

**ОЦЕНКА ФРАКЦИИ ВЫБРОСА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА С ПОМОЩЬЮ КИНО-МРТ БЕЗ ЗАДЕРЖКИ ДЫХАНИЯ И СИНХРОНИЗАЦИИ С ЭКГ**Стукалова О.В.<sup>1,2</sup>, Беляевская А.А.<sup>3</sup>, Терновой С.К.<sup>1,3</sup>

1 – ФГБУ НМИЦ Кардиологии им. академика Е.И. Чазова МЗ РФ. г. Москва, Россия.

2 – ФГБОУ ДПО РМАНПО (Российская Медицинская Академия Непрерывного Профессионального Образования) МЗ РФ. г. Москва, Россия.

3 – ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский университет). г. Москва, Россия.

**Цель исследования.** Оценить информативность методик изучения функции левого желудочка (ЛЖ) сердца с помощью кино-МРТ без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, а также с помощью стандартной кино-МРТ с повторными задержками дыхания, выполненной после введения контрастного препарата.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 43 пациента с различными заболеваниями, обследование выполнялось на МР-томографе 1,5 Т. Всем пациентам, помимо полного обследования по протоколу, соответствующему предполагаемому диагнозу больного, были выполнены кино-МРТ по стандартной методике до и после введения контрастного препарата и кино-МРТ в режиме «real-time» без синхронизации с ЭКГ и задержки дыхания. Для контрастирования использовался гадолиний-содержащий контрастный препарат в доле 0,15 ммоль/кг веса пациента.

Оценивалось качество изображений и количество артефактов на всех трех сериях изображений. Для оценки согласованности между парами измерений фракции выброса применялось построение графика Бланда-Альтмана (Bland-Altman). Количественная оценка согласованности между измерениями выполнялась с помощью коэффициента конкордации Лина (Lin's concordance correlation coefficient).

**Результаты.** Оценка качества изображений и артефактов показала статистически незначимые различия. При сравнении фракции выброса, определенной при получении изображений с помощью кино-МРТ с повторными задержками дыхания до и после введения контрастного препарата, а также без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, достоверных различий между показателями не было получено. При построении графиков Бланда-Альтмана было выявлено, что средняя разница определения фракции выброса левого желудочка с помощью кино-МРТ до и после введения контрастного препарата составила 0,68% (от значения параметра), стандартная ошибка измерения составила 0,24%. Коэффициент корреляции согласованности Лина в этом случае составил 0,95 (95% ДИ 0,91; 0,97).

При определении фракции выброса с помощью кино-МРТ с множественными задержками дыхания и без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ средняя разница определения составила 0,7149, что составляет 0,13% от значения параметра, стандартная ошибка измерений составила 0,42%. Коэффициент корреляции согласованности Лина в этом случае составил 0,80 (95% ДИ 0,65; 0,89).

**Обсуждение.** Оценка качества изображений по визуальным критериям в баллах при использовании специальной импульсной последовательности, не требующей задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, и стандартной кино-последовательности с многократными задержками дыхания сразу после введения контрастного препарата была ниже, чем при стандартном подходе. Однако, количественный анализ не выявил достоверных различий в определении основного показателя работы левого желудочка – фракции выброса.

**Заключение.** Использование для ускорения исследования сканирования без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ позволяет получать данные для точной количественной оценки функции ЛЖ. Выполнение кино-МРТ для оценки функции ЛЖ не до, а после введения контрастного препарата (в паузу, требуемую для получения постконтрастных изображений в отсроченную фазу) снижает визуальную оценку качества изображений, но не изменяет достоверно основной показатель функции ЛЖ – фракцию выброса.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография сердца, кино-MPT, фракция выброса, ускорение исследования.

Контактный автор: Стукалова О.В., e-mail: olgastukalova@mail.ru

Для цитирования: Стукалова О.В., Беляевская А.А., Терновой С.К. Оценка фракции выброса левого желудочка с помощью кино-MPT без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ. REJR 2024; 14(1):89-97. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-1-89-97.

Статья получена: 20.12.23

Статья принята: 12.02.24

## ASSESSMENT OF LEFT VENTRICULAR EJECTION FRACTION USING CINE-MRI WITHOUT BREATH-HOLDING AND SYNCHRONIZATION WITH ECG

Stukalova O.V.<sup>1,2</sup>, Belyaevskaya A.A.<sup>3</sup>, Ternovoy S.K.<sup>1,3</sup>

1 – E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology

2 – Russian Medical Academy of Continuing Professional Education

3 – I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).

**Purpose.** To evaluate the diagnostic capabilities of the different techniques for studying the function of the left ventricle of the heart using a cine-MRI without breath-holding and ECG synchronization, as well as using a standard cine-MRI with repeated breath delays performed after administration of a contrast agent.

**Materials and methods.** The study included 43 patients with various diseases; the examination was performed on a 1.5 T MRI scanner. All patients underwent full examination according to the diagnosis and cine-MRI using standard methods before and after administration of a contrast agent and cine-MRI in “real-time” mode without ECG synchronization and holding the breath. For contrast enhancement, gadolinium-containing contrast agent was used (0.15 mmol/kg of patient weight). The quality of images and the number of artifacts in all three series of images were assessed using Bland-Altman plotting. The agreement between measurements was quantified using Lin's concordance correlation coefficient.

**Results.** Evaluation of image quality and artifacts showed statistically insignificant differences. When comparing the ejection fraction determined by obtaining images using cine-MRI with repeated breath-holds before and after the administration of a contrast agent, as well as without breath-holding and ECG synchronization, no significant differences were obtained between the indicators. When constructing Bland-Altman plots, it was revealed that the average difference in determining the left ventricular ejection fraction using cine-MRI before and after administration of a contrast agent was 0.68% (of the parameter value), the standard error of measurement was 0.24%. Lean's consistency correlation coefficient in this case was 0.95 (95% CI 0.91, 0.97). When determining ejection fraction using cine-MRI with multiple breath-holds and without breath-holds and ECG synchronization, the average difference in determination was 0.7149, which is 0.13% of the parameter value, the standard measurement error was 0.42%. Lin's consistency correlation coefficient in this case was 0.80 (95% CI 0.65, 0.89).

**Discussion.** The assessment of image quality according to visual criteria in points using a special pulse sequence that does not require breath-holding and ECG synchronization, and a standard cine sequence with multiple breath-holds immediately after the administration of a contrast agent, was lower than the standard approach. However, quantitative analysis did not reveal significant differences in determining the main indicator of left ventricular performance - ejection fraction.

**Conclusion.** The use of scanning without holding breath and ECG synchronization to accelerate the study is applicable to heart research in clinical settings, allows obtaining data for an accurate quantitative assessment of LV function. Performing cine MRI to assess LV function not before, but after the administration of a contrast agent (in the pause required to obtain postcontrast images in the delayed phase) reduces the visual assessment of image quality, but does not significantly change the main indicator of LV function – the ejection fraction.

Keywords: cardiac magnetic resonance imaging, cine MRI, ejection fraction, acceleration of the study.

Corresponding author: Stukalova O.V., e-mail: olgastukalova@mail.ru

For citation: Stukalova O.V., Beliaevskaia A.A., Ternovoy S.K. Assessment of left ventricular ejection fraction using cine-MRI without breath-holding and synchronization with ECG. REJR 2024; 14(1):89-97. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-1-89-97.

Received: 20.12.23

Accepted: 12.02.24

**М** агнитно-резонансная томография (МРТ) сердечно-сосудистой системы – универсальный метод визуализации, который позволяет оценить морфологию сердца, сократительную функцию, перфузию миокарда, такие нарушения структуры миокарда, как отек, некроз, в рамках одного исследования [1, 2]. Однако универсальность метода привела к усложнению протоколов МРТ, которые стали более сложными, но, как правило, не более быстрыми, несмотря на значительный технический прогресс.

Удлинение времени исследования сделало методику более сложной в практическом использовании, особенно у пациентов в тяжелом состоянии, которые нелегко переносят длительную неподвижность и необходимость неоднократно задерживать дыхание. Все это приводит к восприятию МРТ как длительного исследования, что ограничивает его более широкое внедрение в практическое здравоохранения.

#### **Цель исследования.**

Оценить информативность методики изучения функции левого желудочка (ЛЖ) сердца с помощью кино-МРТ без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, а также с помощью стандартной кино-МРТ с повторными задержками дыхания, выполненной после введения контрастного препарата.

#### **Материалы и методы.**

В исследование были последовательно включены 43 пациента, в стабильном состоянии, направленные на МРТ в течение одного месяца для комплексной оценки сердца с различными заболеваниями. Все они были обследованы на МР-томографе «Магнетом Аэро» с напряженностью магнитного поля 1,5 Т.

Характеристика включенных пациентов представлена в таблице №1.

Всем пациентам было выполнено стандартное исследование по протоколу, построенному в соответствии с целями исследова-

ния.

Стандартный протокол МРТ с контрастированием включал в себя следующие компоненты:

I. До введения контрастного препарата:

- локалайзер и поперечные изображения для дальнейшего позиционирования необходимых последовательностей;

- кино-МРТ в трех различных плоскостях: 2-камерная длинная ось ЛЖ (1 срез), 4-камерная длинная ось ЛЖ (1 срез), короткая ось через весь ЛЖ (количество срезов в зависимости от геометрии сердца). Кино-МРТ по короткой оси ЛЖ в дальнейшем считалось «золотым стандартом».

II. После введения контрастного препарата.

Для проведения контрастной части использовался гадолиний-содержащий контрастный препарат в дозе 0,15 ммоль/кг веса больного, выполнялась томография в режиме inversion-recovery для оценки отсроченного контрастирования.

У пациентов с подозрением на острый миокардит дополнительно выполнялись T2-взвешенные изображения и оценка раннего контрастирования, а больным с дефектом межпредсердной перегородки и дефектом межжелудочковой перегородки – фазово-контрастная ангиография с оценкой выраженности внутрисердечного сброса крови.

Дополнительно к стандартному протоколу всем пациентам выполняли:

- кино-МРТ в режиме real-time, при таком типе кино-МРТ отсутствует необходимость в синхронизации с ЭКГ и задержке дыхания;

- стандартную кино-последовательность сразу после введения контрастного препарата.

Ориентация томограмм и пространственный охват были идентичны результатам референсного исследования, в качестве которого использовали кино-МРТ с повторными задержками дыхания до введения

**Таблица №1. Характеристика больных, включенных в исследование.**

Количество пациентов	43
Из них мужчин, n (%)	25 (58)
Возраст, лет	57 ± 6,9
Диагноз (n (%)):	
ИБС, ПИКС (оценка жизнеспособности)	21 (48)
Кардиомиопатии	11 (25)
Подозрение на о. миокардит	9 (21)
Врожденный порок сердца (дефект межпредсердной перегородки, дефект межжелудочковой перегородки)	2 (0,5)
Нарушения ритма сердца (n (%)):	
Нет –	25 (58)
Желудочковая экстрасистолия –	8 (19)
Фибрилляция предсердий –	10 (23)
ХСН (n (%))	28 (65%)
Фракция выброса (n (%)):	
60% и >	23 (53)
45 – 60%	11 (26)
Менее 45%	9 (21)

контрастного препарата.

Все наборы данных были проанализированы с определением фракции выброса (ФВ) с помощью доступного программного обеспечения для анализа (Intellispace Portal, Philips) независимым специалистом, не имеющим доступа ко всей информации о пациенте.

Оценивалось качество изображений и количество артефактов на всех трех сериях.

Качество изображений оценивали по наличию на изображениях четкой эндокардиальной границы по шкале от 1 до 4 следующим образом:

1 – не определяется граница эндокарда (недиагностическое изображение),

2 – граница эндокарда нечеткая,

3 – граница эндокарда незначительно размыта,

4 – четкая граница между эндокардом и полостью ЛЖ (модифицировано по McConnell et al. [3]).

Артефакты регистрировались с оценкой от 0 до 3, следующим образом:

0 – артефакты отсутствуют,

1 – незначительный артефакт,

2 – значительный артефакт, но не влияющий на оценку изображения,

3 – значительный артефакт, деформирующий изображения.

Проанализирована сопоставимость результатов определения фракции выброса по данным различных методик исследования. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы MedCalc версия 22.005 (MedCalc Software Ltd., Бельгия). Для

оценки согласованности между парами измерений фракции выброса применялось построение графика Бланда – Альтмана (Bland-Altman) [4]. Согласованность измерений определялась, если точки на графике равномерно распределялись вокруг нулевой разницы и не имели систематических отклонений. Пределы согласия были определены как  $\pm 1,96$  SD абсолютной разницы. Качественная оценка согласованности между измерениями выполнялась с помощью коэффициента конкордации Лина (Lin's concordance correlation coefficient – CCC) [5]. Согласованность данных при CCC меньше 0,9 считалась низкой, в диапазоне от 0,90 до 0,95 – умеренной, от 0,95 до 0,99 – хорошей и >0,99 – превосходной [6].

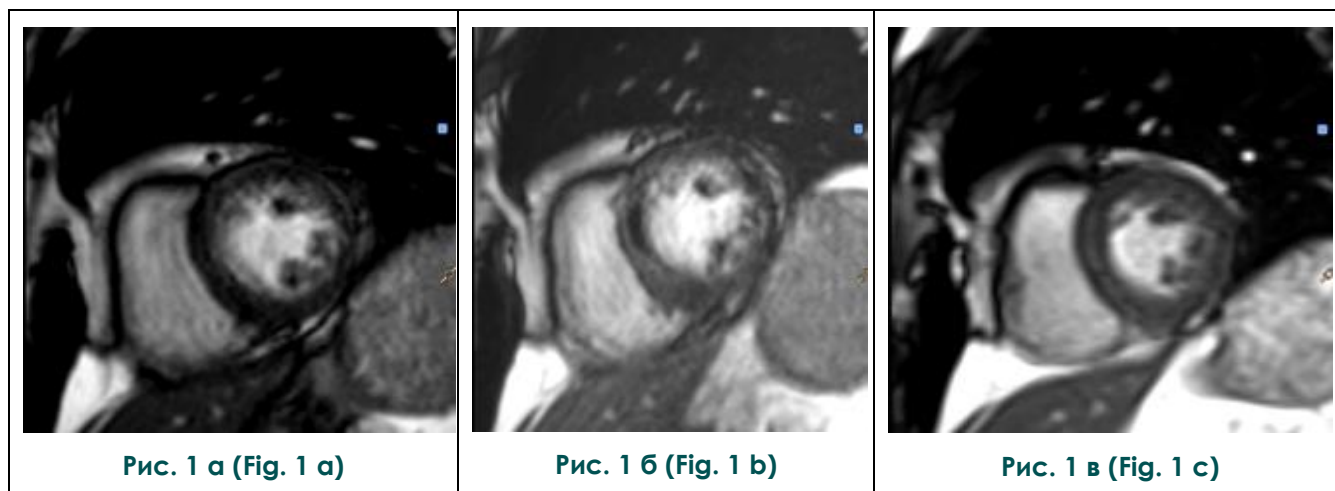
#### Результаты.

Всем пациентам был выполнен полный протокол исследования без осложнений.

Время начала и окончания исследования как по стандартному протоколу (кино-MPT с многократными задержками дыхания), так и по протоколу без задержки дыхания было зарегистрировано для всех испытуемых. Среднее значение и стандартное отклонение продолжительности томографии для функциональной визуализации по референсному методу составило  $5,8 \pm 1,9$  минуты, для исследования на свободном дыхании составило  $1,8 \pm 0,4$  минуты. Таким образом, время сканирования было сокращено на статистически значимую величину при использовании метода без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ ( $p < 0,001$ ).

На рисунке 1 показаны изображения,





**Рис. 1. МРТ сердца.**

Кино-МРТ по короткой оси левого желудочка (ЛЖ), срез на уровне базального сегмента ЛЖ, фаза конечной диастолы. а – до введения контрастного препарата; б – после введения контрастного препарата; в – кино-МРТ в режиме «real-time» без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ.

**Fig. 1. Cardiac MRI.**

Cine-MRI, the short axis of the LV, the basal segment of the LV, end-diastole phase. a – before the administration of the contrast agent; b – after the administration of the contrast agent; c – cine-MRI in “real-time” mode without holding breath and ECG-synchronization.

полученные от одного пациента с использованием каждой последовательности импульсов.

**Качество изображений.**

Показатели качества изображений, полученных без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, были ниже, чем у эталонных изображений, полученных при повторных задержках дыхания, независимо от применения контраста (табл. №2).

Оценка качества изображений и артефактов свидетельствовали об ухудшении их после контрастирования по сравнению с изображениями, полученными до введения контрастного препарата, но эти различия не были статистически значимыми (оценка качества изображения до и после контрастирования  $p = 0,14$ , оценка артефактов  $p = 0,22$ ).

Следует отметить, что в отличие от общей группы, у пациентов с нарушениями ритма сердца (независимо от основного диагноза) оценка качества изображений и артефактов были выше на томограммах, полученных без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ.

При сравнении показателей достоверных различий между значениями ФВ не было получено.

Средняя разница определения ФВ ЛЖ с помощью кино-МРТ до и после введения контрастного препарата составила 0,68% (от

значения параметра), стандартная ошибка измерения составила 0,24%. Нижняя граница пределов согласия была равна -5,9658 (95% ДИ -7,977; 3,9542), верхняя граница 7,337 (95 % ДИ 5,326; 9,348) (рис. 2 А). Коэффициент корреляции согласованности Лина в этом случае составил 0,95 (95% ДИ 0,91; 0,97)

При определении ФВ с помощью кино-МРТ с множественными задержками дыхания и без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ средняя разница определения ФВ ЛЖ составила 0,7149, что составляет 0,13% от значения параметра, стандартная ошибка измерений составила 0,42%. Нижняя граница пределов согласия была равна -13,05 (95% ДИ -17,404; -8,9818), верхняя граница 13,918 (95% ДИ 9,83; 17,9979) (рис. 2 Б). Коэффициент корреляции согласованности Лина в этом случае составил 0,80 (95% ДИ 0,65; 0,89).

Для определения ФВ ЛЖ, средние различия невелики (приблизительно 1%), а границы согласия узки, что указывает на то, что эти методы систематически дают сходные результаты.

**Обсуждение.**

Магнитно-резонансная томография сердца является ключевым исследованием в ведении пациентов с заболеваниями сердца [7, 8, 9]. Ограничением контрастной МРТ с полной оценкой морфологии, функции желу-

**Таблица №2. Оценка качества изображений и артефактов в общей группе больных.**

	Кино-МРТ до введения контрастного препарата (1)	Кино-МРТ после введения контрастного препарата (2)	Кино-МРТ без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ (real time) (3)
Качество изображений, баллы	Количество серий, качество которых было оценено в соответствии с баллами (%)		
4	76	73	66
3	13	16	20
2	10	9	13
1	1	2	1
Выраженность артефактов, баллы:	Количество серий, качество которых было оценено в соответствии с баллами (%)		
0	81	80	76
1	9	10	12
2	7	7	6
3	3	3	6

**Таблица №3. Оценка фракции выброса левого желудочка при получении изображений различными способами.**

	Фракция выброса
Кино-МРТ (TrueFISP) до введения контрастного препарата (1)	45,85 ± 11,5* 46 [11;66] **
Кино-МРТ (TrueFISP) после введения контрастного препарата (2)	45,74 ± 11,96* 45 [24;70] **
Кино-МРТ (Realttime) без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ (3)	43,81 ± 13,3* 44 [23;65] **
P <sub>1-2</sub>	0,75
P <sub>1-3</sub>	0,4

**Примечание.** \* – среднее ± стандартное отклонение, \*\* – медиана (перцентили: 25-й, 75-й)

дочков и структуры миокарда является то, что ее качественное выполнение с решением всех необходимых клинических задач требует достаточно много времени и не всегда хорошо переносится больными. Заболевания сердца могут быть причиной одышки или аритмий, которые могут повлиять на качество изображения и, соответственно, снизить информативность исследования в целом. Кроме того, многократные задержки дыхания и длительное нахождение в неподвижном состоянии может плохо переноситься больными. Особенно сложным является выполнение МРТ у больных с сердечной недостаточностью. Необходимость длительно находиться неподвижно в положении на спине с выполнением команд по задержке дыхания не только плохо переносится пациентами, но и приводит к ухудшению качества исследования и, следовательно, к сни-

жению информативности получаемого изображения.

Оценка объемов левого желудочка и ФВ ЛЖ основана на четко определенных и общепринятых протоколах МРТ [10, 11] и включает в себя получение пакета изображений левого желудочка по короткой оси, которые получают при многократных задержках дыхания. Критерии качества для этих функциональных изображений доступны и были внедрены (например, в рамках Европейского реестра CMR) [11].

Несмотря на то, что стандартные протоколы хорошо зарекомендовали себя, желательно ускорить получение изображений, чтобы уменьшить артефакты движения у тяжелобольных пациентов, которые не могут задерживать дыхание в течение длительного периода времени. В последнее время разработаны различные современные импульсные

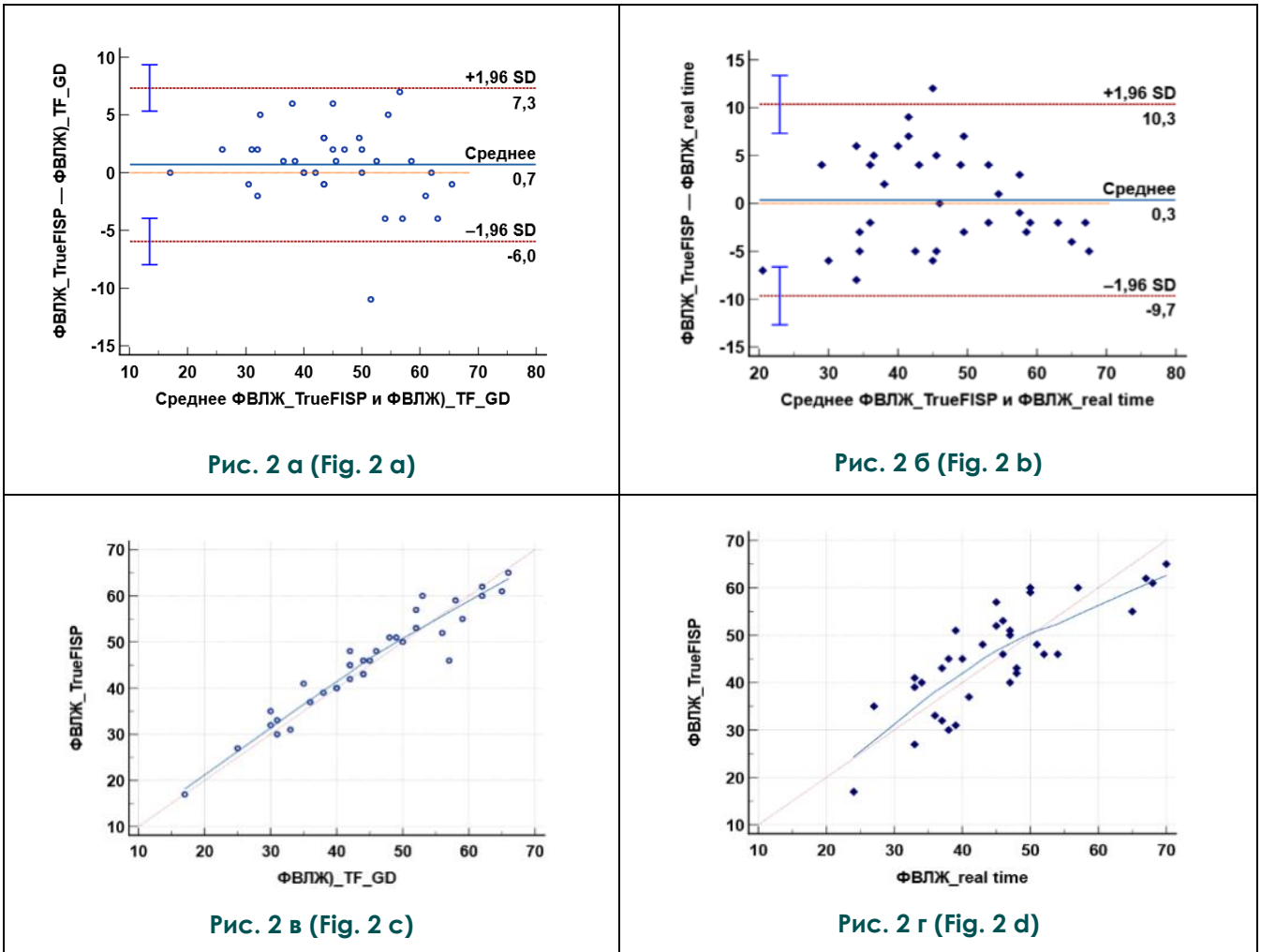


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2 в (Fig. 2 с)

Рис. 2 г (Fig. 2 д)

**Рис. 2. Диаграммы.**

а, б – графики Бланда-Альтмана, характеризующие согласованность между ФВ ЛЖ, определенными по результатам различных методик оценки ЛЖ, в качестве референсного метода использовали кино-МРТ с многократными задержками дыхания до введения контрастного препарата. Диаграммы демонстрируют распределение разностей между методами в зависимости от среднего измерений. Средняя разность между методами отображается горизонтальной синей сплошной линией. Диапазон вариации разностей (предел согласованности) представлен в виде красных пунктирных линий.

в, г – кривые корреляции согласованности определения ФВ, определенной по результатам различных методик оценки ЛЖ, в качестве референсного метода использовали кино-МРТ с многократными задержками дыхания до введения контрастного препарата.

**Fig. 2. Diagrams.**

a, b – Bland-Altman plots characterizing the agreement between LVEF determined from the results of various LV assessment methods; cine-MRI with multiple breath holds before administration of a contrast agent was used as a reference method. The diagrams show the distribution of differences between methods depending on the average of measurements. The average difference between methods is shown as a horizontal blue solid line. The red dotted lines represent the range of variation of the differences.

c, d – correlation curves for the consistency of assessment of EF determined from the results of various methods for assessing the LV; cine-MRI with multiple breath holds before administration of a contrast agent was used as a reference method.

последовательности, основанные на разнообразных физических принципах ускорения томографии, что ускоряет получение изображения в несколько раз, в то время как обычный сбор данных, охватывающий все сердце, часто длится до 10 минут [12, 13].

Уменьшение длительности исследования может улучшить переносимость исследования без ухудшения качества получаемых изображений и информативности исследования. В нашем исследовании изучались два подхода к уменьшению длительности исследования: использование специальной импульсной последовательности, не требующей задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ, и выполнение стандартной кинопоследовательности с многократными задержками дыхания сразу после введения контрастного препарата – в паузу, которая требуется для выполнения МРТ в отсроченную фазу. Следует отметить, что оценка качества изображений по визуальным критериям в обоих случаях была ниже, чем при стандартном подходе, когда томография выполнялась до введения контрастного препарата. Однако, количественный анализ, в том числе анализ сопоставимости результатов с построением графиков Бланда-Альтмана, не выявил достоверных различий в определении основного показателя работы ЛЖ – фракции выброса.

В аналогичных работах (G.Aandal, 2014, D.Voit, 2013) [14, 15] также были проанализированы различные подходы к укорочению времени исследования, в том числе

кино-МРТ без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ. Оба исследования показали хорошую сопоставимость результатов кино-МРТ в режиме «real-time» и в стандартном режиме. В работе G. Aandal (2014) было сделано предположение, что использование МРТ в режиме реального времени потенциально может привести к улучшению качества изображения у пациентов, страдающих аритмиями и не способных задерживать дыхание.

#### Заключение.

В настоящем исследовании показано, что использование для ускорения исследования кино-МРТ без задержки дыхания и синхронизации с ЭКГ позволяет получить данные для точной количественной оценки функции левого желудочка. Выполнение кино-МРТ для оценки функции ЛЖ не до, а после введения контрастного препарата (в паузу, требуемую для получения постконтрастных изображений в отсроченную фазу) снижает визуальную оценку качества изображений, но не изменяет достоверно основной показатель функции ЛЖ – фракцию выброса.

#### Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

#### Список литературы:

1. Foley J. R., C. Richmond, G. Fent, et al. *Rapid Cardiovascular Magnetic Resonance for Ischemic Heart Disease Investigation (RAPID-IHD)*, *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2020; 13: 1632-1634
2. Стукалова О.В., Пивоварова А.И., Соболева Г.Н., Терновой С.К., Карпов Ю.А. Перфузионная магнитно-резонансная томография сердца с аденозинтрифосфатом в диагностике ишемии миокарда. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2023; 13 (2): 63-74.
3. McConnell MV, Khasgiwala VC, Savord BJ, Chen MH, Chuang ML, Edelman RR, Manning WJ. Comparison of respiratory suppression methods and navigator locations for MR coronary angiography. *AJR Am J Roentgenol*. 1997; 168 (5): 1369-1375.
4. Bland JM, Altman DG. *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. *Lancet*. 1986; 1 (8476): 307-310.
5. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989; 45 (1): 255-268.
6. McBride G. B. et al. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. *NW client report: HAM2005-062*. 2005; 45: 307-310.
7. Leiner T. et al. *SCMR Position Paper on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance*. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020.
8. Deborde E. et al. *Differentiation between Fabry disease and hypertrophic cardiomyopathy with cardiac T1 mapping* *Diagn Interv Imaging*, 2020.
9. Kramer C.M. et al. *Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update* *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020.
10. Klinke V., S. Muzzarelli, N. Lauriers, et al. *Quality assessment of cardiovascular magnetic resonance in the setting of the European CMR Registry: description and validation of standardized criteria* *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 55.
11. Bruder O., A. Wagner, M. Lombardi, et al. *European Cardiovascular Magnetic Resonance (EuroCMR) Registry – multinational results from 57 centers in 15 countries* *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 2.
12. Beer M, Stamm H, Machann W, et al. *Free breathing cardiac real-time cine MR without ECG triggering*. *Int J Cardiol*. 2010; 145: 380-2. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.02.052.



13. Kuhl HP, Spuentrup E, Wall A, et al. Assessment of myocardial function with interactive non-breath-hold real-time MR imaging: comparison with echocardiography and breath-hold Cine MR imaging. *Radiology*. 2004; 231: 198-207. doi: 10.1148/radiol.2311021237

14. Aandal G., V. Nadig, V. Yeh, et al. Evaluation of left ventricular ejection fraction using through-time radial GRAPPA J

*Cardiovasc Magn Reson*. 2014; 16 (1): 79; doi: 10.1186/s12968-014-0079-8

15. Voit D, Zhang S, Unterberg-Buchwald C, Sohns JM, Lotz J, Frahm J. Real-time cardiovascular magnetic resonance at 1.5 T using balanced SSFP and 40 ms resolution. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 79. doi: 10.1186/1532-429X-15-79.

**References:**

1. Foley J. R., C. Richmond, G. Fent, et al. Rapid Cardiovascular Magnetic Resonance for Ischemic Heart Disease Investigation (RAPID-IHD), *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2020; 13: 1632-1634

2. Stukalova O.V., Pivovarova A.I., Soboleva G.N., Ternovoy S.K., Karpov Y.A. Perfusion cardiac magnetic resonance with adenosine triphosphate in the diagnosis of myocardial ischemia. *REJR*. 2023; 13 (2): 63-74. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-2-63-74 (in Russian).

3. McConnell MV, Khasgiwala VC, Savord BJ, Chen MH, Chuang ML, Edelman RR, Manning WJ. Comparison of respiratory suppression methods and navigator locations for MR coronary angiography. *AJR Am J Roentgenol*. 1997; 168 (5): 1369-1375.

4. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986; 1 (8476): 307-310.

5. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989; 45 (1): 255-268.

6. McBride G. B. et al. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. NIWA client report: HAM2005-062. 2005; 45: 307-310.

7. Leiner T. et al. SCMR Position Paper on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020.

8. Deborde E. et al. Differentiation between Fabry disease and hypertrophic cardiomyopathy with cardiac T1 mapping *Diagn Interv Imaging*, 2020.

9. Kramer C.M. et al. Standardized cardiovascular magnetic

resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020.

10. Klinke V., S. Muzzarelli, N. Lauriers, et al. Quality assessment of cardiovascular magnetic resonance in the setting of the European CMR Registry: description and validation of standardized criteria *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 55.

11. Bruder O., A. Wagner, M. Lombardi, et al. European Cardiovascular Magnetic Resonance (EuroCMR) Registry – multinational results from 57 centers in 15 countries *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 2.

12. Beer M, Stamm H, Machann W, et al. Free breathing cardiac real-time cine MR without ECG triggering. *Int J Cardiol*. 2010; 145: 380-2. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.02.052.

13. Kuhl HP, Spuentrup E, Wall A, et al. Assessment of myocardial function with interactive non-breath-hold real-time MR imaging: comparison with echocardiography and breath-hold Cine MR imaging. *Radiology*. 2004; 231: 198-207. doi: 10.1148/radiol.2311021237

14. Aandal G., V. Nadig, V. Yeh, et al. Evaluation of left ventricular ejection fraction using through-time radial GRAPPA *J Cardiovasc Magn Reson*. 2014; 16 (1): 79; doi: 10.1186/s12968-014-0079-8

15. Voit D, Zhang S, Unterberg-Buchwald C, Sohns JM, Lotz J, Frahm J. Real-time cardiovascular magnetic resonance at 1.5 T using balanced SSFP and 40 ms resolution. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15: 79. doi: 10.1186/1532-429X-15-79.