

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

Научная статья

УДК 616-006.448

<https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-2-08-26>

3.1.18. Внутренние болезни (медицинские науки)

3.1.28. Гематология и переливание крови
(медицинские науки)

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ДИАГНОСТИКЕ КАРДИОТОКСИЧНОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С МНОЖЕСТВЕННОЙ МИЕЛОМОЙ ПРИ АУТОЛОГИЧНОЙ ТРАНСПЛАНТАЦИИ ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК

**Владимир Святославович Подсевалов, Виктория Давыдовна Сабанова,
Ольга Андреевна Германова, Игорь Леонидович Давыдкин**
Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

Аннотация. Рассмотрены современные лабораторные и инструментальные подходы к диагностике кардиоваскулярной токсичности у пациентов с множественной миеломой при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток. В условиях отсутствия унифицированных национальных рекомендаций по срокам и частоте мониторинга особую клиническую значимость приобретает комплекс диагностических методик, направленный на выявление доклинических форм миокардиальной дисфункции. К числу наиболее информативных методов относятся: трансторакальная эхокардиография с оценкой глобальной продольной деформации методом speckle-tracking, а также определение кардиоспецифических биомаркеров, включая тропонины Т и I и натрийуретические пептиды. Применение указанного комплекса диагностических исследований позволяет осуществлять раннюю верификацию кардиотоксических эффектов, что имеет принципиальное значение для своевременной коррекции терапии.

Ключевые слова: кардиотоксичность, множественная миелома, аутологичная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток, тропонины, натрийуретический пептид, эхокардиография, глобальная продольная деформация миокарда

Для цитирования: Подсевалов В. С., Сабанова В. Д., Германова О. А., Давыдкин И. Л. Современное представление о диагностике кардиотоксичности у пациентов с множественной миеломой при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток // Астраханский медицинский журнал. 2025. Т. 20, № 2. С. 8–26. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-2-08-26>.

SCIENTIFIC REVIEWS

Review article

CURRENT UNDERSTANDING OF CARDIOTOXICITY DIAGNOSTICS IN PATIENTS WITH MULTIPLE MYELOMA DURING AUTOLOGOUS HEMATOPOIETIC STEM CELL TRANSPLANTATION

**Vladimir S. Podsevalov, Victoria D. Sabanova,
Olga A. Germanova, Igor L. Davydkin**
Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract. This review presents current laboratory and instrumental methods for cardiovascular toxicity diagnosing in patients with multiple myeloma undergoing autologous hematopoietic stem cell transplantation. In the absence of national guidelines on the timing and frequency of monitoring, it is particularly important to have a set of techniques to detect preclinical stages of myocardial dysfunction. The most useful methods include transthoracic echocardiography, with assessment of global longitudinal strain using speckle tracking, and measurement of cardiac biomarkers such as troponin T and I, and natriuretic peptides. Using this combination of methods allows for early detection of cardiotoxicity, which is essential for timely intervention and treatment.

Key words: cardiotoxicity, multiple myeloma, autologous hematopoietic stem cell transplantation, troponins, natriuretic peptides, echocardiography, global longitudinal strain

For citation: Podsevalov V. S., Sabanova V. D., Germanova O. A., Davydkin I. L. Current understanding of cardiotoxicity diagnostics in patients with multiple myeloma during autologous hematopoietic stem cell transplantation // *Astrahanskij medicinskij zhurnal*. 2025; 20 (2): 8–26. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-2-08-26> (In Russ.).

Введение. Известно, что сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смерти во всем мире. При значительном улучшении общей выживаемости и прогноза у онкопациентов, получающих химиотерапию, сердечно-сосудистые осложнения стали важной проблемой общественного здравоохранения [1].

Развитие долгосрочных побочных эффектов при терапии рака, особенно со стороны сердечно-сосудистой системы, требуют тщательного рассмотрения [2]. В ходе рандомизированных многоцентровых клинических исследований различных групп противоопухолевых препаратов, применяемых при гематологических нозологиях, таких как хронический лимфолейкоз, хронический миелолейкоз, множественная миелома (IRIS [3], DASISION [4], ENESTnd [5], CLL10 [6], CASTOR [7]), демонстрируется закономерное развитие нежелательных явлений на фоне лечения, в том числе сердечно-сосудистых и метаболических осложнений: тромботические и атеросклеротические поражения сосудов. Пациенты с уже имеющимися факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний наиболее подвержены связанным с химиотерапией сердечно-сосудистым осложнениям и усугублению ранее имевшихся сердечно-сосудистых заболеваний [8].

Помимо влияния химиотерапевтического препарата на сердечно-сосудистую систему, некоторые исследования свидетельствуют о том, что само онкологическое заболевание может воздействовать на функцию миокарда и сосудов.

Аутологичная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток (аутоТГСК) является неотъемлемой опцией в алгоритме лечения пациентов с множественной миеломой (ММ). Впервые аутоТГСК была описана в 1957 г. [9], активное применение данного метода лечения началось с 1980-х гг. [10, 11]. В течение последних 40 лет произошел значительный рост трансплантационной активности, что связано не только с повышением частоты выявляемости гемобластозов, но и с применением более щадящих режимов кондиционирования и поддерживающей терапии, более точным подбором пациентов и расширением показаний для проведения аутоТГСК [12, 13]. Введение подобной опции в тактику лечения позволило увеличить общую выживаемость пациентов после проведенной аутоТГСК и снизить их смертность в безрецидивный период [14–16]. Однако несмотря на успехи в этой области, данный вариант лечения обладает и рядом нежелательных явлений, неизбежно приводящих к нарушениям различных систем организма, среди которых существенное значение имеет кардиотоксическое действие, которое проявляется, как правило, в виде сердечной недостаточности, миокардита, артериальной гипертензии, различных видов нарушения ритма, венозных и артериальных тромбозов [17–23]. Это связано с потенциально кардиотоксичными цитостатическими препаратами, которые используются до и во время трансплантации, с рисками, связанными с процедурами, предшествующими трансплантации, а также сопутствующими заболеваниями и возрастом пациента. А. Alizadehasl и соавт. [22] в 2023 г. провели метаанализ, посвященный распространенности сердечно-сосудистых заболеваний после ТГСК, в котором проанализировали 37 исследовательских работ (30 957 пациентов) и доказали высокую распространенность кардиоваскулярных осложнений после трансплантации. Разнообразные сердечно-сосудистые осложнения, ассоциированные с трансплантацией гемопоэтических стволовых клеток, могут развиваться как в период госпитализации, так и спустя несколько лет после проведения трансплантации [22, 23]. Частота кардиоваскулярных осложнений представлена в таблице (адаптировано по [23]).

Все это, несомненно, ведет к снижению качества жизни больных и может являться причиной их смерти от негематологических причин. Смертность от кардиоваскулярной патологии у больных с множественной миеломой выше, чем в общей популяции [24].

В 2022 г. представлены первые «Клинические рекомендации по кардиоонкологии» Европейского общества кардиологов совместно с Европейской ассоциацией гематологов, Европейским обществом терапевтической радиологии и онкологии, а также Международным обществом кардиоонкологов, включающие в себя стратификацию риска сердечно-сосудистой токсичности, профилактику и мониторинг кардиоваскулярных осложнений, а также диагностику и лечение состояний, связанных с кардиотоксичностью. Согласно этому документу, для оценки проявлений кардиоваскулярной токсичности при аутоТГСК в реальной клинической практике рекомендуется тщательный сбор анамнеза, проведение физикального осмотра, базовой 12-канальной электрокардиографии (ЭКГ), эхокардиографии

(ЭхоКГ), оценки биохимических показателей (липидный профиль, тропонин Т, тропонин I, мозговой натрийуретический пептид (BNP), N-концевой про-натрийуретический пептида В-типа (NT-proBNP), гликированный гемоглобин) [25]. Несмотря на это, в российских клинических рекомендациях по лечению множественной миеломы и методическом руководстве по трансплантации стволовых клеток отсутствуют данные о возможностях и сроках диагностики кардиотоксичности у пациентов при аутоТГСК [26, 27]. В связи с чем в последние годы наибольшую актуальность приобретают исследования, направленные на возможности диагностики нежелательных явлений со стороны сердечно-сосудистой системы, возникающих на субклиническом уровне, у больных с онкогематологическими заболеваниями [28–30], в том числе при проведении аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток [31–37].

Таблица. Частота ранних и поздних сердечно-сосудистых осложнений, связанных с трансплантацией гемопоэтических стволовых клеток
Table. Incidence of Short- and Long-Term Cardiovascular Complications Related to HSCT

Осложнение аутоТГСК	Ранние, %	Поздние, %
Аритмии		
Фибрилляция / трепетание предсердий	2–10	5,6–10,8
Желудочковая тахикардия	0,1	0,1–1,0
Сердечная недостаточность	0,4–2,2	2–9,2
Перикардит / миокардит	<1–2	Данные отсутствуют
Перикардальный выпот	<1–3	Данные отсутствуют
Сосудистые заболевания		4–47
Инсульт	<1	0,3–2,4
Инфаркт миокарда	<1	0,3–6,5
Ишемическая болезнь сердца	<1	10–15
Артериальная гипертензия		15–38

Ввиду высокой актуальности исследуемой проблемы ученые из различных стран предложили к внедрению в клиническую практику ряд скрининговых методов для раннего выявления кардиотоксичности. Выбор одного или нескольких методов диагностики зачастую определяется не только специфичностью и чувствительностью, но и рядом дополнительных факторов, таких как безопасность для пациента, технические и кадровые возможности медицинского учреждения, экономическая целесообразность, а также индивидуальные ограничения.

Цель: анализ открытых достоверных медицинских литературных источников, в которых описываются современные возможности ранней диагностики сердечно-сосудистой токсичности у пациентов с множественной миеломой при проведении аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток.

Методы работы с источниками. Анализ литературных источников проводили на основе следующих поисковых запросов: «аутологичная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток», «кардиотоксичность при множественной миеломе», «кардиотоксичность при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток», «биомаркеры кардиотоксичности», «МРТ при кардиотоксичности», «методы визуализации при кардиотоксичности», «GLS при кардиотоксичности».

Анализ литературных данных проводили с учетом следующих критериев:

- 1) оценка достоверности медицинских источников;
- 2) анализ исследований, включающих в себя метаанализ с когортным контролем, случай-контролем или вложенным дизайн-случай-контролем;
- 3) исследования, содержащие систематические обзоры;
- 4) анализ оценок рисков, представленных в публикациях (таких как относительный риск, отношение шансов или отношение рисков), с возможностью их преобразования в относительные риски с 95 % доверительными интервалами.

Результаты опубликованных исследований и их анализ

Лабораторные методы исследования кардиотоксичности при аутоТГСК

Тропонины. Одним из первых методов диагностики кардиотоксичности, предложенных научным сообществом, стало измерение уровня сердечных тропонинов. Существует три типа сердечных тропонинов: тропонин I, тропонин Т и тропонин С. Сердечные изоформы тропонина Т и тропонина I обладают уникальным аминокислотным составом, отличающим их от скелетных изоформ, тогда как сердечный тропонин С по своей аминокислотной последовательности полностью идентичен

скелетному тропонину С, поэтому не является кардиоспецифичным белком [38]. Сердечный тропонин Т и сердечный тропонин I, высвобождающиеся при повреждении миокарда, являются специфичными для сердца биомаркерами, но неспецифичными для конкретного заболевания. Повышение уровня тропонинов может наблюдаться при различных состояниях, как физиологических (например, в результате физической нагрузки или психоэмоционального стресса), так и патологических. К последним относятся хроническая сердечная недостаточность, сахарный диабет, артериальная гипертензия, воспалительные поражения сердца, тромбоэмболия легочной артерии, хроническая почечная недостаточность и сепсис [39]. К тому же высвобождение тропонина вследствие кардиотоксичности противоопухолевых препаратов может быть минимальным или не повышаться вовсе [40].

Однако L. Michel и соавт. [41] в 2020 г. опубликовали метаанализ, включавший в себя 61 исследование с участием 5691 пациента, который показал, что противоопухолевая терапия приводит к повышению уровня тропонина (95 % доверительный интервал (ДИ) 6,0–34,1; $n = 3049$). Помимо этого, повышенный уровень тропонина был связан с более высоким риском дисфункции левого желудочка (ЛЖ) (95 % ДИ 4,4–32,1; $n = 2163$). Повышение уровня тропонинов непосредственно при аутоТГСК также подтверждается рядом работ [31–33, 42].

В настоящее время доступен метод высокочувствительного определения тропонинов (ВЧТ), позволяющий выявлять очень низкие, но диагностически значимые концентрации циркулирующих сердечных тропонинов, особенно для оценки субклинических повреждений сердца [36, 43–45]. L. Xinfang и соавт. [45] провели метаанализ применения ВЧТ для диагностики ранней кардиотоксичности при применении противоопухолевых препаратов и установили, что совокупная чувствительность метода ВЧТ 0,78 (95 % ДИ: 0,64–0,88), специфичность – 0,75 (95 % ДИ: 0,59–0,86), площадь под кривой (AUC): 0,83, 95 % ДИ: 0,80–0,86, что говорит о средней эффективности диагностики. Однако при оценке ВЧТ через 3–6 месяцев AUC увеличилась до 0,90 (95 % ДИ: 0,87–0,92), что указывает на высокую ценность ранней диагностики [45]. В настоящее время доступных в литературе работ, в которых оценивается роль ВЧТ при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток, недостаточно для того, чтобы сделать однозначные выводы о целесообразности применения метода в рутинной практике [33, 34, 46].

Натрийуретические пептиды. Первые попытки использования BNP и NT-proBNP для оценки кардиотоксичности в рамках онкологической практики были предприняты в конце 1990-х гг. [47]. BNP является биологически активным пептидом, в то время как оставшаяся расщеплённая часть, NT-proBNP, является неактивным сегментом с более длительным периодом полураспада [48]. Согласно российским клиническим рекомендациям по лечению хронической сердечной недостаточности BNP, NT-proBNP используются для диагностики и мониторинга этой патологии [49]. В то же время на клиническую интерпретацию результатов могут влиять такие факторы, как ожирение, возраст, заболевания сердца, пороки клапанов, фибрилляция предсердий и почечная недостаточность [50]. Роль BNP и NT-proBNP в контексте кардиотоксичности изучалась во многих работах, исследователи отмечали повышение уровня BNP/NT-proBNP при лечении химиотерапевтическими препаратами [36, 41, 51–56]. L. Michel и соавт. [41] при проведении метаанализа в отношении использования натрийуретического пептида как предиктора кардиотоксичности при лечении злокачественных новообразований установили, что уровни BNP/NT-proBNP были повышены у пациентов после лечения (95% ДИ 0,3–0,9; $n = 912$), но имеющиеся данные не всегда указывали на прогнозирование дисфункции ЛЖ (ОШ 1,7, 95% ДИ 0,7–4,2; $n = 197$). Также в современной медицинской литературе имеются работы, в которых оценивается роль BNP и NT-proBNP при аутологичной трансплантации гемопоэтический стволовых клеток: в большинстве исследований было отмечено повышение уровня BNP (или NT-proBNP) после трансплантации в сравнении с исходным показателем и указание на возможность сохранения его высокого уровня на протяжении длительного времени после завершения лечения, что важно в плане мониторинга кардиотоксичности [32–35, 37]. Однако в настоящее время нет четких данных о том, когда, как долго и с какой периодичностью необходимо исследовать уровень BNP и NT-proBNP после трансплантации.

Новые биомаркеры для оценки кардиотоксичности. В связи с тем, что вопрос предупреждения развития кардиотоксичности занимает одно из лидирующих мест в практике ведения онкологических заболеваний, в том числе в области онкогематологии, все больший интерес исследователей представляет поиск новых биомаркеров, которые могут способствовать стратификации риска и / или субклинической диагностике кардиотоксичности.

К потенциально новым предикторам относятся следующие:

1. МикроРНК (миРНК) – это небольшие некодирующие РНК, которые обладают важными регуляторными свойствами. В патогенезе СН миРНК участвуют в воспалении миокарда, апоптозе, гипертрофии и фиброзе [55]. Нарушение регуляции миРНК ассоциировано с широким спектром патологических состояний, что делает их перспективными кандидатами в качестве биомаркеров. Это обусловлено их уникальными характеристиками, такими как высокая специфичность в отношении определенных заболеваний, устойчивость к деградации в биологических жидкостях, возможность точного количественного анализа и простота выделения из различных видов клинических образцов. Ряд исследований демонстрирует, что циркулирующие миРНК могут быть вовлечены в процессы, связанные с развитием кардиотоксичности, что подчеркивает их потенциал для использования в диагностике и мониторинге данного состояния [57, 58].

2. Миелопероксидаза (МПО) – фермент, содержащийся в азурофильных гранулах нейтрофилов, участвующий в образовании нейтрофильных внеклеточных ловушек, которые связаны с инфарктом миокарда и другими сердечно-сосудистыми заболеваниями [59]. Повышенный уровень МПО в крови был обнаружен у пациенток с раком молочной железы, у которых была диагностирована кардиотоксичность, в связи с этим МПО считается многообещающим биомаркером для раннего выявления кардиальной дисфункции [60].

3. Галектин-3 (Gal-3) – это представитель семейства лектинов, участвующий в различных патофизиологических процессах, включая фиброз, воспаление и окислительный стресс, и вызывающий пролиферацию кардиомиоцитов, выработку и отложение коллагена [61, 62]. Gal-3 также повышается при многих видах рака, что усложняет его использование для выявления кардиотоксичности, связанной с терапией рака [61]. Согласно двум метаанализам, Gal-3 показал многообещающие, но противоречивые результаты в качестве прогностического маркера смертности от всех причин и сердечно-сосудистых заболеваний [63, 64].

В настоящее время ведется изучение других потенциально перспективных биомаркеров для прогнозирования и/или ранней диагностики кардиотоксичности. К ним относятся: С-реактивный белок, фактор роста эндотелия сосудов, растворимый ST2, легкая цепь 1 сердечного миозина, D-димер, фактор дифференцировки роста 15, иммуноглобулин E, гликированный гемоглобин [59]. Однако на сегодняшний день недостаточно данных, подтверждающих эффективное использование этих биомаркеров в реальной клинической практике. Помимо этого, в мировой медицинской литературе отсутствуют данные об использовании данных биологических соединений с целью диагностики кардиотоксичности при аутоТГСК. На сегодняшний день необходимы более масштабные дополнительные и проспективные исследования для клинического применения этих биомаркеров.

Инструментальная диагностика

ЭКГ. Изменения на ЭКГ регистрируются практически у всех пациентов при аутоТГСК. Наиболее распространенными изменениями являются нарушения ритма сердца в виде синусовой тахикардии, синусовой брадикардии и экстрасистолии [65]. Гораздо реже выявляют более серьезные виды нарушения ритма: фибрилляция/трепетание предсердий до 10 %, желудочковая тахикардия до 1 %, блокады атриовентрикулярного узла различной степени до 0,5 % случаев [23, 19]. Также могут регистрироваться изменения сегмента ST и зубца T, увеличение интервала QT, изменения сердечной оси [66, 67]. Следует отметить, что изменения ЭКГ, свидетельствующие об увеличении или перегрузке камер сердца, нарушениях проводимости, аритмиях, ишемии или перенесенном инфаркте миокарда, низком вольтаже зубцов, а также удлинении интервала QT, должны интерпретироваться в соответствии с клиническими проявлениями и результатами других лабораторно-инструментальных исследований, а также не могут быть использованы как основной метод выявления кардиоваскулярной токсичности.

ЭхоКГ и глобальная продольная деформация миокарда. Двухмерная (2D) ЭхоКГ считается основным методом диагностики кардиотоксичности благодаря широкой доступности, универсальности и безопасности для пациентов, включая отсутствие радиационного облучения. Эхокардиография позволяет оценивать исходное состояние сердца перед проведением аутоТГСК и мониторировать возможные кардиотоксические эффекты в будущем. В реальной клинической практике наиболее часто оцениваемым параметром при ЭхоКГ является расчет фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) по методу Симпсона.

Применение трехмерной (3D) эхокардиографии значительно повышает точность измерения объемов камер сердца и расчета ФВ ЛЖ. Этот метод обеспечивает объемную визуализацию левого желудочка и позволяет точно определять его объемы, исключая погрешности, связанные с геометрическими

допущениями, присущими двумерным методикам [68]. ЭхоКГ, в дополнение к определению ФВ ЛЖ, обеспечивает диагностику локальных нарушений сократимости миокарда, выявление внутрисердечных патологических образований, перикардального выпота, оценку структурно-функционального состояния клапанов сердца, измерение систолического давления в легочной артерии, а также определение признаков диастолической дисфункции миокарда левого желудочка.

На сегодняшний день, согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов по кардиоонкологии, эхокардиографическими критериями кардиотоксичности являются снижение ФВ ЛЖ на 10 % по сравнению с исходными значениями или снижение ФВ менее 50 % [25]. Однако измерение только ФВ ЛЖ представляет собой относительно низкочувствительный метод для раннего выявления кардиотоксичности, что доказывают проведенные исследования [69, 70]. Это обусловлено тем, что ФВ ЛЖ остается сохранной до достижения критического уровня повреждения миокарда, а ее снижение наблюдается лишь после полного истощения всех компенсаторных механизмов, что не отвечает в полной мере задаче своевременной профилактики развития кардиоваскулярной дисфункции. В связи с этим особое место в диагностике ранней кардиотоксичности занимает определение глобальной продольной деформации (GLS) миокарда методом отслеживания частиц (speckle-tracking); GLS возможно определять как в режиме 2D, так и в 3D. Указанный метод нашел отражение в Европейских рекомендациях по кардиоонкологии [25].

Применение объемной модели в 3D позволяет избежать ограничений 2D-методов и повысить воспроизводимость результатов. Немаловажно и то, что начинающиеся изменения GLS при использовании 3D-ЭхоКГ регистрируются раньше, чем при двумерном методе [71]. Критерием кардиотоксичности при определении GLS является снижение более чем на 15 % по сравнению с исходным уровнем показателя [25]. Е. К. Oikonomou и соавт. [71] в проведенном метаанализе доказали, что низкие показатели GLS были связаны с более высокими рисками кардиоваскулярных осложнений (95 % ДИ 7,73–19,47; площадь под кривой HSROC 0,86; 95 % ДИ 0,83–0,89). В мировой литературе также имеются исследования, которые доказывают, что изменение глобальной продольной деформации миокарда предсказывает субклиническую дисфункцию левого желудочка прежде, чем произойдет снижение ФВ ЛЖ, что имеет существенное клинико-экономическое значение при ведении пациентов с перенесенной аутоТГСК [69, 72, 73].

Помимо GLS, в настоящее время изучают возможности применения радиальной и циркулярной деформации миокарда, показатели кручения миокарда ЛЖ в контексте кардиотоксичности. Важно отметить, что при высокой чувствительности использование методики speckle-tracking имеет свои организационно-инфраструктурные ограничения для повсеместного применения в рутинной клинической практике: требуется оборудование высокого класса, а также высококвалифицированные специально обученные специалисты. Также важным критерием верификации результатов оценки GLS является проведение исследования пациенту одним и тем же врачом на всех этапах ведения больного: от принятия решения о проведении аутоТГСК до посттрансплантационного периода – в целях мониторинга развития отдаленных нежелательных явлений.

Магнитная резонансная томография. Магнитная резонансная томография (МРТ) сердца – это неинвазивный высокоточный метод комплексной визуализации, который позволяет рассчитывать размеры и объемы камер сердца, массу миокарда, измерить GLS, глобальную циркулярную и радиальную деформацию [68, 74]. Метод МРТ, принятый за «золотой стандарт» в оценке кардиотоксичности, предоставляет уникальную возможность выявлять такие патологические изменения, как фиброз, отек миокарда, а также визуализировать рубцовые изменения сердечной ткани, используя дополнительные параметры T1 mapping (количественное определение внеклеточного объема фиброзной ткани) и T2 mapping (выявление отека миокарда), а также метод позднего усиления сигнала с применением контрастного вещества на основе гадолиния [75]. В основном МРТ применяется в том случае, если другие методы не информативны или выявляют наличие дисфункции левого желудочка при ФВ ЛЖ на уровне нижней границы нормы [25, 68].

В настоящее время встречается все больше исследований, посвященных диагностике кардиотоксичности при помощи МРТ, однако работ, связанных с кардиотоксичностью при трансплантации гемопоэтических стволовых клеток (ТГСК), в современной литературе немного [76, 77]. А. Vaitiekienė и соавт. [76] провели исследование, в котором оценили параметры сердца до ТГСК и через 12 месяцев с помощью МРТ. Результаты оценки протоколов МРТ, проведенных после ТГСК, продемонстрировали увеличение значений параметра T1, что может указывать на прогрессирование диффузного фиброза миокарда и его субклиническое повреждение у пациентов с данной опцией лечения. Другое исследование кардиотоксичности при ТГСК с использованием МРТ показало,

что у пациентов, перенёвших трансплантацию гемопоэтических стволовых клеток в детстве, диастолическая функция ЛЖ была значительно ниже, по сравнению со здоровыми людьми из контрольной группы, в то время как систолическая функция ЛЖ (ФВ ЛЖ и GLS) имела тенденцию к небольшому снижению [77].

МРТ сердца является практически безопасным методом для пациента, не требует специальной подготовки перед проведением исследования, отличается высокой точностью и воспроизводимостью результатов. К основным ограничениям МРТ относятся высокая стоимость метода, ограниченная доступность, а также невозможность проведения исследования непосредственно у постели пациента. Дополнительные сложности возникают при наличии у больного имплантатов или устройств, изготовленных из ферромагнитных сплавов [68].

Новые инструментальные исследования в диагностике кардиотоксичности. Актуальным направлением современных исследований является изучение состояния миокарда с использованием позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), которая позволяет детально анализировать структурные, патологические и метаболические изменения сердечной мышцы [78].

ПЭТ/КТ с ¹⁸F-меченной 2-дезоксидезокси-2-фтор-D-глюкозой (¹⁸F-ФДГ) предоставляет возможность комплексной оценки миокарда, дополняя анатомические данные метаболической информацией о воспалительных явлениях в тканях за счет регистрации повышенного захвата ¹⁸F-ФДГ миокардом [79, 80]. ¹⁸F-ФДГ – это радиофармацевтическое средство на основе аналога глюкозы, которое транспортируется в клетки через мембранный транспортер глюкозы [79]. Проведенные мировым сообществом исследования показали, что изменения в степени поглощения ¹⁸F-ФДГ миоцитами во время или после применения химиотерапевтических препаратов отражают метаболические изменения, предшествующие сократительной дисфункции [81, 82]. Данные изменения могут являться потенциальным маркером проявления кардиотоксичности на субклиническом этапе [78]. Несмотря на это, на сегодняшний день не обнаружено публикаций об использовании ПЭТ/КТ с целью диагностики кардиотоксичности при аутоТГСК.

Помимо ПЭТ/КТ перспективно новым диагностическим методом для оценки кардиотоксичности при химиотерапевтическом исследовании является оценка коронарного кровотока и коронарного кальциевого индекса (ККИ) с помощью мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

Многочисленные исследования показали связь между ККИ и развитием сердечно-сосудистых заболеваний даже у пациентов при отсутствии симптомов заболеваний [83–85]. S. Patel и соавт. [85] установили, что у пациентов с онкологическими заболеваниями чаще наблюдались высокие показатели ККИ и общая распространённость сосудистых заболеваний. Другая работа, проведенная A. Wogowies и соавт. [86], показала, что у пациентов с высоким риском развития сердечно-сосудистых осложнений, связанных с химиотерапией, ККИ был значительно выше в сравнении с пациентами низкого и среднего риска. Таким образом, ККИ можно рассматривать как новый потенциальный метод для стратификации риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов, находящихся на химиотерапевтическом лечении. Однако для более точной оценки влияния ККИ в дополнение к уже имеющимся методам требуются дальнейшие проспективные исследования.

Обсуждение. Анализ многочисленных данных литературы, наряду с традиционными, применяющимися в рутинной клинической практике методами, дает представление о современных возможностях раннего выявления кардиотоксичности у пациентов при аутоТГСК. Вместе с тем отсутствие в российских клинических рекомендациях и национальном руководстве по множественной миеломе точных указаний о времени, сроках использования как лабораторных, так и инструментальных методов исследования кардиоваскулярной токсичности, небольшое количество проспективных исследований в мировой медицинской литературе, направленных на выявление кардиотоксичности у пациентов с ММ при трансплантации гемопоэтических стволовых клеток, открывает перед научным сообществом возможности для поиска и формирования новых оптимальных сценариев субклинической диагностики сердечно-сосудистых осложнений, что предполагает совершенствование методов анализа минимальных кардиоваскулярных изменений и дальнейшее внедрение новых технологий в практическое здравоохранение.

Накопленный опыт в части изучения методов ранней диагностики и профилактики кардиоваскулярной токсичности, развивающейся у пациентов с такими нозологиями, как неходжкинские лимфомы, хронический лимфолейкоз, хронический миелолейкоз, множественная миелома на фоне приема соответствующей диагнозу противоопухолевой терапии позволяют спрогнозировать наиболее вероятные с точки зрения успешности применения маркеры и методики, которые можно будет применять

у пациентов с множественной миеломой конкретно при проведении аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток.

Применение зарекомендовавших себя в других нозологических группах пациентов методов исследования, таких как трехмерная эхокардиография сердца с определением глобальной продольной деформации миокарда методом speckle-tracking, определение содержания тропонинов Т и I, BNP и NT-proBNP, представляются наиболее перспективными диагностическими стратегиями, однако в связи с ограниченным количеством имеющих подтверждение этой гипотезы научных публикаций требуется сфокусировать исследовательский потенциал на дальнейших исследованиях в этой области.

Заключение. Кардиотоксические осложнения у пациентов с множественной миеломой при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток значительно отягощают соматический статус каждого пациента и ухудшают качество его жизни. Современные методы диагностики состояния миокарда и оценки его функциональных возможностей предоставляют точные и надежные подходы к выявлению патологий. Учитывая, что клинические симптомы сердечной дисфункции развиваются значительно позже, чем структурные и функциональные изменения в миокарде, внедрение передовых диагностических подходов в реальную клиническую практику позволит диагностировать проявления кардиотоксичности на этапе субклинических изменений.

Закономерен тот факт, что приоритет будущих исследований должен быть направлен на устранение существующих пробелов в области использования биомаркеров, инструментальных методов для ранней диагностики кардиотоксичности, а также на разработку протоколов профилактики / лечения кардиоваскулярных осложнений у пациентов с множественной миеломой при аутологичной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток. Совершенно очевидно, что только интеграция лабораторных и инструментальных методов исследования обеспечит своевременную диагностику кардиотоксических осложнений у больных множественной миеломой при трансплантации стволовых клеток. Это, в свою очередь, позволит определить и реализовать наиболее эффективную стратегию лечения и наблюдения за пациентами, что улучшит и повысит качество жизни данной категории больных.

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

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

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMUE. 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 ICMUE 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.

Список источников

1. Jain D., Russell R. R., Schwartz R. G., Panjra G. S., Aronow W. Cardiac complications of cancer therapy: pathophysiology, identification, prevention, treatment, and future directions // *Current Cardiology Reports*. 2017. Vol. 19, no. 5. Art. 36. doi: 10.1007/s11886-017-0846-x.
2. Schlitt A., Jordan K., Vordermark D., Schwamborn J., Langer T., Thomssen C. Cardiotoxicity and oncological treatments // *Deutsches Ärzteblatt International*. 2014. Vol. 111, no. 10. P. 161–168. doi: 10.3238/arztebl.2014.0161.
3. Silver R. T., Woolf S. H., Hehlmann R., Appelbaum F. R., Anderson J., Bennett C., Goldman J. M., Guilhot F., Kantarjian H. M., Lichtin A. E., Talpaz M., Tura S. An evidence-based analysis of the effect of busulfan, hydroxyurea, interferon, and allogeneic bone marrow transplantation in treating the chronic phase of chronic myeloid leukemia: developed for the American Society of Hematology // *Blood*. 1999. Vol. 94, no. 5. P. 1517–1536.
4. Cortes J. E., Saglio G., Kantarjian H. M., Baccarani M., Mayer J., Boqué C., Shah N. P., Chuah C., Casanova L., Bradley-Garelik B., Manos G., Hochhaus A. Final 5-year study results of DASISION: the dasatinib versus imatinib study in treatment-naïve chronic myeloid leukemia patients trial // *Journal of Clinical Oncology*. 2016. Vol. 34, no. 20. P. 2333–2340. doi: 10.1200/JCO.2015.64.8899.
5. Hochhaus A., Saglio G., Hughes T. P., Larson R. A., Kim D. W., Issaragrisil S., le Coutre P. D., Etienne G., Dorlhiac-Llacer P. E., Clark R. E., Flinn I. W., Nakamae H., Donohue B., Deng W., Dalal D.,

- Menssen H. D., Kantarjian H. M. Long-term benefits and risks of frontline nilotinib vs imatinib for chronic myeloid leukemia in chronic phase: 5-year update of the randomized ENESTnd trial // *Leukemia*. 2016. Vol. 30, no. 5. P. 1044–1054. doi: 10.1038/leu.2016.5.
6. Eichhorst B., Fink A. M., Bahlo J., Busch R., Kovacs G., Maurer C., Lange E., Köppler H., Kiehl M., Sökler M., Schlag R., Vehling-Kaiser U., Köchling G., Plöger C., Gregor M., Plesner T., Trnecny M., Fischer K., Döhner H., Kneba M., Wendtner C. M., Klapper W., Kreuzer K. A., Stilgenbauer S., Böttcher S., Hallek M.; International group of investigators; German CLL Study Group (GCLLSG). First-line chemoimmunotherapy with bendamustine and rituximab versus fludarabine, cyclophosphamide, and rituximab in patients with advanced chronic lymphocytic leukaemia (CLL10): an international, open-label, randomised, phase 3, non-inferiority trial // *The Lancet Oncology*. 2016. Vol. 17, no. 7. P. 928–942. doi: 10.1016/S1470-2045(16)30051-1.
7. Mateos M. V., Sonneveld P., Hungria V., Nooka A. K., Estell J. A., Barreto W. G., Corradini P., Min C., Medvedova E., Weisel K. C., Chiu C., Schecter J., Amin H., Qin X., Qi M., Spencer A. Efficacy and safety of daratumumab, bortezomib, and dexamethasone (D-Vd) versus bortezomib and dexamethasone (Vd) in first relapse patients with multiple myeloma (MM): four-year update of CASTOR // *Journal of Clinical Oncology*. 2019. Vol. 37, no. 15, Suppl. P. 8040.
8. Kravchenko J., Berry M., Arbeev K. Cardiovascular comorbidities and survival of lung cancer patients: Medicare data based analysis // *Lung Cancer*. 2015. Vol. 88, no. 1. P. 85–93.
9. Thomas E. D., Lochte H. L., Lu W. C., Ferrebee J. W. Intravenous infusion of bone marrow in patients receiving radiation and chemotherapy // *New England Journal of Medicine*. 1957. Vol. 257, no. 1. P. 491–496. doi: 10.1056/nejm195709122571102.
10. Appelbaum F. R., Sullivan K. M., Buckner C. D., Clift R. A., Deeg H. J., Fefer A., Hill R., Mortimer J., Neiman P. E., Sanders J. E., Singer J. E., Stewart P., Storb R. Treatment of malignant lymphoma in 100 patients with chemotherapy, total body irradiation, and marrow transplantation // *Journal of Clinical Oncology*. 1987. Vol. 5, no. 9. P. 1340–1347.
11. Phillips G. L., Reece D. E. Clinical studies of autologous bone marrow transplantation in Hodgkin's disease // *Clinical Haematology*. 1986. Vol. 15, no. 1. P. 151–166.
12. Phelan R., Chen M., Bupp C., Bolon Y. T., Broglie L., Brunner-Grady J., Burns L. J., Chhabra S., Christianson D., Cusatis R., Devine S. M., D'Souza A., Eapen M., Hamadani M., Hengen M., Lee S. J., Moskop A., Page K. M., Pasquini M., Pérez W. S., Riches M., Rizzo D., Saber W., Spellman S. R., Stefanski H. E., Steinert P., Weisdorf D., Horowitz M., Auletta J. J., Shaw B. E., Arora M. Updated Trends in Hematopoietic Cell Transplantation in the United States with an Additional Focus on Adolescent and Young Adult Transplantation Activity and Outcomes // *Transplant Cell Therapy*. 2022. Vol 28 (7). P. 409.e1–409.e10. doi: 10.1016/j.jct.2022.04.012.
13. Масчан М. А., Скоробогатова Е. В., Шелихова Л. Н., Балашов Д. Н., Благонравова О. Л., Долгополов И. С., Субботина Н. Н., Вахонина Л. В., Фечина Л. Г., Менткевич Г. Л., Паина О. В., Геворгян А. Г., Быкова Т. А., Диникина Ю. В., Субора А. Ю., Бронин Г. О., Алянский А. Л., Новичкова Г. А., Масчан А. А., Зубаровская Л. С. Трансплантация гемопоэтических стволовых клеток у детей в России: краткий обзор активности в 2015–2018 гг. // *Вопросы гематологии / онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2020. Т. 19, № 2. С. 22–29.
14. Кострома И. И., Жернякова А. А., Запреева И. М., Сидорова Ж. Ю., Семенова Н. Ю., Карягина Е. В., Степченкова Е. И., Бессмельцев С. С., Чечеткин А. В., Грицаев С. В. Ретроспективный анализ выживаемости больных множественной миеломой после трансплантации аутологичных гемопоэтических стволовых клеток // *Клиническая онкогематология*. 2021. Т. 14, № 1. С. 73–79.
15. Olson T. L., Pollack M. M., Dávila Saldaña B. J., Patel A. K. Hospital survival following pediatric HSCT: changes in complications, ICU therapies and outcomes over 10 years // *Frontiers in Pediatrics*. 2023. Vol. 11. Art. 1247792. doi: 10.3389/fped.2023.1247792.
16. Bhatia S., Dai C., Landier W., Hageman L., Wu J., Schlichting E., Siler A., Funk E., Hicks J., Lim S., Balas N., Bosworth A., Te H. S., Francisco L., Bhatia R., Salzman D., Goldman F. D., Forman S. J., Weisdorf D. J., Wong F. L., Armenian S. H., Arora M. Trends in late mortality and life expectancy after autologous blood or marrow transplantation over three decades: a BMTSS report // *Journal of Clinical Oncology*. 2022. Vol. 40. P. 1991–2003. doi: 10.1200/JCO.21.02372.
17. Baker J. K., Shank-Coviello J., Zhou B., Dixon J., McCorkle R., Sarpong D., Medoff E., Cooper D., Seropian S., Dai F. Cardiotoxicity in Hematopoietic Stem Cell Transplant: Keeping the Beat // *Clinical Lymphoma, Myeloma & Leukemia*. 2020. Vol. 20, no. 4. P. 244–251.e4. doi: 10.1016/j.clml.2019.12.027.
18. Gent D. G., Saif M., Dobson R., Wright D. J. Cardiovascular Disease After Hematopoietic Stem Cell Transplantation in Adults: JACC: CardioOncology State of the Art Review // *JACC: CardioOncology*. 2024. Vol. 6, no. 4. P. 475–495. doi: 10.1016/j.jacc.2024.06.004.
19. Krishan S., Asad Z. U. A., Quiroga D., Ghazi S. M., Quartermaine C., Braunstein Z., Kola-Kehinde O., Shaaban A., Habib A., Khan S., Cheng R., Brammer J. E., Addison D. Comparison of atrial fibrillation prevalence and in-hospital cardiovascular outcomes between patients undergoing allogeneic versus autologous hematopoietic stem cell transplantation: insights from the national inpatient sample // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 16829. doi: 10.1038/s41598-024-65294-9.

20. Vasbinder A., Hoeger C. W., Catalan T., Anderson E., Chu C., Kotzin M., Xie J., Kaakati R., Berlin H. P., Shadid H., Perry D., Pan M., Takiar R., Padalia K., Mills J., Meloche C., Bardwell A., Rochlen M., Blakely P., Leja M., Banerjee M., Riwes M., Magenau J., Anand S., Ghosh M., Pawarode A., Yanik G., Nathan S., Maciejewski J., Okwuosa T., Hayek S. S. Cardiovascular Events After Hematopoietic Stem Cell Transplant: Incidence and Risk Factors // *JACC: CardioOncology*. 2023. Vol. 5, no. 6. P. 821-832. doi: 10.1016/j.jacc.2023.07.007.
21. Mandala E., Lafara K., Kokkinovasilis D., Kalafatis I., Koukoulitsa V., Katodritou E., Lafaras C. Applied Cardio-Oncology in Hematological Malignancies: A Narrative Review // *Life*. 2024. Vol. 14. Art. 524. doi: 10.3390/life14040524.
22. Alizadehasl A., Ghadimi N., Hosseinifard H., Roudini K., Emami A. H., Ghavamzadeh A., Khoda-Amorzideh D. Cardiovascular diseases in patients after hematopoietic stem cell transplantation: systematic review and meta-analysis // *Current Research in Translational Medicine*. 2023. Vol. 71, no. 1. Art. 103363. doi: 10.1016/j.retram.2022.103363.
23. Hayek S. S., Zaha V. G., Bogle C., Deswal A., Langston A., Rotz S., Vasbinder A., Yang E., Okwuosa T., American Heart Association Cardio-Oncology Committee of the Council on Clinical Cardiology and Council on Genomic and Precision Medicine, the Council on Cardiovascular and Stroke Nursing. Cardiovascular management of patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation: from pretransplantation to survivorship: a scientific statement from the American Heart Association // *Circulation*. 2024. Vol. 149, no. 16. P. e1113–e1127. doi: 10.1161/CIR.0000000000001220.
24. Yin X., Fan F., Zhang B., Hu Y., Sun C. Cardiovascular-specific mortality among multiple myeloma patients: a population-based study // *Therapeutic Advances in Hematology*. 2022. Vol. 13. Art. 20406207221086755. doi: 10.1177/20406207221086755.
25. Lyon A. R., López-Fernández T., Couch L. S., Asteggiano R., Aznar M. C., Bergler-Klein J., Boriani G., Cardinale D., Cordoba R., Cosyns B., Cutter D. J., de Azambuja E., de Boer R. A., Dent S. F., Farmakis D., Gevaert S. A., Gorog D. A., Herrmann J., Lenihan D., Moslehi J., Moura B., Salinger S. S., Stephens R., Suter T. M., Szmít S., Tamargo J., Thavendiranathan P., Tocchetti C. G., van der Meer P., van der Pal H. J. H., ESC Scientific Document Group 2022 ESC Guidelines on cardio-oncology developed in collaboration with the European Hematology Association (EHA), the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO) and the International Cardio-Oncology Society (IC-OS) // *European Heart Journal*. 2022. Vol. 43, no. 41. P. 4229–4361. doi: 10.1093/eurheartj/ehac244.
26. Савченко В. Г., Менделеева Л. П., Паровичникова Е. Н. и др. Трансплантация аутологичных гемопоэтических стволовых клеток при гемобластозах: методическое руководство. Москва, 2020. С. 96.
27. Множественная миелома. Российские клинические рекомендации по диагностике и лечению злокачественных лимфопролиферативных заболеваний. Москва, 2025. 89 с.
28. Данилова О. Е., Гиматдинова Г. Р., Давыдкин И. Л., Терешина О. В., Сабанова В. Д., Давыдкин Г. И. Новые подходы к оценке сердечно-сосудистой токсичности у пациентов с гематологическими злокачественными опухолями (обзор литературы) // *Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика*. 2023. Т. 16, № 3. С. 331–336.
29. Sabanova V. D., Naumova K. V., Cherenova S. G., Davydkin I. L. Endothelial dysfunction in patients with chronic myeloid leukemia treated with second generation tyrosine kinase inhibitors // *Clinical Oncohematology. Fundamental Research and Clinical Practice*. 2024. Vol. 17, no. S3. P. 72–73.
30. Черенова С. Г., Наумова К. В., Давыдкин И. Л., Степанова Т. Ю., Сабанова В. Д. Применение бозутиниба для лечения пациентов с хроническим миелолейкозом и его влияние на сердечно-сосудистую систему (литературный обзор) // *Бюллетень медицинской науки*. 2023. № 1. С. 141–146. doi: 10.31684/25418475-2023-1-141.
31. Rotz S. J., Ryan T. D., Jodele S., Jefferies J. L., Lane A., Pate A., Hirsch R., Hlavaty J., Levesque A. E., Taylor M. D., Cash M., Myers K. C., El-Bietar J. A., Davies S. M., Dandoy C. E. The injured heart: early cardiac effects of hematopoietic stem cell transplantation in children and young adults // *Bone Marrow Transplantation*. 2017. Vol. 52, no. 8. P. 1171–1179. doi: 10.1038/bmt.2017.62.
32. Потемкина Н. А. Кардиоваскулярные методы исследования в оценке риска высокодозной химиотерапии и трансплантации гемопоэтических стволовых клеток у пациентов с гемобластомами: автореф. дис. канд. мед. наук. Москва, 2024. 24 с.
33. Саржевский В. О., Колесникова Д. С., Мельниченко В. Я. Биохимические маркеры кардиотоксичности высокодозной химиотерапии с аутологичной трансплантацией гемопоэтических стволовых клеток при злокачественных лимфопролиферативных заболеваниях // *Клиническая онкогематология*. 2016. Т. 9, № 4. С. 465–473.
34. Колесникова Д. С. Оценка кардиотоксических эффектов высокодозной химиотерапии с трансплантацией аутологичных стволовых кровяных клеток при злокачественных лимфомах: автореф. дис. канд. мед. наук. Москва, 2017. 25 с.
35. Uchida K., Yuan X., McArthur J., Lassiter R., Pan H., Keerthi D., Tsai K., Avent Y., Hines M., Martinez H. R., Qudeimat A., Ghafoor S. Elevation of NT-proBNP levels in pediatric and young adult hematopoietic stem cell transplant patients with endotheliopathy // *Pediatric Reports*. 2024. Vol. 16, no. 4. P. 934–944. doi: 10.3390/pediatric16040080.

36. Roziakova L., Bojtarova E., Mistrik M., Dubrava J., Gergel J., Lenkova N., Mladosevicova B. Serial measurements of cardiac biomarkers in patients after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation // *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*. 2012. Vol. 31. Art. 13. doi: 10.1186/1756-9966-31-13.
37. Se Z., Zhou H., Li H., Sun J., Zhan Q., Zeng Q., Liu Q., Xu D. Clinical characteristics of patients with different N-terminal pro-brain natriuretic peptide levels after hematopoietic stem cell transplantation // *Disease Markers*. 2020. Art. 8839336. doi: 10.1155/2020/8839336.
38. Чаулин А. М., Григорьева Ю. В. Основные аспекты биохимии, физиологии сердечных тропонинов // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. № 6 (96). С. 129–133. doi: 10.23670/IRJ.2020.96.6.064.
39. Cardinale D., Iacopo F., Cipolla C. M. Cardiotoxicity of Anthracyclines // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2020. Vol. 7. Art. 26. doi: 10.3389/fcvm.2020.00026.
40. Chauin A. The Main Causes and Mechanisms of Increase in Cardiac Troponin Concentrations Other Than Acute Myocardial Infarction (Part 1): Physical Exertion, Inflammatory Heart Disease, Pulmonary Embolism, Renal Failure, Sepsis // *Vascular Health and Risk Management*. 2021. Vol. 17. P. 601–617. doi: 10.2147/VHRM.S327661.
41. Michel L., Mincu R. I., Mahabadi A. A., Settelmeier S., Al-Rashid F., Rassaf T., Totzeck M. Troponins and brain natriuretic peptides for the prediction of cardiotoxicity in cancer patients: A meta-analysis // *European Journal of Heart Failure*. 2020. Vol. 22. P. 350–361. doi: 10.1002/ejhf.1631.
42. de Almeida L. B., Laterza M. C., Rondon M. U. P. B., Toschi-Dias E., de Matos L. D. N. J., Oliveira C. C., Trevizan P. F., Martinez D. G. High-dose chemotherapy impairs cardiac autonomic control of hospitalized cancer patients undergoing autologous hematopoietic stem cell transplantation // *Clinical Lymphoma, Myeloma and Leukemia*. 2023. Vol. 23, no. 3. P. e131–e138. doi: 10.1016/j.clml.2022.12.010.
43. Jones M., O'Gorman P., Kelly C., Mahon N., Fitzgibbon M. C. High-sensitive cardiac troponin-I facilitates timely detection of subclinical anthracycline-mediated cardiac injury // *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*. 2017. Vol. 54, no. 1. P. 149–157. doi: 10.1177/0004563216650464.
44. Лёвина В. Д., Полтавская М. Г., Чомахидзе П. Ш., Мещеряков А. А., Болотина Л. В., Дешкина Т. И., Валиулина Д. С., Герасимов А. Н., Андреева О. В., Шмелёва А. А., Фашафша З., Левшина А. Р., Седов В. П. Высококочувствительный тропонин I как предиктор дисфункции левого желудочка при применении кардиотоксичных противоопухолевых препаратов для лечения рака молочной железы у больных с преимущественно низким и промежуточным риском кардиотоксичности // *Российский кардиологический журнал*. 2022. Т. 27, № 11. С. 5210. doi: 10.15829/1560-4071-2022-5210.
45. Lv X., Pan C., Guo H., Chang J., Gao X., Wu X., Zhi X., Ren C., Chen Q., Jiang H., Zhao X., Liu K., Li Y. Early diagnostic value of high-sensitivity cardiac troponin T for cancer treatment-related cardiac dysfunction: a meta-analysis // *ESC Heart Failure*. 2023. Vol. 10, no. 4. P. 2170–2182. doi: 10.1002/ehf2.14373.
46. Gangaraju R., Chen Y., Hageman L., Landier W., Balas N., Ross E., Francisco L., Bosworth A., Te H. S., Wong F. L., Weisdorf D. J., Bhatia R., Forman S. J., Armenian S. H., Bhatia S. Prediction of coronary heart disease events in blood or marrow transplantation recipients // *JACC: CardioOncology*. 2023. Vol. 5, no. 4. P. 504–517. doi: 10.1016/j.jacc.2023.03.013.
47. Suzuki T., Hayashi D., Yamazaki T., Mizuno T., Kanda Y., Komuro I., Kurabayashi M., Yamaoki K., Mitani K., Hirai H., Nagai R., Yazaki Y. Elevated B-type natriuretic peptide levels after anthracycline administration // *American Heart Journal*. 1998. Vol. 136, no. 2. P. 362–363. doi: 10.1053/hj.1998.v136.89908.
48. Hall C. NT-ProBNP: the mechanism behind the marker // *Journal of Cardiac Failure*. 2005. Vol. 11, no. 5. P. S81–S83. doi: 10.1016/j.cardfail.2005.04.019.
49. Галявич А. С., Терещенко С. Н., Ускач Т. М., Агеев Ф. Т., Аронов Д. М., Арутюнов Г. П., Беграмбекова Ю. Л., Беленков Ю. Н., Бойцов С. А., Бубнова М. Г., Васюк Ю. А., Виллевалде С. В., Виноградова Н. Г., Гарганеева А. А., Гендлин Г. Е., Гиляревский С. Р., Глезер М. Г., Готье С. В., Гринштейн Ю. И., Довженко Т. В., Драпкина О. М., Дупляков Д. В., Жиров И. В., Затейщиков Д. А., Звартау Н. Э., Иртыга О. Б., Кобалава Ж. Д., Козиолова Н. А., Коротеев А. В., Либис Р. А., Лопатин Ю. М., Мареев В. Ю., Мареев Ю. В., Мацкеплишвили С. Т., Михайлов Е. Н., Насонова С. Н., Нарусов О. Ю., Недогада С. В., Недошивин А. О., Овчинников А. Г., Орлова Я. А., Перепеч Н. Б., Погосова Н. В., Римская Е. М., Самко А. Н., Саидова М. А., Сапельников О. В., Сафиуллина А. А., Ситникова М. Ю., Скворцов А. А., Скибицкий В. В., Стукалова О. В., Тарловская Е. И., Терещенко А. С., Чесникова А. И., Федотов П. А., Фомин И. В., Хасанов Н. Р., Шевченко А. О., Шапошник И. И., Шария М. А., Шляхто Е. В., Явелов И. С., Якушин С. С. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024 // *Российский кардиологический журнал*. 2024. Т. 29, № 11. С. 6162. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6162.
50. Madamanchi C., Alhosaini H., Sumida A., Runge M. S. Obesity and natriuretic peptides, BNP and NT-proBNP: mechanisms and diagnostic implications for heart failure // *International Journal of Cardiology*. 2014. Vol. 176, no. 3. P. 611–617. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.08.007.
51. Kumar L., Vijayvergiya R., Jain A., Singh C., Jain A., Prakash G., Khadwal A., Malhotra P. Incidence, risk factors and early prediction of doxorubicin-induced cardiotoxicity by global longitudinal strain and cardiac biomarkers in Indian patients with lymphoma: a prospective observational study // *Clinical Lymphoma, Myeloma and Leukemia*. 2025. Vol. 25, no. 3. P. e143–e150.
52. Poręba M., Gać P., Usnarska-Zubkiewicz L., Pilecki W., Kuliczkowski K., Mazur G., Gonerska M., Sobieszkańska M., Poręba R. Evaluation of the impact of treatment with hematopoietic stem cells transplantation

- (HSCT) on biochemical markers of heart function and novel electrocardiographic markers of repolarization in patients with hematological malignancies // *Medical Oncology*. 2018. Vol. 35, no. 12. Art. 162. doi: 10.1007/s12032-018-1221-5.
53. Attanasio U., Di Sarro E., Tricarico L., Di Lisi D., Armentaro G., Miceli S., Fioretti F., Deidda M., Corrales M., Novo G., Sciacqua A., Nodari S., Cadeddu C., Tocchetti C. G., Palazzuoli A., Mercurio V. Cardiovascular biomarkers in cardio-oncology: antineoplastic drug cardiotoxicity and beyond // *Biomolecules*. 2024. Vol. 14, no. 2. Art. 199. doi: 10.3390/biom14020199.
54. Murtagh G., Januzzi J. L., Scherrer-Crosbie M., Neilan T. G., Dent S., Ho J. E., Appadurai V., McDermott R., Akhter N. Circulating cardiovascular biomarkers in cancer therapeutics-related cardiotoxicity: review of critical challenges, solutions, and future directions // *Journal of the American Heart Association*. 2023. Vol. 12, no. 21. Art. e029574. doi: 10.1161/JAHA.123.029574.
55. Joolharzadeh P., Rodriguez M., Zaghlool R., Pedersen L. N., Jimenez J., Bergom C., Mitchell J. D. Recent advances in serum biomarkers for risk stratification and patient management in cardio-oncology // *Current Cardiology Reports*. 2023. Vol. 25, no. 3. P. 133–146. doi: 10.1007/s11886-022-01834-x.
56. Graf I., Greiner G., Marculescu R., Gleixner K. V., Herndlhofer S., Stefanzi G., Knoebl P., Jäger U., Hauswirth A., Schwarzinger I., Thalhammer R., Kundi M., Hoermann G., Mitterbauer-Hohendanner G., Valent P., Sperr W. R. N-terminal pro-brain natriuretic peptide is a prognostic marker for response to intensive chemotherapy, early death, and overall survival in acute myeloid leukemia // *American Journal of Hematology*. 2023. Vol. 98, no. 2. P. 290–299. doi: 10.1002/ajh.26805.
57. Habibollahzadeh N., Yavari S., Mirazimi Y., Aghayan A. H., Davoudian A., Rafiee M. MicroRNAs utilization as effective factors on hematopoietic stem cell transplantation, its outcomes and prognosis; a comprehensive systematic review // *BMC Cancer*. 2024. Vol. 24. Art. 890. doi: 10.1186/s12885-024-12640-9.
58. Moscoso I., Rodríguez-Mañero M., Cebro-Márquez M., Vilar-Sánchez M. E., Serrano-Cruz V., Vidal-Abejón I., Martínez-Monzonis M. A., Mazón-Ramos P., Pedreira M., González-Juanatey J. R., Lage R. Transforming cardiotoxicity detection in cancer therapies: the promise of microRNAs as precision biomarkers // *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25, no. 22. Art. 11910. doi: 10.3390/ijms252211910.
59. Alexandraki A., Papageorgiou E., Zacharia M., Keramida K., Papakonstantinou A., Cipolla C. M., Tsekoura D., Naka K., Mazzocco K., Mauri D., Tsiknakis M., Manikis G. C., Marias K., Marcou Y., Kakouri E., Konstantinou I., Daniel M., Galazi M., Kampouroglou E., Ribnikar D., Brown C., Karanasiou G., Antoniadis A., Fotiadis D., Filippatos G., Constantinidou A. New insights in the era of clinical biomarkers as potential predictors of systemic therapy-induced cardiotoxicity in women with breast cancer: a systematic review // *Cancers*. 2023. Vol. 15, No. 13. Art. 3290. doi: 10.3390/cancers15133290.
60. Lakhani H. V., Pillai S. S., Zehra M., Dao B., Tirona M. T., Thompson E., Sodhi K. Detecting early onset of anthracyclines-induced cardiotoxicity using a novel panel of biomarkers in West-Virginian population with breast cancer // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Art. 7954. doi: 10.1038/s41598-021-87209-8. PMID: 33846495. PMCID: PMC8041906.
61. Dong R., Zhang M., Hu Q., Zheng S., Soh A., Zheng Y., Yuan H. Galectin-3 as a novel biomarker for disease diagnosis and a target for therapy (Review) // *International Journal of Molecular Medicine*. 2018. Vol. 41, no. 2. P. 599–614. doi: 10.3892/ijmm.2017.3311.
62. Sharma U. C., Pokharel S., van Brakel T. J., van Berlo J. H., Cleutjens J. P., Schroen B., André S., Crijns H. J., Gabius H. J., Maessen J., Pinto Y. M. Galectin-3 marks activated macrophages in failure-prone hypertrophied hearts and contributes to cardiac dysfunction // *Circulation*. 2004. Vol. 110, no. 19. P. 3121–3128. doi: 10.1161/01.CIR.0000147181.65298.4D.
63. Srivatsan V., George M., Shanmugam E. Utility of galectin-3 as a prognostic biomarker in heart failure: where do we stand? // *European Journal of Preventive Cardiology*. 2015. Vol. 22, no. 9. P. 1096–1110. doi: 10.1177/2047487314552797.
64. Chen A., Hou W., Zhang Y., Chen Y., He B. Prognostic value of serum galectin-3 in patients with heart failure: a meta-analysis // *International Journal of Cardiology*. 2015. Vol. 182. P. 168–170. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.12.137.
65. Poręba M., Gać P., Usnarska-Zubkiewicz L., Pilecki W., Kuliczowski K., Mazur G., Sobieszcańska M., Poręba R. The analysis of the parameters of 24-hr ECG Holter monitoring in patients with blood neoplasms undergoing high-dose chemotherapy and stem cell transplantation // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2018. Vol. 23, no. 4. Art. e12534. doi: 10.1111/anec.12534.
66. Spînu Ș., Cismaru G., Boarescu P. M., Istratoaie S., Negru A. G., Lazea C., Căinap S. S., Iacob D., Grosu A. I., Saraci G., Burz C., Cismaru A. C. ECG markers of cardiovascular toxicity in adult and pediatric cancer treatment // *Disease Markers*. 2021. Art. 6653971. doi: 10.1155/2021/6653971.
67. Miller W. P., Shanley R., Dorostkar P. Cardiac QTc interval characteristics before and after hematopoietic stem cell transplantation: an analysis of 995 consecutive patients at a single center // *Bone Marrow Transplantation*. 2015. Vol. 50, no. 7. P. 954–960. doi: 10.1038/bmt.2015.64.
68. Васюк Ю. А., Гендлин Г. Е., Емелина Е. И., Шупенина Е. Ю., Баллюзек М. Ф., Барина И. В., Виценя М. В., Давыдкин И. Л., Дундуа Д. П., Дупляков Д. В., Затеищников Д. А., Золотовская И. А., Конради А. О., Лопатин Ю. М., Моисеева О. М., Недогода С. В., Недошивин А. О., Никитин И. Г., Полтавская М. Г., Потиевская В. И., Репин А. Н., Сумин А. Н., Зотова Г. А., Тумян Г. С., Шляхто Е. В., Хатьков И. Е., Якушин С. С.,

Беленков Ю. Н. Согласованное мнение российских экспертов по профилактике, диагностике и лечению сердечно-сосудистой токсичности противоопухолевой терапии // Российский кардиологический журнал. 2021. Т. 26, № 9. С. 4703. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4703.

69. Watanabe M., Yakushijin K., Tanaka H., Chijiki R., Saeki M., Hirakawa Y., Takakura H., Usui Y., Ichikawa H., Sakai R., Matsumoto S., Nagao S., Mizutani Y., Kurata K., Kitao A., Miyata Y., Saito Y., Kawamoto S., Yamamoto K., Ito M., Matsuoka H., Minami H. Global longitudinal strain is superior to ejection fraction for long-term follow-up after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation // *eJHaem*. 2022. Vol. 4, no. 1. P. 192–198. doi: 10.1002/jha2.586.

70. Thavendiranathan P., Poulin F., Lim K. D., Plana J. C., Woo A., Marwick T. H. Use of myocardial strain imaging by echocardiography for the early detection of cardiotoxicity in patients during and after cancer chemotherapy: a systematic review // *Journal of the American College of Cardiology*. 2014. Vol. 63, no. 25, Pt A. P. 2751–2768. doi: 10.1016/j.jacc.2014.01.073.

71. Oikonomou E. K., Kokkinidis D. G., Kampaktsis P. N., Amir E. A., Marwick T. H., Gupta D., Thavendiranathan P. Assessment of prognostic value of left ventricular global longitudinal strain for early prediction of chemotherapy-induced cardiotoxicity: a systematic review and meta-analysis // *JAMA Cardiology*. 2019. Vol. 4. P. 1007–1018. doi: 10.1001/jamacardio.2019.2952.

72. Voigt J. U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T. H., Houle H., Baumann R., Pedri S., Ito Y., Abe Y., Metz S., Song J. H., Hamilton J., Sengupta P. P., Koliass T. J., d'Hooge J., Aurigemma G. P., Thomas J. D., Badano L. P. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging // *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2015. Vol. 16, no. 1. P. 1–11.

73. Park J. J., Park J. B., Park J. H., Cho G. Y. Global longitudinal strain to predict mortality in patients with acute heart failure // *Journal of the American College of Cardiology*. 2018. Vol. 71, no. 18. P. 1947–1957.

74. Wei X., Lin L., Zhang G., Zhou X. Cardiovascular magnetic resonance imaging in the early detection of cardiotoxicity induced by cancer therapies // *Diagnostics*. 2022. Vol. 12, no. 8. Art. 1846. doi: 10.3390/diagnostics12081846.

75. Omidi A., Weiss E., Trankle C. R., Rosu-Bubulac M., Wilson J. S. Quantitative assessment of radiotherapy-induced myocardial damage using MRI: a systematic review // *Cardio-Oncology*. 2023. Vol. 9, no. 1. Art. 24. doi: 10.1186/s40959-023-00175-0.

76. Vaitiekienė A., Kulboke M., Biesevičienė M., Jankauskas A., Bartnykaitė A., Rinkuniene D., Strazdiene I., Lidziute E., Jankauskaite D., Gaidamavicius I., Bucius P., Lapinskas T., Gerbutavicius R., Juozaityte E., Vaskelyte J. J., Vaitiekus D., Sakalyte G. T1 mapping in cardiovascular magnetic resonance - a marker of diffuse myocardial fibrosis in patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation // *Journal of Personalized Medicine*. 2024. Vol. 14, no. 4. Art. 412. doi: 10.3390/jpm14040412.

77. Paiman E. H. M., Louwerens M., Bresters D., Westenberg J. J. M., Tao Q., van der Geest R. J., Lankester A. C., Roest A. A. W., Lamb H. J. Late effects of pediatric hematopoietic stem cell transplantation on left ventricular function, aortic stiffness and myocardial tissue characteristics // *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2019. Vol. 21. Art. 6. doi: 10.1186/s12968-018-0513-4.

78. Plana J., Thavendiranathan P., Bucciarelli-Ducci C., Lancellotti P. Multi-modality imaging in the assessment of cardiovascular toxicity in the cancer patient // *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2018. Vol. 11, no. 8. P. 1173–1186. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.06.003.

79. Becker M. M. C., Arruda G. F. A., Berenguer D. R. F., Buril R. O., Cardinale D., Brandão S. C. S. Anthracycline cardiotoxicity: current methods of diagnosis and possible role of 18F-FDG PET/CT as a new biomarker // *Cardio-Oncology*. 2023. Vol. 9, no. 1. Art. 17. doi: 10.1186/s40959-023-00161-6.

80. Kim J., Feller E. D., Chen W., Liang Y., Dilsizian V. FDG PET/CT for early detection and localization of left ventricular assist device infection: impact on patient management and outcome // *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2019. Vol. 12, no. 4. P. 722–729. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.01.024.

81. Simoni L. J. C., Brandão S. C. S. New imaging methods for detection of drug-induced cardiotoxicity in cancer patients // *Current Cardiovascular Imaging Reports*. 2017. Vol. 10, no. 6. Art. 1–11. doi: 10.1007/s12410-017-9415-3.

82. Mahabadi A. A., Rischpler C. Cardiovascular imaging in cardio-oncology // *Journal of Thoracic Disease*. 2018. Vol. 10, suppl. 35. P. S4351–S4366. doi: 10.21037/jtd.2018.10.92.

83. Wetscherek M. T. A., McNaughton E., Majcher V., Wetscherek A., Sadler T. J., Alsinbili A., Teh W. H., Moore S. D., Patel N., Smith W. P. W., Krishnan U. Incidental coronary artery calcification on non-gated CT thorax correlates with risk of cardiovascular events and death // *European Radiology*. 2023. Vol. 33, no. 7. P. 4723–4733. doi: 10.1007/s00330-023-09428-z.

84. Lehmann N., Erbel R., Mahabadi A. A., Rauwolf M., Möhlenkamp S., Moebus S., Kälsch H., Budde T., Schmermund A., Stang A., Führer-Sakel D., Weimar C., Roggenbuck U., Dragano N., Jöckel K. H.; Heinz Nixdorf Recall Study Investigators. Value of progression of coronary artery calcification for risk prediction of coronary and cardiovascular events: result of the HNR study (Heinz Nixdorf Recall) // *Circulation*. 2018. Vol. 137, no. 7. P. 665–679. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.027034.

85. Patel S., Franco F. X., McDonald M., Rivera C., Perez-Villa B., Collier P., Moudgil R., Gupta N., Sadler D. B. Use of computed tomography coronary calcium score for prediction of cardiovascular events in cancer patients: a retrospective cohort analysis // *Cardio-Oncology*. 2024. Vol. 10, no. 1. Art. 1. doi: 10.1186/s40959-023-00196-9.
86. Borowiec A., Ozdowska P., Rosinska M., Zebrowska A. M., Jagiello-Gruszczyk A., Jasek S., Waniewska J., Kotowicz B., Kosela-Paterczyk H., Lampka E., Pogoda K., Cieszanowski A., Nowecki Z., Walewski J. Coronary artery calcium score and other risk factors in patients at moderate and high risk of cancer therapy-related cardiovascular toxicity // *Cardio-Oncology*. 2024. Vol. 10, no. 1. Art. 64. doi: 10.1186/s40959-024-00266-6.

References

- Jain D., Russell R. R., Schwartz R. G., Panjath G. S., Aronow W. Cardiac complications of cancer therapy: pathophysiology, identification, prevention, treatment, and future directions. *Current Cardiology Reports*. 2017; 19, (5); 36. doi: 10.1007/s11886-017-0846-x.
- Schlitt A., Jordan K., Vordermark D., Schwamborn J., Langer T., Thomssen C. Cardiotoxicity and oncological treatments. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2014; 111 (10): 161–168. doi: 10.3238/arztebl.2014.0161.
- Silver R. T., Woolf S. H., Hehlmann R., Appelbaum F. R., Anderson J., Bennett C., Goldman J. M., Guilhot F., Kantarjian H. M., Lichtin A. E., Talpaz M., Tura S. An evidence-based analysis of the effect of busulfan, hydroxyurea, interferon, and allogeneic bone marrow transplantation in treating the chronic phase of chronic myeloid leukemia: developed for the American Society of Hematology. *Blood*. 1999; 94 (5): 1517–1536.
- Cortes J. E., Saglio G., Kantarjian H. M., Baccarani M., Mayer J., Boqué C., Shah N. P., Chuah C., Casanova L., Bradley-Garelik B., Manos G., Hochhaus A. Final 5-year study results of DASISION: the dasatinib versus imatinib study in treatment-naïve chronic myeloid leukemia patients trial. *Journal of Clinical Oncology*. 2016; 34 (20): 2333–2340. doi: 10.1200/JCO.2015.64.8899.
- Hochhaus A., Saglio G., Hughes T. P., Larson R. A., Kim D. W., Issaragrisil S., le Coutre P. D., Etienne G., Dorlhiac-Llacer P. E., Clark R. E., Flinn I. W., Nakamae H., Donohue B., Deng W., Dalal D., Menssen H. D., Kantarjian H. M. Long-term benefits and risks of frontline nilotinib vs imatinib for chronic myeloid leukemia in chronic phase: 5-year update of the randomized ENESTnd trial. *Leukemia*. 2016; 30 (5): 1044–1054. doi: 10.1038/leu.2016.5.
- Eichhorst B., Fink A. M., Bahlo J., Busch R., Kovacs G., Maurer C., Lange E., Köppler H., Kiehl M., Sökler M., Schlag R., Vehling-Kaiser U., Köchling G., Plöger C., Gregor M., Plesner T., Trneny M., Fischer K., Döhner H., Kneba M., Wendtner C. M., Klapper W., Kreuzer K. A., Stilgenbauer S., Böttcher S., Hallek M.; International group of investigators; German CLL Study Group (GCLLSG). First-line chemoimmunotherapy with bendamustine and rituximab versus fludarabine, cyclophosphamide, and rituximab in patients with advanced chronic lymphocytic leukaemia (CLL10): an international, open-label, randomised, phase 3, non-inferiority trial. *The Lancet Oncology*. 2016; 17 (7): 928–942. doi: 10.1016/S1470-2045(16)30051-1.
- Mateos M. V., Sonneveld P., Hungria V., Nooka A. K., Estell J. A., Barreto W. G., Corradini P., Min C., Medvedova E., Weisel K. C., Chiu C., Schecter J., Amin H., Qin X., Qi M., Spencer A. Efficacy and safety of daratumumab, bortezomib, and dexamethasone (D-Vd) versus bortezomib and dexamethasone (Vd) in first relapse patients with multiple myeloma (MM): four-year update of CASTOR. *Journal of Clinical Oncology*. 2019; 37 (15); suppl.: 8040.
- Kravchenko J., Berry M., Arbeev K. Cardiovascular comorbidities and survival of lung cancer patients: Medicare data based analysis. *Lung Cancer*. 2015; 88 (1): 85–93.
- Thomas E. D., Lochte H. L., Lu W. C., Ferrebee J. W. Intravenous infusion of bone marrow in patients receiving radiation and chemotherapy. *New England Journal of Medicine*. 1957; 257 (1): 491–496. doi: 10.1056/nejm195709122571102.
- Appelbaum F. R., Sullivan K. M., Buckner C. D., Clift R. A., Deeg H. J., Fefer A., Hill R., Mortimer J., Neiman P. E., Sanders J. E., Singer J. E., Stewart P., Storb R. Treatment of malignant lymphoma in 100 patients with chemotherapy, total body irradiation, and marrow transplantation. *Journal of Clinical Oncology*. 1987; 5 (9): 1340–1347.
- Phillips G. L., Reece D. E. Clinical studies of autologous bone marrow transplantation in Hodgkin's disease. *Clinical Haematology*. 1986; 15 (1): 151–166.
- Phelan R., Chen M., Bupp C., Bolon Y. T., Broglie L., Brunner-Grady J., Burns L. J., Chhabra S., Christianson D., Cusatis R., Devine S. M., D'Souza A., Eapen M., Hamadani M., Hengen M., Lee S. J., Moskop A., Page K. M., Pasquini M., Pérez W. S., Riches M., Rizzo D., Saber W., Spellman S. R., Stefanski H. E., Steinert P., Weisdorf D., Horowitz M., Auletta J. J., Shaw B. E., Arora M. Updated Trends in Hematopoietic Cell Transplantation in the United States with an Additional Focus on Adolescent and Young Adult Transplantation Activity and Outcomes. *Transplant Cell Therapy*. 2022; 28 (7): 409.e1–409.e10. doi: 10.1016/j.jct.2022.04.012.
- Maschan M. A., Skorobogatova E. V., Shelikhova L. N., Balashov D. N., Blagonravova O. L., Dolgoplov I. S., Subbotina N. N., Vakhonina L. V., Fechina L.G., Mentkevich G.L., Paina O. V., Gevorgian A. G., Bykova T. A., Dinikina Iu. V., Subora A. Iu., Bronin G. O., Alianskii A. L., Novichkova G. A., Maschan A. A., Zubarovskaia L. S. Hematopoietic stem cell transplantation in children in Russia: a brief overview of activity in 2015–2018. *Voprosy gematologii/onkologii i immunopatologii v pediatrii = Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2020; 19 (2): 22–29. (In Russ.).
- Kostroma I. I., Zherniakova A. A., Zapreeva I. M., Sidorova Zh. Iu., Semenova N. Iu., Kariagina E. V., Stepchenkova E. I., Bessmeltcev S. S., Chechetkin A. V., Gritcaev S. V. A retrospective analysis of the survival

- of patients with multiple myeloma after autologous hematopoietic stem cell transplantation. *Klinicheskaya onkologiya = Clinical oncology*. 2021; 14 (1): 73–79. (In Russ.).
15. Olson T. L., Pollack M. M., Dávila Saldaña B. J., Patel A. K. Hospital survival following pediatric HSCT: changes in complications, ICU therapies and outcomes over 10 years. *Frontiers in Pediatrics*. 2023; 11: 1247792. doi: 10.3389/fped.2023.1247792.
 16. Bhatia S., Dai C., Landier W., Hageman L., Wu J., Schlichting E., Siler A., Funk E., Hicks J., Lim S., Balas N., Bosworth A., Te H. S., Francisco L., Bhatia R., Salzman D., Goldman F. D., Forman S. J., Weisdorf D. J., Wong F. L., Armenian S. H., Arora M. Trends in late mortality and life expectancy after autologous blood or marrow transplantation over three decades: a BMTSS report. *Journal of Clinical Oncology*. 2022; 40: 1991–2003. doi: 10.1200/JCO.21.02372.
 17. Baker J. K., Shank-Coviello J., Zhou B., Dixon J., McCorkle R., Sarpong D., Medoff E., Cooper D., Seropian S., Dai F. Cardiotoxicity in Hematopoietic Stem Cell Transplant: Keeping the Beat. *Clinical Lymphoma, Myeloma & Leukemia*. 2020; 20 (4): 244–251.e4. doi: 10.1016/j.clml.2019.12.027.
 18. Gent D. G., Saif M., Dobson R., Wright D. J. Cardiovascular Disease After Hematopoietic Stem Cell Transplantation in Adults: JACC: CardioOncology State of the Art Review. *JACC: CardioOncology*. 2024; 6 (4): 475–495. DOI: 10.1016/j.jacc.2024.06.004.
 19. Krishan S., Asad Z. U. A., Quiroga D., Ghazi S. M., Quartermaine C., Braunstein Z., Kola-Kehinde O., Shaaban A., Habib A., Khan S., Cheng R., Brammer J. E., Addison D. Comparison of atrial fibrillation prevalence and in-hospital cardiovascular outcomes between patients undergoing allogeneic versus autologous hematopoietic stem cell transplantation: insights from the national inpatient sample. *Scientific Reports*. 2024; 14: 16829. doi: 10.1038/s41598-024-65294-9.
 20. Vasbinder A., Hoeger C. W., Catalan T., Anderson E., Chu C., Kotzin M., Xie J., Kaakati R., Berlin H. P., Shadid H., Perry D., Pan M., Takiar R., Padalia K., Mills J., Meloche C., Bardwell A., Rochlen M., Blakely P., Leja M., Banerjee M., Riwes M., Magenau J., Anand S., Ghosh M., Pawarode A., Yanik G., Nathan S., Maciejewski J., Okwuosa T., Hayek S. S. Cardiovascular Events After Hematopoietic Stem Cell Transplant: Incidence and Risk Factors. *JACC: CardioOncology*. 2023; 5 (6): 821–832. doi: 10.1016/j.jacc.2023.07.007.
 21. Mandala E., Lafara K., Kokkinovasilis D., Kalafatis I., Koukoulitsa V., Katodritou E., Lafaras C. Applied Cardio-Oncology in Hematological Malignancies: A Narrative Review. *Life*. 2024; 14: 524. doi: 10.3390/life14040524.
 22. Alizadehasl A., Ghadimi N., Hosseini-fard H., Roudini K., Emami A. H., Ghavamzadeh A., Khoda-Amorzideh D. Cardiovascular diseases in patients after hematopoietic stem cell transplantation: systematic review and meta-analysis. *Current Research in Translational Medicine*. 2023; 71 (1): 103363. doi: 10.1016/j.retram.2022.103363.
 23. Hayek S. S., Zaha V. G., Bogle C., Deswal A., Langston A., Rotz S., Vasbinder A., Yang E., Okwuosa T., American Heart Association Cardio-Oncology Committee of the Council on Clinical Cardiology and Council on Genomic and Precision Medicine, the Council on Cardiovascular and Stroke Nursing. Cardiovascular management of patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation: from pretransplantation to survivorship: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2024; 149 (16): e1113–e1127. doi: 10.1161/CIR.0000000000001220.
 24. Yin X., Fan F., Zhang B., Hu Y., Sun C. Cardiovascular-specific mortality among multiple myeloma patients: a population-based study. *Therapeutic Advances in Hematology*. 2022; 13: 20406207221086755. doi: 10.1177/20406207221086755.
 25. Lyon A. R., López-Fernández T., Couch L. S., Asteggiano R., Aznar M. C., Bergler-Klein J., Boriani G., Cardinale D., Cordoba R., Cosyns B., Cutter D. J., de Azambuja E., de Boer R. A., Dent S. F., Farmakis D., Gevaert S. A., Gorog D. A., Herrmann J., Lenihan D., Moslehi J., Moura B., Salinger S. S., Stephens R., Suter T. M., Szmit S., Tamargo J., Thavendiranathan P., Tocchetti C. G., van der Meer P., van der Pal H. J. H., ESC Scientific Document Group 2022 ESC Guidelines on cardio-oncology developed in collaboration with the European Hematology Association (EHA), the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO) and the International Cardio-Oncology Society (IC-OS). *European Heart Journal*. 2022; 43 (41): 4229–4361. doi: 10.1093/eurheartj/ehac244.
 26. Savchenko V. G., Mendeleeva L. P., Parovichnikova E. N. i dr. Autologous hematopoietic stem cell transplantation in hemoblastosis: a methodological guide. Moscow: 2020: 96 p. (In Russ.).
 27. Multiple myeloma. Russian clinical guidelines for the diagnosis and treatment of malignant lymphoproliferative diseases. Moscow: 2025: 89 p. (In Russ.).
 28. Danilova O. E., Gimatdinova G. R., Davydkin I. L., Tereshina O. V., Sabanova V. D., Davydkin G. I. New approaches to the assessment of cardiovascular toxicity in patients with hematological malignant tumors (review). *Klinicheskaya onkologiya. Fundamentalnye issledovaniya i klinicheskaya praktika = Clinical oncology. Fundamental research and clinical practice*. 2023; 16 (3): 331–336 (In Russ.).
 29. Sabanova V. D., Naumova K. V., Cherenova S. G., Davydkin I. L. Endothelial dysfunction in patients with chronic myeloid leukemia treated with second generation tyrosine kinase inhibitors. *Clinical Oncology. Fundamental Research and Clinical Practice*. 2024; 17 (S3): 72–73.
 30. Cherenova S. G., Naumova K. V., Davydkin I. L., Stepanova T. Iu., Sabanova V. D. Use of Bosutinib for the Treatment of Patients with Chronic Myeloid Leukemia and Its Impact on the Cardiovascular System (review). *Byulleten medicinskoy nauki = Bulletin of medical science*. 2023; 1: 141–146. doi: 10.31684/25418475-2023-1-141 (In Russ.).

31. Rotz S. J., Ryan T. D., Jodele S., Jefferies J. L., Lane A., Pate A., Hirsch R., Hlavaty J., Levesque A. E., Taylor M. D., Cash M., Myers K. C., El-Bietar J. A., Davies S. M., Dandoy C. E. The injured heart: early cardiac effects of hematopoietic stem cell transplantation in children and young adults. *Bone Marrow Transplantation*. 2017; 52 (8): 1171–1179. doi: 10.1038/bmt.2017.62.
32. Potemkina N. A. Cardiovascular research methods in assessing the risk of high-dose chemotherapy and hematopoietic stem cell transplantation in patients with hemoblastosis: Abstract of thesis of Candidate of Medical Sciences. Moscow: 2024: 24 p. (In Russ.).
33. Sarzhevskii V. O., Kolesnikova D. S., Melnichenko V. Ia. Biochemical markers of cardiotoxicity of high-dose chemotherapy with autologous hematopoietic stem cell transplantation in malignant lymphoproliferative diseases. *Klinicheskaja onkogematologija = Clinical oncohematology*. 2016; 9 (4): 465–473 (In Russ.).
34. Kolesnikova D. S. Assessment of cardiotoxic effects of high-dose chemotherapy with autologous hematopoietic stem cell transplantation in malignant lymphomas: Abstract of thesis of Candidate of Medical Sciences. Moscow: 2017. 25 p. (In Russ.).
35. Uchida K., Yuan X., McArthur J., Lassiter R., Pan H., Keerthi D., Tsai K., Avent Y., Hines M., Martinez H. R., Qudeimat A., Ghafoor S. Elevation of NT-proBNP levels in pediatric and young adult hematopoietic stem cell transplant patients with endotheliopathy. *Pediatric Reports*. 2024; 16 (4): 934–944. doi: 10.3390/pediatric16040080.
36. Roziakova L., Bojtarova E., Mistrik M., Dubrava J., Gergel J., Lenkova N., Mladosevicova B. Serial measurements of cardiac biomarkers in patients after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*. 2012; 31; 13. doi: 10.1186/1756-9966-31-13.
37. Se Z., Zhou H., Li H., Sun J., Zhan Q., Zeng Q., Liu Q., Xu D. Clinical characteristics of patients with different N-terminal probrain natriuretic peptide levels after hematopoietic stem cell transplantation. *Disease Markers*. 2020; 8839336. doi: 10.1155/2020/8839336.
38. Chaulin A. M., Grigoreva Iu. V. The main aspects of biochemistry and physiology of cardiac troponins. // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2020; 6 (96): 129–133. doi: 10.23670/IRJ.2020.96.6.064 (In Russ.).
39. Cardinale D., Iacopo F., Cipolla C. M. Cardiotoxicity of Anthracyclines. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2020; 7; 26. doi: 10.3389/fcvm.2020.00026.
40. Chauin A. The Main Causes and Mechanisms of Increase in Cardiac Troponin Concentrations Other Than Acute Myocardial Infarction (Part 1): Physical Exertion, Inflammatory Heart Disease, Pulmonary Embolism, Renal Failure, Sepsis. *Vascular Health and Risk Management*. 2021; 17: 601–617. doi: 10.2147/VHRM.S327661.
41. Michel L., Mincu R. I., Mahabadi A. A., Settlemeyer S., Al-Rashid F., Rassaf T., Totzeck M. Troponins and brain natriuretic peptides for the prediction of cardiotoxicity in cancer patients: A meta-analysis. *European Journal of Heart Failure*. 2020; 22: 350–361. doi: 10.1002/ejhf.1631.
42. de Almeida L. B., Laterza M. C., Rondon M. U. P. B., Toschi-Dias E., de Matos L. D. N. J., Oliveira C. C., Trevizan P. F., Martinez D. G. High-dose chemotherapy impairs cardiac autonomic control of hospitalized cancer patients undergoing autologous hematopoietic stem cell transplantation. *Clinical Lymphoma, Myeloma and Leukemia*. 2023; 23 (3): e131–e138. doi: 10.1016/j.clml.2022.12.010.
43. Jones M., O'Gorman P., Kelly C., Mahon N., Fitzgibbon M. C. High-sensitive cardiac troponin-I facilitates timely detection of subclinical anthracycline-mediated cardiac injury. *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*. 2017; 54 (1): 149–157. doi: 10.1177/0004563216650464.
44. Levina V. D., Poltavskaja M. G., Chomakhidze P. Sh., et al. Highly sensitive troponin I as a predictor of left ventricular dysfunction in the use of cardiotoxic anticancer drugs for the treatment of breast cancer in patients with a predominantly low and intermediate risk of cardiotoxicity. *Rossiiskiy kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2022; 27 (11): 5210. doi: 10.15829/1560-4071-2022-5210 (In Russ.).
45. Lv X., Pan C., Guo H., Chang J., Gao X., Wu X., Zhi X., Ren C., Chen Q., Jiang H., Zhao X., Liu K., Li Y. Early diagnostic value of high-sensitivity cardiac troponin T for cancer treatment-related cardiac dysfunction: a meta-analysis. *ESC Heart Failure*. 2023; 10 (4): 2170–2182. doi: 10.1002/ehf2.14373.
46. Gangaraju R., Chen Y., Hageman L., Landier W., Balas N., Ross E., Francisco L., Bosworth A., Te H. S., Wong F. L., Weisdorf D. J., Bhatia R., Forman S. J., Armenian S. H., Bhatia S. Prediction of coronary heart disease events in blood or marrow transplantation recipients. *JACC: CardioOncology*. 2023; 5 (4): 504–517. doi: 10.1016/j.jacc.2023.03.013.
47. Suzuki T., Hayashi D., Yamazaki T., Mizuno T., Kanda Y., Komuro I., Kurabayashi M., Yamaoki K., Mitani K., Hirai H., Nagai R., Yazaki Y. Elevated B-type natriuretic peptide levels after anthracycline administration. *American Heart Journal*. 1998; 136 (2): 362–363. doi: 10.1053/hj.1998.v136.89908.
48. Hall C. NT-ProBNP: the mechanism behind the marker. *Journal of Cardiac Failure*. 2005; 11 (5): S81–S83. doi: 10.1016/j.cardfail.2005.04.019.
49. Galiavich A. S., Tereshchenko S. N., Uskach T. M., et al. Chronic heart failure. Clinical guidelines for 2024. *Rossiiskiy kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2024; 29 (11): 6162. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6162 (In Russ.).
50. Madamanchi C., Alhosaini H., Sumida A., Runge M. S. Obesity and natriuretic peptides, BNP and NT-proBNP: mechanisms and diagnostic implications for heart failure. *International Journal of Cardiology*. 2014; 176 (3): 611–617. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.08.007.

51. Kumar L., Vijayvergiya R., Jain A., Singh C., Jain A., Prakash G., Khadwal A., Malhotra P. Incidence, risk factors and early prediction of doxorubicin-induced cardiotoxicity by global longitudinal strain and cardiac biomarkers in Indian patients with lymphoma: a prospective observational study. *Clinical Lymphoma, Myeloma and Leukemia*. 2025; 25 (3): e143–e150.
52. Poręba M., Gać P., Usnarska-Zubkiewicz L., Pilecki W., Kuliczkowski K., Mazur G., Gonerska M., Sobieszcańska M., Poręba R. Evaluation of the impact of treatment with hematopoietic stem cells transplantation (HSCT) on biochemical markers of heart function and novel electrocardiographic markers of repolarization in patients with hematological malignancies. *Medical Oncology*. 2018; 35 (12): 162. doi: 10.1007/s12032-018-1221-5.
53. Attanasio U., Di Sarro E., Tricarico L., Di Lisi D., Armentaro G., Miceli S., Fioretti F., Deidda M., Correale M., Novo G., Sciacqua A., Nodari S., Cadeddu C., Tocchetti C. G., Palazzuoli A., Mercurio V. Cardiovascular biomarkers in cardio-oncology: antineoplastic drug cardiotoxicity and beyond. *Biomolecules*. 2024; 14 (2): 199. doi: 10.3390/biom14020199.
54. Murtagh G., Januzzi J. L., Scherrer-Crosbie M., Neilan T. G., Dent S., Ho J. E., Appadurai V., McDermott R., Akhter N. Circulating cardiovascular biomarkers in cancer therapeutics-related cardiotoxicity: review of critical challenges, solutions, and future directions. *Journal of the American Heart Association*. 2023; 12 (21): e029574. doi: 10.1161/JAHA.123.029574.
55. Joolharzadeh P., Rodriguez M., Zaghlool R., Pedersen L. N., Jimenez J., Bergom C., Mitchell J. D. Recent advances in serum biomarkers for risk stratification and patient management in cardio-oncology. *Current Cardiology Reports*. 2023; 25 (3): 133–146. doi: 10.1007/s11886-022-01834-x.
56. Graf I., Greiner G., Marculescu R., Gleixner K. V., Herndlhofer S., Stefanzi G., Knoebl P., Jäger U., Hauswirth A., Schwarzinger I., Thalhammer R., Kundi M., Hoermann G., Mitterbauer-Hohendanner G., Valent P., Sperr W. R. N-terminal pro-brain natriuretic peptide is a prognostic marker for response to intensive chemotherapy, early death, and overall survival in acute myeloid leukemia. *American Journal of Hematology*. 2023; 98 (2): 290–299. doi: 10.1002/ajh.26805.
57. Habibollahzadeh N., Yavari S., Mirazimi Y., Aghayan A. H., Davoudian A., Rafiee M. MicroRNAs utilization as effective factors on hematopoietic stem cell transplantation, its outcomes and prognosis; a comprehensive systematic review. *BMC Cancer*. 2024; 24: 890. doi: 10.1186/s12885-024-12640-9.
58. Moscoso I., Rodríguez-Mañero M., Cebro-Márquez M., Vilar-Sánchez M. E., Serrano-Cruz V., Vidal-Abejón I., Martínez-Monzonis M. A., Mazón-Ramos P., Pedreira M., González-Juanatey J. R., Lage R. Transforming cardiotoxicity detection in cancer therapies: the promise of microRNAs as precision biomarkers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25 (22): 11910. doi: 10.3390/ijms252211910.
59. Alexandraki A., Papageorgiou E., Zacharia M., Keramida K., Papakonstantinou A., Cipolla C. M., Tsekoura D., Naka K., Mazzocco K., Mauri D., Tsiknakis M., Manikis G. C., Marias K., Marcou Y., Kakouri E., Konstantinou I., Daniel M., Galazi M., Kampouroglou E., Ribnikar D., Brown C., Karanasiou G., Antoniadis A., Fotiadis D., Filippatos G., Constantinidou A. New insights in the era of clinical biomarkers as potential predictors of systemic therapy-induced cardiotoxicity in women with breast cancer: a systematic review. *Cancers*. 2023; 15 (13): 3290. doi: 10.3390/cancers15133290.
60. Lakhani H. V., Pillai S. S., Zehra M., Dao B., Tirona M. T., Thompson E., Sodhi K. Detecting early onset of anthracyclines-induced cardiotoxicity using a novel panel of biomarkers in West-Virginian population with breast cancer. *Scientific Reports*. 2021; 11: 7954. doi: 10.1038/s41598-021-87209-8. PMID: 33846495. PMCID: PMC8041906.
61. Dong R., Zhang M., Hu Q., Zheng S., Soh A., Zheng Y., Yuan H. Galectin-3 as a novel biomarker for disease diagnosis and a target for therapy (Review). *International Journal of Molecular Medicine*. 2018; 41 (2): 599–614. doi: 10.3892/ijmm.2017.3311.
62. Sharma U. C., Pokharel S., van Brakel T. J., van Berlo J. H., Cleutjens J. P., Schroen B., André S., Crijns H. J., Gabius H. J., Maessen J., Pinto Y. M. Galectin-3 marks activated macrophages in failure-prone hypertrophied hearts and contributes to cardiac dysfunction. *Circulation*. 2004; 110 (19): 3121–3128. doi: 10.1161/01.CIR.0000147181.65298.4D.
63. Srivatsan V., George M., Shanmugam E. Utility of galectin-3 as a prognostic biomarker in heart failure: where do we stand? *European Journal of Preventive Cardiology*. 2015; 22 (9): 1096–1110. doi: 10.1177/2047487314552797.
64. Chen A., Hou W., Zhang Y., Chen Y., He B. Prognostic value of serum galectin-3 in patients with heart failure: a meta-analysis. *International Journal of Cardiology*. 2015; 182: 168–170. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.12.137.
65. Poręba M., Gać P., Usnarska-Zubkiewicz L., Pilecki W., Kuliczkowski K., Mazur G., Sobieszcańska M., Poręba R. The analysis of the parameters of 24-hr ECG Holter monitoring in patients with blood neoplasms undergoing high-dose chemotherapy and stem cell transplantation. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2018; 23 (4): e12534. doi: 10.1111/anec.12534.
66. Spînu Ș., Cismaru G., Boarescu P. M., Istratoaie S., Negru A. G., Lazea C., Căinap S. S., Iacob D., Grosu A. I., Saraci G., Burz C., Cismaru A. C. ECG markers of cardiovascular toxicity in adult and pediatric cancer treatment. *Disease Markers*. 2021; 6653971. doi: 10.1155/2021/6653971.

67. Miller W. P., Shanley R., Dorostkar P. Cardiac QTc interval characteristics before and after hematopoietic stem cell transplantation: an analysis of 995 consecutive patients at a single center. *Bone Marrow Transplantation*. 2015; 50 (7): 954–960. doi: 10.1038/bmt.2015.64.
68. Vasyuk Yu. A., Gendlin G. E., Emelina E. I., et al. Consensus statement of Russian experts on the prevention, diagnosis and treatment of cardiotoxicity of anticancer therapy. *Rossiiskiy kardiologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26 (9): 4703. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4703 (In Russ.).
69. Watanabe M., Yakushijin K., Tanaka H., Chijiki R., Saeki M., Hirakawa Y., Takakura H., Usui Y., Ichikawa H., Sakai R., Matsumoto S., Nagao S., Mizutani Y., Kurata K., Kitao A., Miyata Y., Saito Y., Kawamoto S., Yamamoto K., Ito M., Matsuoka H., Minami H. Global longitudinal strain is superior to ejection fraction for long-term follow-up after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *eJHaem*. 2022; 4 (1): 192–198. doi: 10.1002/jha2.586.
70. Thavendiranathan P., Poulin F., Lim K. D., Plana J. C., Woo A., Marwick T. H. Use of myocardial strain imaging by echocardiography for the early detection of cardiotoxicity in patients during and after cancer chemotherapy: a systematic review. *Journal of the American College of Cardiology*. 2014; 63 (25), pt. A: 2751–2768. doi: 10.1016/j.jacc.2014.01.073.
71. Oikonomou E. K., Kokkinidis D. G., Kampaktis P. N., Amir E. A., Marwick T. H., Gupta D., Thavendiranathan P. Assessment of prognostic value of left ventricular global longitudinal strain for early prediction of chemotherapy-induced cardiotoxicity: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Cardiology*. 2019; 4: 1007–1018. doi: 10.1001/jamacardio.2019.2952.
72. Voigt J. U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T. H., Houle H., Baumann R., Pedri S., Ito Y., Abe Y., Metz S., Song J. H., Hamilton J., Sengupta P. P., Kolias T. J., d'Hooge J., Aurigemma G. P., Thomas J. D., Badano L. P. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging*. 2015; 16 (1): 1–11.
73. Park J. J., Park J. B., Park J. H., Cho G. Y. Global longitudinal strain to predict mortality in patients with acute heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 71 (18): 1947–1957.
74. Wei X., Lin L., Zhang G., Zhou X. Cardiovascular magnetic resonance imaging in the early detection of cardiotoxicity induced by cancer therapies. *Diagnostics*. 2022; 12 (8): 1846. doi: 10.3390/diagnostics12081846.
75. Omidi A., Weiss E., Trankle C. R., Rosu-Bubulac M., Wilson J. S. Quantitative assessment of radiotherapy-induced myocardial damage using MRI: a systematic review. *Cardio-Oncology*. 2023; 9 (1): 24. doi: 10.1186/s40959-023-00175-0.
76. Vaitiekiene A., Kulboke M., Bieseveciene M., Jankauskas A., Bartnykaite A., Rinkuniene D., Straziene I., Lidziute E., Jankauskaite D., Gaïdamavicius I., Bucius P., Lapinskas T., Gerbutavicius R., Juozaityte E., Vaskelyte J. J., Vaitiekus D., Sakalyte G. T1 mapping in cardiovascular magnetic resonance - a marker of diffuse myocardial fibrosis in patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation. *Journal of Personalized Medicine*. 2024; 14 (4): 412. doi: 10.3390/jpm14040412.
77. Paiman E. H. M., Louwerens M., Bresters D., Westenberg J. J. M., Tao Q., van der Geest R. J., Lankester A. C., Roest A. A. W., Lamb H. J. Late effects of pediatric hematopoietic stem cell transplantation on left ventricular function, aortic stiffness and myocardial tissue characteristics. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2019; 21; 6. doi: 10.1186/s12968-018-0513-4.
78. Plana J., Thavendiranathan P., Bucciarelli-Ducci C., Lancellotti P. Multi-modality imaging in the assessment of cardiovascular toxicity in the cancer patient. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2018; 11 (8): 1173–1186. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.06.003.
79. Becker M. M. C., Arruda G. F. A., Berenguer D. R. F., Buril R. O., Cardinale D., Brandão S. C. S. Anthracycline cardiotoxicity: current methods of diagnosis and possible role of 18F-FDG PET/CT as a new biomarker. *Cardio-Oncology*. 2023; 9 (1): 17. doi: 10.1186/s40959-023-00161-6.
80. Kim J., Feller E. D., Chen W., Liang Y., Dilsizian V. FDG PET/CT for early detection and localization of left ventricular assist device infection: impact on patient management and outcome. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2019; 12 (4): 722–729. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.01.024.
81. Simoni L. J. C., Brandão S. C. S. New imaging methods for detection of drug-induced cardiotoxicity in cancer patients. *Current Cardiovascular Imaging Reports*. 2017; 10 (6): 1–11. doi: 10.1007/s12410-017-9415-3.
82. Mahabadi A. A., Rischpler C. Cardiovascular imaging in cardio-oncology. *Journal of Thoracic Disease*. 2018; 10, suppl. 35: S4351–S4366. doi: 10.21037/jtd.2018.10.92.
83. Wetscherek M. T. A., McNaughton E., Majcher V., Wetscherek A., Sadler T. J., Alsinbili A., Teh W. H., Moore S. D., Patel N., Smith W. P. W., Krishnan U. Incidental coronary artery calcification on non-gated CT thorax correlates with risk of cardiovascular events and death. *European Radiology*. 2023; 33 (7): 4723–4733. doi: 10.1007/s00330-023-09428-z.
84. Lehmann N., Erbel R., Mahabadi A. A., Rauwolf M., Möhlenkamp S., Moebus S., Kälsch H., Budde T., Schmermund A., Stang A., Führer-Sakel D., Weimar C., Roggenbuck U., Dragano N., Jöckel K. H.; Heinz Nixdorf Recall Study Investigators. Value of progression of coronary artery calcification for risk prediction of coronary and cardiovascular events: result of the HNR study (Heinz Nixdorf Recall). *Circulation*. 2018; 137 (7): 665–679. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.027034.

85. Patel S., Franco F. X., McDonald M., Rivera C., Perez-Villa B., Collier P., Moudgil R., Gupta N., Sadler D. B. Use of computed tomography coronary calcium score for prediction of cardiovascular events in cancer patients: a retrospective cohort analysis. *Cardio-Oncology*. 2024; 10 (1); 1. doi: 10.1186/s40959-023-00196-9.

86. Borowiec A., Ozdowska P., Rosinska M., Zebrowska A. M., Jagiello-Gruszczyk A., Jasek S., Waniewska J., Kotowicz B., Kosela-Paterczyk H., Lampka E., Pogoda K., Cieszanowski A., Nowecki Z., Walewski J. Coronary artery calcium score and other risk factors in patients at moderate and high risk of cancer therapy-related cardiovascular toxicity. *Cardio-Oncology*. 2024; 10 (1); 64. doi: 10.1186/s40959-024-00266-6.

Информация об авторах

В. С. Подсевалов, аспирант кафедры госпитальной терапии с курсами гематологии и трансфузиологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия, ORCID: 0009-0000-0359-3719, e-mail: v.s.podsevalov@mail.ru;

В. Д. Сабанова, ассистент кафедры госпитальной терапии с курсами гематологии и трансфузиологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия, ORCID: 0000-0003-0296-4236, e-mail: v.d.sabanova@samsmu.ru;

О. А. Германова, доктор медицинских наук, директор МНОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия, ORCID: 0000-0003-4833-4563, e-mail: o.a.germanova@samsmu.ru;

И. Л. Давыдкин, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии с курсами гематологии и трансфузиологии, директор НИИ гематологии, трансфузиологии и интенсивной терапии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия, ORCID: 0000-0002-4318-4247, e-mail: i.l.davydkin@samsmu.ru.

Information about the authors

V. S. Podsevalov, Assistant of the Department, Samara State Medical University, Samara, Russia, ORCID: 0009-0000-0359-3719, e-mail: v.s.podsevalov@mail.ru;

V. D. Sabanova, Assistant of the Department, Samara, Russia, ORCID: 0000-0003-0296-4236, e-mail: v.d.sabanova@samsmu.ru;

O. A. Germanova, Dr. Sci. (Med.), Director of the International Research Center, Samara State Medical University, Samara, Russia, ORCID: 0000-0003-4833-4563, e-mail: o.a.germanova@samsmu.ru;

I. L. Davydkin, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department, Director of the Research Institute, Samara State Medical University, Samara, Russia, ORCID: 0000-0002-4318-4247, e-mail: i.l.davydkin@samsmu.ru.

Статья поступила в редакцию 07.04.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 26.06.2025.

The article was submitted 07.04.2025; approved after reviewing 16.06.2025; accepted for publication 26.06.2025.