41746-019-0216-8
22. Plana J, Galderisi M, Barac A, et al. Expert consensus for multimodality imaging evaluation of adult patients during and after cancer therapy: a report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014;15(10):1063-93. DOI:10.1093/ehjci/jeu192
23. Oikonomou E, Kokkinidis D, Kampaktis P, et al. Assessment of Prognostic Value of Left Ventricular Global Longitudinal Strain for Early Prediction of Chemotherapy-Induced Cardiotoxicity: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Cardiol*. 2019;4(10):1007-18. DOI:10.1001/jamacardio.2019.2952
24. Tabassian M, Sunderji I, Erdei T, et al. Diagnosis of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction: Machine Learning of Spatiotemporal Variations in Left Ventricular Deformation. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018;31(12):1272-84.e9. DOI:10.1016/j.echo.2018.07.013
25. Ruddy K, Sangaralingham L, Van Houten H, et al. Utilization of Cardiac Surveillance Tests in Survivors of Breast Cancer and Lymphoma After Anthracycline-Based Chemotherapy. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2020;13(3):e005984. DOI:10.1161/CIRCOUTCOMES.119.005984
26. Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, et al. Fully Automated Echocardiogram Interpretation in Clinical Practice. *Circulation*. 2018;138(16):1623-35. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034338
27. Knackstedt C, Bekkers S, Schummers G, et al. Fully Automated Versus Standard Tracking of Left Ventricular Ejection Fraction and Longitudinal Strain: The FAST-EFs Multicenter Study. *J Am Coll Cardiol*. 2015;66(13):1456-66. DOI:10.1016/j.jacc.2015.07.052
28. Dobson R, Ghosh A, Ky B, et al. BSE and BCOS Guideline for Transthoracic Echocardiographic Assessment of Adult Cancer Patients Receiving Anthracyclines and/or Trastuzumab. *JACC CardioOncol*. 2021;3(1):1-16. DOI:10.1016/j.jacc.2021.01.011
29. Deng Y, Cai P, Zhang L, et al. Myocardial strain analysis of echocardiography based on deep learning. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:1067760. DOI:10.3389/fcvm.2022.1067760
30. Farsalinos K, Daraban A, Ünlü S, et al. Head-to-Head Comparison of Global Longitudinal Strain Measurements among Nine Different Vendors: The EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison Study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(10):1171-e2. DOI:10.1016/j.echo.2015.06.011
31. Luo X, Gan W, Wang L, et al. A Deep Learning Prediction Model for Structural Deformation Based on Temporal Convolutional Networks. *Comput Intell Neurosci*. 2021;2021:8829639. DOI:10.1155/2021/8829639
32. Salte I, Ostvik A, Smistad E, et al. Artificial Intelligence for Automatic Measurement of Left Ventricular Strain in Echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2021;14(10):1918-28. DOI:10.1016/j.jcmg.2021.04.018

Статья поступила в редакцию /
The article received:

02.03.2023

Статья принята к печати /

The article approved for publication:
27.03.2023

