

DOI: <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-2-71-77>

РОЛЬ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В КАРДИООНКОЛОГИИ

З.З. Иванова¹, С.А. Александрова¹, П.А. Зейналова^{2,3}, А.А. Ахобеков²¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России; Россия, 121552 Москва, Рублевское шоссе, 135;²Клинический госпиталь «Лапино» группы компаний «Мать и дитя»; Россия, 143081 Московская обл., д. Лапино, 1-е Успенское шоссе, 111;³ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, (Сеченовский Университет); Россия, 119991 Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2**Контакты:** Альберт Амалиевич Ахобеков alber-t7@mail.ru

В последние десятилетия появились прорывные методы диагностики и лечения, благодаря чему продолжительность жизни больных со злокачественными новообразованиями значительно увеличилась. Среди пациентов, вылеченных от рака, сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смертности, не связанной с раком. Раннее выявление кардиотоксичности имеет важное значение, поскольку позволяет проводить раннюю профилактику и модифицировать схемы противоопухолевого лечения. Профилактика и лечение кардиотоксичности возможны только при функционировании мультидисциплинарной команды, включающей онкологов и кардиологов. Большое значение в мониторинге состояния сердечно-сосудистой системы на фоне противоопухолевого лечения имеет магнитно-резонансная томография сердца. Это исследование дает возможность получать точную характеристику тканей и оценивать перфузию миокарда без радиационной нагрузки.

Ключевые слова: кардиоонкология, противоопухолевая терапия, кардиотоксичность, мультидисциплинарная команда, магнитно-резонансная томография

Для цитирования: Иванова З.З., Александрова С.А., Зейналова П.А., Ахобеков А.А. Роль магнитно-резонансной томографии в кардиоонкологии. MD-Onco 2024;4(2):71–7.

DOI: <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-2-71-77>

THE ROLE OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN CARDIO-ONCOLOGY

Z.Z. Ivanova¹, S.A. Alexandrova¹, P.A. Zeynalova^{2,3}, A.A. Akhobekov²¹A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Ministry of Health of Russia; 135 Rublevskoe Shosse, 121552 Moscow, Russia;²Clinical Hospital “Lapino” of the “Mother and Child” Group of companies; 111 1st Uspenskoe Shosse, Lapino, Moscow region 143081, Russia;³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University); Bld. 2, 8 Trubetskaya St., Moscow 119991, Russia**Contacts:** Albert Amalievich Akhobekov alber-t7@mail.ru

In recent decades, groundbreaking methods of diagnosis and treatment were developed leading to significantly increased life span of patients with malignant neoplasms. Among patients treated for cancer, cardiovascular diseases are the leading cause of death not associated with cancer. Early identification of cardiotoxicity is very important as it allows to apply early prevention measures and modify antitumor treatment schemes. Prevention and treatment of cardiotoxicity are possible only with a functioning multidisciplinary team including oncologists and cardiologists. Magnetic resonance imaging of the heart plays a significant role in monitoring the condition of cardiovascular system during antitumor treatment. This technique allows to obtain accurate characteristics of the tissues and evaluate myocardial perfusion without radiation exposure.

Keywords: cardio-oncology, antitumor therapy, cardiotoxicity, multidisciplinary team, magnetic resonance imaging

For citation: Ivanova Z.Z., Alexandrova S.A., Zeynalova P.A., Akhobekov A.A. The role of magnetic resonance imaging in cardio-oncology. MD-Onco 2024;4(2):71–7. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-2-71-77>

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование методов ранней диагностики и лечения привело к увеличению продолжительности жизни больных со злокачественными новообразованиями (ЗНО). Так, в США число пациентов, успешно прошедших лечение ЗНО, составляет ~17 млн человек. В следующие 10 лет прогнозируется увеличение числа таких пациентов на 31 %, при этом, по прогнозам, к 2030 г. более 22 млн человек вылечатся от рака [1]. В последние десятилетия кардиологи и онкологи представили клинические и экспериментальные доказательства того, что ЗНО, а также их лечение, оказывают негативное воздействие на сердечно-сосудистую систему, что создает существенные проблемы для курации данной категории пациентов. Параллельно с этим все большее внимание получает идея о том, что сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) могут представлять собой проонкогенное состояние.

Среди пациентов, вылеченных от рака, ССЗ являются ведущей причиной смертности, не связанной с раком. Эпидемиологические данные свидетельствуют о повышенном риске ЗНО у пациентов с ССЗ. В связи с этим становится важным тесное сотрудничество между кардиологами и онкологами для оказания помощи, ориентированной на пациента, и все чаще такая помощь осуществляется через специализированные кардиоонкологические службы в целях улучшения исходов как ССЗ, так и онкологических заболеваний [2]. Большое значение в кардиоонкологии имеет доступность мультимодальной визуализации сердца для своевременной диагностики сердечной патологии у онкологических больных. В рекомендациях Европейского общества кардиологов (ЕОК) магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца отводится важная роль в оценке сердечно-сосудистой системы при разных кардиальных патологиях [3].

РОЛЬ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ СЕРДЦА У ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ

Работу с кардиоонкологическими пациентами можно в целом разделить на следующие этапы:

- стратификация риска до лечения;
- диагностика и мониторинг кардиотоксичности во время противораковой терапии;
- скрининг отдаленных результатов после завершения лечения.

Методы визуализации, которые позволяют точно и надежно предсказывать или обнаруживать начальные отклонения в работе сердечно-сосудистой системы, все чаще требуются для оказания кардиоонкологической помощи. Важность такого подхода заключается в возможности своевременной профилактики и лечения ССЗ у онкологических больных.

Выбор метода визуализации в кардиоонкологии часто обусловлен его доступностью и опытом приме-

нения, однако, учитывая спектр встречающейся кардиотоксичности, следует использовать наиболее подходящий метод диагностики в зависимости от конкретной клинической ситуации. ЕОК определены несколько основных принципов визуализации в качестве скрининга и для выявления кардиотоксичности во время лечения рака:

- использование одного и того же метода визуализации на протяжении всего процесса скрининга и последующего наблюдения;
- использование метода с высокой воспроизводимостью и чувствительностью для выявления доклинических отклонений;
- минимизация радиации;
- использование метода, который может предоставить информацию о функции сердца, помимо количественного определения фракции выброса [4].

Магнитно-резонансная томография сердца идеально подходит для реализации этих задач, а также позволяет получить характеристику тканей и оценить перфузию миокарда, что увеличивает объем полезной информации, доступной при одном сканировании. МРТ сердца с введением гадолиний-содержащих препаратов приобретает все большее значение в международных рекомендациях по кардиологии и онкологии и получает широкое применение в кардиоонкологии.

Стратификация сердечно-сосудистого риска до начала противоопухолевой терапии

Стратификация сердечно-сосудистого риска (ССР) включает оценку кардиологического анамнеза и факторов риска, всестороннее понимание предшествующей и запланированной противоопухолевой терапии, а также определение исходных лабораторно-инструментальных параметров, включая визуализацию сердца. Стратификация ССР у онкологических больных до начала противоопухолевого лечения имеет жизненно важное значение для проведения персонализированной терапии рака и минимизации развития кардиотоксичности.

Для использования большинства кардиотоксических препаратов перед началом лечения требуется базовая оценка сердечной функции. Эхокардиография (ЭхоКГ), как правило, является методом диагностики 1-й линии и на исходном уровне, и во время наблюдения. Выявление субклинической или симптоматической сердечной дисфункции может напрямую влиять как на выбор химиотерапевтического препарата, так и на начало кардиопротективной терапии (в случаях, когда это целесообразно), а также на частоту наблюдения.

Магнитно-резонансная томография сердца рекомендуется для оценки ССР у пациентов с плохим качеством данных на эхокардиографических изображениях и пациентов со сложной кардиальной патоло-

гией или в тех случаях, когда может быть полезна оценка перфузии миокарда. МРТ сердца также является «золотым стандартом» исследования для определения морфофункциональных особенностей правого желудочка. Это особенно важно в кардиоонкологии с учетом того, что у 30 % пациентов после лечения трастузумабом и у такого же числа пациентов, получивших противоопухолевую терапию кардиотоксичными препаратами в детстве, отмечается дисфункция правого желудочка [5, 6].

Мониторинг кардиотоксичности

Сердечная дисфункция, связанная с противоопухолевой терапией (кардиотоксичность), — давно установленный побочный эффект антрациклинов, при котором может развиваться прогрессирующая дозозависимая дисфункция левого желудочка (ЛЖ), что в конечном итоге приводит к сердечной недостаточности с высоким риском летального исхода [7]. Пациенты с традиционными сердечно-сосудистыми факторами риска, такими как пожилой возраст, гипертоническая болезнь, сахарный диабет и ранее существовавшая дисфункция ЛЖ, оказываются в группе высокого и очень высокого риска развития кардиотоксичности. Помимо антрациклинов, применение трастузумаба и других моноклональных антител, ингибиторов тирозинкиназы и проведение иммунотерапии также связаны с дисфункцией ЛЖ. Фракция выброса (ФВ) ЛЖ является наиболее распространенным параметром, используемым для наблюдения и раннего выявления кардиотоксичности, что позволяет своевременно начать кардиопротективную терапию. Текущие рекомендации ЕОК определяют кардиотоксичность как абсолютное снижение ФВ ЛЖ $>10\%$ или до значения $<50\%$ при относительном снижении глобальной продольной деформации (global longitudinal strain, GLS) $>15\%$, что считается ранним маркером кардиотоксичности. Такие показатели должны побудить клиницистов рассмотреть вопрос о назначении кардиопротекторных препаратов и/или пересмотреть противоопухолевую терапию. Исторически ФВ ЛЖ оценивали с помощью ЭхоКГ и радионуклидной ангиографии методом MUGA (multi-gated acquisition) из-за их широкой доступности и хорошей воспроизводимости [8, 9]. Однако по сравнению с МРТ радионуклидная ангиография, как было показано, приводит к неправильной классификации кардиотоксичности у 35 % пациентов, требует применения ионизирующего излучения и не дает дополнительной информации о других структурах сердца и функциональных параметрах. ЭхоКГ, хотя и широко доступна, ограничена геометрическими неточностями, а количественная оценка ФВ ЛЖ у пациентов с плохим акустическим окном (например, после мастэктомии) может быть ошибочной [10, 11]. Наряду с точностью, важное значение для скрининга функции

сердца имеет прецизионность. Это необходимо как для обеспечения раннего выявления и лечения субклинической кардиотоксичности, так и для предотвращения необоснованного прекращения лечения рака из-за ложного обнаружения нарушения сердечной функции. Вариабельность теста-ретеста ЭхоКГ-оценки ФВ ЛЖ у пациентов, проходящих химиотерапию по поводу рака молочной железы, может достигать 10 %, что ставит под сомнение его способность обнаруживать 10-процентное изменение, необходимое для точной диагностики кардиотоксичности. Трехмерная ЭхоКГ снижает временную вариабельность ($\sim 6\%$), но по-прежнему сильно зависит от акустического окна, и следовательно, может быть осуществима только у 2/3 пациентов после химиотерапии. Временная вариабельность ФВ ЛЖ, полученная с помощью МРТ, низкая — 2,4–7,3 %, а в недавней работе продемонстрировано, что она имеет самую высокую воспроизводимость по сравнению с ЭхоКГ [12].

Высокая стоимость МРТ сердца в сочетании с меньшей доступностью по сравнению с ЭхоКГ ограничила ее клиническое применение для скринингового наблюдения за пациентами в тех ситуациях, когда выполнение ЭхоКГ невозможно. Тем не менее более высокая точность МРТ для целей серийного скрининга может позволить снизить частоту наблюдения, а данные об экономической эффективности демонстрируют возможность наблюдения за пациентами, перенесшими рак в детстве. Быстрые сфокусированные протоколы МРТ без контрастного усиления, направленные на мониторинг кардиотоксичности, используются все чаще, что обеспечивает более дешевый, экономически эффективный скрининг для пациентов с высоким риском, подвергающихся интенсивному мониторингу. Недавнее внедрение алгоритмов машинного обучения для автоматического анализа ФВ ЛЖ на основе изображений МРТ, вероятно, еще больше улучшит точность наблюдения и, как было показано, сократит время анализа изображений в среднем с 13 до 0,07 мин. В совокупности эти разработки упрощают использование МРТ сердца, играя все более заметную роль в мониторинге кардиотоксичности [12].

Деформация миокарда. Снижение ФВ ЛЖ является относительно поздним маркером дисфункции миокарда и плохо коррелирует с повреждением миокарда, оцененным по данным биопсии. С учетом того, что ФВ ЛЖ может быть нормальной, несмотря на значительное повреждение миокарда на ранних стадиях кардиотоксичности, необходимы альтернативные, более чувствительные маркеры визуализации, чтобы обеспечить более раннюю диагностику и лечение. Снижение деформации миокарда (включая GLS) предшествует снижению ФВ ЛЖ, и оценка деформации миокарда рекомендуется многими руководствами для включения в ЭхоКГ-наблюдение при кардиоток-

сичности. Снижение пиковой GLS, полученной с помощью ЭхоКГ, более чем на 15 % свидетельствует о кардиотоксичности, и недавно завершённое исследование SUCCOUR (Strain Surveillance of Chemotherapy for Improve Cardiovascular Outcomes) подтвердило возможность использования GLS-контролируемого подхода для наблюдения за развитием кардиотоксичности в тяжёлых клинических случаях [13, 14].

При измерении деформации миокарда с помощью МРТ ранее использовали различные методы, включая маркировку, кодирование смещения с помощью стимулированных эхосигналов (DENSE) и визуализацию с кодированием деформации (SENC). Однако они требуют специального сбора параметров с дополнительной постобработкой и никогда не использовались в клиническом масштабе. Разработка быстрой визуализации с кодированием деформации (fast-SENC) позволяет в режиме реального времени регистрировать деформацию миокарда в пределах одного сердечного сокращения и может применяться для раннего выявления кардиотоксичности с использованием программного обеспечения для анализа MyoStrain [15, 16].

Характеристика ткани миокарда с помощью МРТ позволяет исследовать многие процессы патофизиологии кардиотоксичности, включая определение отека и воспаления миокарда с использованием T2-взвешенных изображений, новых методик T1-, T2-картирования, оценку диффузного фиброза с помощью T1-взвешенных изображений и измерения фракции внеклеточного объема (ФВО), а также оценку очагового фиброза и количественную оценку рубцов с помощью введения гадолиний-содержащего контрастного препарата.

Магнитно-резонансная томография сердца во время лечения антрациклинами показала, что результаты новых методик картирования варьируют в зависимости от времени визуализации в период терапии, хотя ФВО обычно повышается после завершения лечения у пациентов с кардиотоксичностью. Повышенные значения T2 по сравнению с контрольной группой были продемонстрированы вскоре после начала терапии рака (<3 мес), а недавнее исследование на свиньях показало увеличение времени релаксации T2 до каких-либо значимых изменений в T1, ФВО или функции миокарда после введения доксорубина, и эти результаты коррелировали с данными гистологического исследования внутрикардиомиоцитарного отека. Следует отметить, что у животных, у которых лечение доксорубином было приостановлено при увеличении значений T2, не было последующих изменений T1, ФВО или ФВ ЛЖ. Напротив, у животных, которым продолжали терапию доксорубином, ФВ ЛЖ снижалась, а T1 и ФВО увеличивались, что подтверждало гистологические признаки интерстициального фиброза. Таким образом, T2-картирование может служить

маркером кардиотоксичности на стадии, когда повреждение миокарда является обратимым, и, следовательно, имеет большие перспективы в этой области.

В исследованиях отдаленных эффектов антрациклинов у пациентов, получавших терапию 6 лет назад, были обнаружены более высокие значения ФВО, чем у контрольной группы, и это не зависело от вида рака или ССЗ [16].

Таким образом, характеристика тканей с использованием картирования T1, T2 и ФВО может послужить дополнительным ранним маркером кардиотоксичности и дать представление о лежащей в ее основе патофизиологии.

Масса ЛЖ, измеренная с помощью МРТ, снижается после применения антрациклинов и является дополнительным маркером кардиотоксичности. Индексированная масса ЛЖ имеет обратную зависимость от дозы антрациклина и независимо связана с неблагоприятными сердечно-сосудистыми событиями в этой группе пациентов. Клеточная основа снижения массы ЛЖ (атрофия миоцитов по сравнению с потерей миоцитов) была изучена с помощью МРТ у пациентов до, во время и после антрациклиновой терапии с использованием показателей ФВО и массы ЛЖ. Показано, что снижение массы ЛЖ во время лечения составляет не менее 40 % из-за уменьшения размера кардиомиоцитов, хотя это частично компенсируется увеличением ФВО. Аналогичные результаты были получены в экспериментальных исследованиях на животных, показавших, что атрофия миоцитов связана со снижением массы ЛЖ во время лечения антрациклинами [16].

Миокардит. Наряду с кардиотоксичностью, сопровождающейся сердечной недостаточностью, лечение рака связано с другими неблагоприятными сердечно-сосудистыми эффектами. Несколько классов противоопухолевых препаратов связаны с развитием острого миокардита, при этом наибольшее внимание в настоящее время уделяется ингибиторам иммунных контрольных точек, которые значительно улучшили результаты лечения многих видов рака, однако на фоне терапии прослеживаются редкие, но жизнеугрожающие побочные эффекты. Миокардит был зарегистрирован у 1,16 % пациентов в начале (в среднем 34 дня) курса терапии ингибиторами иммунных контрольных точек с серьезными неблагоприятными сердечными событиями (major adverse cardiovascular events) почти у половины пациентов.

Многие клинические руководства рассматривают МРТ как «золотой стандарт» методов диагностики миокардита, при этом текущие рекомендации включают как T2-взвешенные последовательности (для оценки отека), так и T1-последовательности, ФВО и отсроченное контрастирование с введением гадолиния (для выявления фиброзных изменений) в диагностические критерии [17–19].

Эндомиокардит Леффлера — редко встречающееся приобретенное заболевание сердца, характеризующееся поражением эндокарда и миокарда, нарушением диастолической функции по рестриктивному типу и пристеночным тромбообразованием одного или обоих желудочков. По гемодинамике эндокардит Леффлера представляет собой классическую рестриктивную кардиомиопатию, по патогенезу — следствие гиперэозинофильного синдрома, развивающегося при ряде онкогематологических заболеваний.

Магнитно-резонансная томография является основным диагностическим методом, используемым для оценки эндокардита Леффлера. Этот метод более чувствителен и специфичен, чем трансторакальная и чреспищеводная ЭхоКГ для диагностики утолщения эндомиокарда и пристеночного тромба желудочков. МРТ сердца с контрастным усилением следует проводить для визуализации фиброза миокарда и воспаления [20, 21].

Синдром Такоцубо. Кардиомиопатия Такоцубо чаще встречается у больных раком и связана с многочисленными химиотерапевтическими препаратами, включая фторпиримидины и ингибиторы тирозинкиназы. Точные патофизиологические механизмы, лежащие в основе этих кардиотоксических эффектов, до конца не изучены. МРТ является важным методом в диагностике синдрома Такоцубо, нарушения сократительной способности апикальных отделов ЛЖ, подъемов значений T1- и T2-карт; кроме того, отсутствие накопления гадолиния в отсроченную фазу контрастирования в высокой степени указывает на кардиомиопатию Такоцубо [22]. Дифференциальная диагностика между ишемической болезнью сердца и кардиомиопатией Такоцубо дает возможность выбрать правильную тактику лечения.

Ишемическая болезнь сердца. Известно, что некоторые химиотерапевтические препараты вызывают ишемию миокарда и повышают риск коронарных событий. В краткосрочной перспективе фторпиримидины, соединения на основе платины, тирозинкиназы и ингибиторы фактора роста эндотелия сосудов, а также ингибиторы иммунных контрольных точек могут привести к острой ишемии миокарда и инфаркту миокарда вследствие спазма коронарных сосудов, повреждения эндотелия и тромбоза артерий. Предварительная лучевая терапия средостения может привести к ускорению развития атеросклероза и 4–7-кратному увеличению риска ишемической болезни сердца по сравнению с общей популяцией, что может проявляться через 15–20 лет после лечения.

Стресс-МРТ с аденозином хорошо зарекомендовала себя в оценке как острой, так и хронической ишемической болезни сердца, а новые методы картирования перфузии позволяют проводить прямую количественную оценку резерва перфузии миокарда и диагностики микрососудистых заболеваний. Несмотря на то что

конкретных доказательств эффективности перфузионной МРТ с нагрузкой при онкологических заболеваниях недостаточно, она рекомендуется как для исходной стратификации ССР у пациентов с высоким риском перед введением препаратов, связанных с коронарными событиями, так и перед обширной операцией по поводу ЗНО, а также для оценки состояния пациентов с болью в груди и кардиотоксичностью во время лечения. Использование стресс-визуализации для скрининга поздних эффектов у выживших после лучевой терапии было рекомендовано, но широко не применяется [23].

Оценка заболеваний перикарда с помощью МРТ включает получение анатомической информации (T1-взвешенные изображения темной крови с подавлением сигнала от жировой ткани и без него), а также функциональную оценку (кинорежим, кинорежим в реальном времени и во время дыхания, меченый миокард) и характеристику ткани. Тканевая характеристика также полезна для оценки перикардального заболевания у онкологических больных с острым перикардитом, а T1-картирование выпота может помочь различать этиологию (транссудат, экссудат или геморагическая жидкость).

Клапанные пороки сердца. Пороки клапанов сердца являются частым осложнением лучевой терапии средостения и могут поражать до 10 % пациентов, хотя при использовании современных методов облучения это число значительно сократилось. ЭхоКГ — исследование 1-й линии у пациентов с подозрением на клапанное заболевание, но МРТ может предоставить дополнительную информацию, особенно если ЭхоКГ-данные противоречивы или неадекватны. МРТ позволяет оценить морфологию клапана, измерить объемы и функцию ЛЖ и правого желудочка, предсердий, а также количественно оценить клапанные потоки и скорости с помощью фазово-контрастных методов [24].

Инфильтративная кардиомиопатия. Два вида инфильтративных кардиомиопатий обычно распознаются у пациентов со ЗНО: сердечный амилоидоз и гемосидероз.

Амилоидоз с отложением амилоида легкой цепи (AL) может наблюдаться у пациентов с миеломой или другими гематологическими ЗНО, а поражение сердца может быть первым проявлением симптомов рестриктивной кардиомиопатии. Характерные признаки, выявляемые при МРТ, включают утолщение стенки ЛЖ, нарушение кинетики гадолиния, субэндокардиальное или трансмуральное накопление гадолиния в отсроченную фазу. Отложение амилоида также приводит к расширению интерстициального пространства, что обуславливает значительное повышение значений T1 и ФВО — эти данные могут быть использованы при дифференциации других рестриктивных кардиомиопатий, а также выступают в качестве мощного прогностического маркера.

Результаты МРТ могут позволить клиницистам отказаться от эндомикардиальной биопсии, если данные для диагностики тканей с целью типирования амилоида будут доступны из других источников.

Кардиомиопатия с перегрузкой железом (гемосидероз) возникает в результате частых переливаний крови при гематологических ЗНО. Отложение железа в миокарде приводит к прогрессирующему снижению систолической функции ЛЖ, которое может быть остановлено с помощью хелатотерапии. Перегрузку миокарда железом по данным МРТ можно определить на основании дефазировки сигнала с укорочением значений T2* и T1, поэтому МРТ сердца с применением карт может использоваться для мониторинга перегрузки железом и регулирования хелатирующей терапии у пациентов с гематологическими заболеваниями с риском перегрузки железом [25, 26].

Сердечные массы и опухоли. Всесторонняя оценка сердечных масс требует информации об анатомии, взаимосвязи с соседними структурами, функции (включая обструкцию или окклюзию сердечно-сосудистых структур), а также характеристике ткани, включая васкуляризацию. МРТ идеально подходит для неинвазивного обследования образований сердца, хотя обычно требуется гистологическое исследование для окончательного диагноза при подозрении на ЗНО. При этом протоколы МРТ сердца обычно включают оценку анатомии в режимах темной и яркой крови, кинорежим для оценки функциональных параметров, характеристики ткани с использованием T1- (с насыщением жиром и без него) и T2-взвешенные последовательности, перфузию в покое, а также раннюю и позд-

нюю отсроченные фазы контрастирования. Сердечные тромбы, как правило, легко выявляются в раннюю отсроченную фазу контрастирования и обычно наблюдаются у онкологических больных с установленными центральными венозными катетерами [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Раннее выявление кардиотоксичности имеет жизненно важное значение и позволяет проводить раннюю профилактическую терапию и модифицировать схемы противоопухолевого лечения. Выживаемость при раке продолжает улучшаться по мере появления новых таргетных химиотерапевтических агентов. Роль кардиоонкологов расширяется с признанием кардиотоксичности, связанной с противоопухолевыми агентами, и того факта, что сердечно-сосудистые события являются основной причиной смерти у выживших от рака. Задачи кардиоонкологической бригады состоят в том, чтобы выявить и предотвратить развитие кардиотоксичности, начать соответствующее лечение и организовать наблюдение для вторичной профилактики. Центральное место в кардиоонкологии занимает растущая потребность в ряде неинвазивных маркеров (как крови, так и изображений), которые должны быть точными и воспроизводимыми, чтобы обеспечить персонализированную стратификацию ССР, которая позволит проводить раннее вмешательство для снижения заболеваемости и смертности. МРТ сердца обеспечивает воспроизводимую оценку структуры и функции сердца, дает характеристику ткани, которую можно использовать для диагностики и наблюдения, а также способствует нашему пониманию лежащей в основе патофизиологии кардиотоксичности [28, 29].

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sturgeon K.M., Deng L., Bluethmann S.M. et al. A population-based study of cardiovascular disease mortality risk in US cancer patients. *Eur Heart J* 2019;40(48):3889–97. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz766
2. Armstrong G.T., Liu Q., Yasui Y. et al. Late mortality among 5-year survivors of childhood cancer: a summary from the Childhood Cancer Survivor Study. *J Clin Oncol* 2009;27(14):2328–38. DOI: 10.1200/JCO.2008.21.1425
3. Plana J.C., 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
4. Zamorano J.L., Lancellotti P., Rodriguez Muñoz D. et al. 2016 ESC Position Paper on cancer treatments and cardiovascular toxicity developed under the auspices of the ESC Committee for Practice Guidelines: The Task Force for cancer treatments and cardiovascular toxicity of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2016;37(36):2768–801. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw211
5. Armenian S.H., Hudson M.M., Mulder R.L. et al. Recommendations for cardiomyopathy surveillance for survivors of childhood cancer: a report from the International Late Effects of Childhood Cancer Guideline Harmonization Group. *Lancet Oncol* 2015;16(3):e123–36. DOI: 10.1016/S1470-2045(14)70409-7
6. Seidman A., Hudis C., Pierri M.K. et al. Cardiac dysfunction in the trastuzumab clinical trials experience. *J Clin Oncol* 2002;20(5):1215–21. DOI: 10.1200/JCO.2002.20.5.1215
7. Schwartz R.G., McKenzie W.B., Alexander J. et al. Congestive heart failure and left ventricular dysfunction complicating doxorubicin therapy. Seven-year experience using serial radionuclide angiocardiology. *Am J Med* 1987;82(6):1109–18. DOI: 10.1016/0002-9343(87)90212-9
8. Thavendiranathan P., Grant A.D., Negishi T. et al. Reproducibility of echocardiographic techniques for sequential assessment of left ventricular ejection fraction and volumes: application to patients undergoing cancer chemotherapy. *J Am Coll Cardiol* 2013;61(1):77–84. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.09.035
9. Otterstad J.E., Froeland G., St John Sutton M., Holme I. Accuracy and reproducibility of biplane two-dimensional echocardiographic

- measurements of left ventricular dimensions and function. *Eur Heart J* 1997;18(3):507–13. DOI: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015273
10. Armstrong G.T., Plana J.C., Zhang N. et al. Screening adult survivors of childhood cancer for cardiomyopathy: comparison of echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. *J Clin Oncol* 2012;30(23):2876–84. DOI: 10.1200/JCO.2011.40.3584
 11. Bellenger N.G., Burgess M.I., Ray S.G. et al. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance; are they interchangeable? *Eur Heart J* 2000;21(16):1387–96. DOI: 10.1053/euhj.2000.2011
 12. Grothues F., Smith G.C., Moon J.C. et al. Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol* 2002;90(1):29–34. DOI: 10.1016/s0002-9149(02)02381-0
 13. Suerken C.K., D'Agostino R.B. Jr., Jordan J.H. et al. Simultaneous left ventricular volume and strain changes during chemotherapy associate with 2-year postchemotherapy measures of left ventricular ejection fraction. *J Am Heart Assoc* 2020;9(2):e015400. DOI: 10.1161/JAHA.119.015400
 14. Negishi T., Thavendiranathan P., Negishi K., Marwick T.H. Rationale and design of the strain surveillance of chemotherapy for improving cardiovascular outcomes: the SUCCOUR trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018;11(8):1098–105. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.03.019
 15. Steen H., Montenbruck M., Wuelfing P. et al. P318CMR Fast-SENC intramyocardial LV & RV segmental strain detects cardiotoxicity during oncology treatment and impact of cardioprotection therapy before echocardiography. *Eur Heart J* 2019;40(Suppl_1):ehz745.0193. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz745.0193
 16. Jolly M.P., Jordan J.H., Meléndez G.C. et al. Automated assessments of circumferential strain from cine CMR correlate with LVEF declines in cancer patients early after receipt of cardio-toxic chemotherapy. *J Cardiovasc Magn Reson* 2017;19(1):59. DOI: 10.1186/s12968-017-0373-3
 17. Salem J.E., Manouchehri A., Moey M. et al. Cardiovascular toxicities associated with immune checkpoint inhibitors: an observational, retrospective, pharmacovigilance study. *Lancet Oncol* 2018;19(12):1579–89. DOI: 10.1016/S1470-2045(18)30608-9
 18. Johnson D.B., Balko J.M., Compton M.L. et al. Fulminant myocarditis with combination immune checkpoint blockade. *N Engl J Med* 2016;375(18):1749–55. DOI: 10.1056/NEJMoa1609214
 19. Zhang L., Awadalla M., Mahmood S.S. et al. Cardiovascular magnetic resonance in immune checkpoint inhibitor-associated myocarditis. *Eur Heart J* 2020;7;41(18):1733–43. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa051
 20. Скрыбина Е.Н., Сафонова В.Н., Агарева Т.А. Редкий случай эндокардита Леффлера как проявление эозинофильного гранулематоза с полиангиитом. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2017;13(4):823–8.
 21. Scriabina E.N., Safonova V.N., Agareva T.A. A rare case of Loeffler endocarditis associated with eosinophilic granulomatosis with polyangiitis. *Saratovskiy nauchnomeditsinskiy zhurnal = Saratov Scientific Medical Journal* 2017;13(4):823–8. (In Russ.).
 22. Allderdice C., Marcu C., Kabirdas D. Intracardiac thrombus in leukemia: role of cardiac magnetic resonance imaging in eosinophilic myocarditis. *CASE (Phila)* 2018 Jun;2(3):114–7. DOI: 10.1016/j.case.2017.12.003
 23. Plácido R., Cunha Lopes B., Almeida A.G., Rochitte C.E. The role of cardiovascular magnetic resonance in takotsubo syndrome. *J Cardiovasc Magn Reson* 2016;18(1):68. DOI: 10.1186/s12968-016-0279-5
 24. Engblom H., Xue H., Akil S. et al. Fully quantitative cardiovascular magnetic resonance myocardial perfusion ready for clinical use: a comparison between cardiovascular magnetic resonance imaging and positron emission tomography. *J Cardiovasc Magn Reson* 2017;19(1):78. DOI: 10.1186/s12968-017-0388-9
 25. Chaosuwanakit N., D'Agostino R. Jr., Hamilton C.A. et al. Aortic stiffness increases upon receipt of anthracycline chemotherapy. *J Clin Oncol* 2010;28(1):166–72. DOI: 10.1200/JCO.2009.23.8527
 26. Gertz M.A. Immunoglobulin light chain amyloidosis: 2016 update on diagnosis, prognosis, and treatment. *Am J Hematol* 2016;91(9):947–56.
 27. Zhao L., Tian Z., Fang Q. Diagnostic accuracy of cardiovascular magnetic resonance for patients with suspected cardiac amyloidosis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cardiovasc Disord* 2016;16:129. DOI: 10.1186/s12968-016-0311-6
 28. Motwani M., Kidambi A., Herzog B.A. et al. MR imaging of cardiac tumors and masses: a review of methods and clinical applications. *Radiology* 2013;268(1):26–43. DOI: 10.1148/radiol.13121239
 29. Cancer Research UK. Cancer survival statistic. Available at: <https://www.cancerresearchuk.org/health-professional/cancer-statistics/survival> (accessed 15.10.2020).
 30. Lyon A.R., Dent S., Stanway S. et al. Baseline cardiovascular risk assessment in cancer patients scheduled to receive cardiotoxic cancer therapies: a position statement and new risk assessment tools from the Cardio-Oncology Study Group of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology in collaboration with the International Cardio-Oncology Society. *Eur J Heart Fail* 2020;22(11):1945–60. DOI: 10.1002/ehfj.1920

Вклад авторов

З.З. Иванова, А.А. Ахобеков: анализ публикаций по теме статьи, написание текста статьи;
С.А. Александрова, П.А. Зейналова: научное консультирование, редактирование статьи.

Authors' contributions

Z.Z. Ivanova, A.A. Akhobekov: analysis of publications on the topic of the article, article writing;
S.A. Alexandrova, P.A. Zeynalova: scientific consulting, editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

З.З. Иванова / Z.Z. Ivanova: <https://orcid.org/0000-0003-4126-6078>
С.А. Александрова / S.A. Alexandrova: <https://orcid.org/0000-0002-7795-9709>
П.А. Зейналова / P.A. Zeynalova: <https://orcid.org/0000-0003-1564-424X>
А.А. Ахобеков / A.A. Akhobekov: <https://orcid.org/0000-0002-6395-5790>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.
Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 08.04.2024. **Принята к публикации:** 06.05.2024.
Article submitted: 08.04.2024. **Accepted for publication:** 06.05.2024.