

Сравнительная оценка диагностической ценности эхокардиографии с магнитно-резонансной томографией в определении жизнеспособности дисфункционального миокарда

Крюков Н. А., Рыжков А. В., Сухова И. В., Ананьевская П. В., Фокин В. А., Гордеев М. Л.

Цель. Сравнение методов визуализации миокарда у пациентов с осложненной формой ишемической болезни сердца, выраженным снижением сократительной функции миокарда.

Материал и методы. Одноцентровое ретроспективное исследование 109 пациентов с осложненными формами ишемической болезни сердца, которые в период с 2014 г. по 2020 г. были подвергнуты хирургическому лечению. Всем пациентам было показано выполнение магнитно-резонансной томографии сердца (МРТ) с отсроченным контрастированием (МРТсОК) с целью определения жизнеспособного миокарда по причине выраженного снижения сократительной функции миокарда левого желудочка по данным эхокардиографии (ЭхоКГ) (фракция выброса $\leq 30\%$).

Результаты. Нарушения локальной сократимости по данным МРТсОК достоверно зависят от глубины накопления контрастного препарата по МРТсОК ($p < 0,0001$). Нарушения локальной сократимости по данным ЭхоКГ достоверно коррелируют с глубиной накопления контрастного препарата по МРТсОК ($p < 0,0001$). МРТсОК в импульсной последовательности Cino позволяет определить достоверно в большем количестве случаев нарушения сократимости сегментов по сравнению с ЭхоКГ ($p < 0,0001$).

Заключение. МРТ с импульсной последовательностью Cino позволило определить достоверно в большем количестве случаев нарушения сократимости сегментов по сравнению с ЭхоКГ. МРТ с отсроченным контрастированием достоверно более чувствительный метод, чем электрокардиография, в обнаружении рубцовых изменений в миокарде левого желудочка. Глубина накопления контрастного препарата по данным МРТ коррелирует с нарушением локальной сократимости по данным ЭхоКГ и МРТсОК.

Ключевые слова: МРТ сердца, ишемическая болезнь сердца, жизнеспособность миокарда, сердечная недостаточность, ишемическая кардиомиопатия, дисфункциональный миокард.

Отношения и деятельность: нет.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия.

Крюков Н. А.* — врач сердечно-сосудистый хирург отделения ССХ № 1, аспирант кафедры хирургических болезней, ORCID: 0000-0001-6185-645X, ResearcherID: X-5522-2018, Рыжков А. В. — зав. отделением магнитно-резонансной томографии, ORCID: 0000-0001-5226-1104, ResearcherID: X-8943-2018, Сухова И. В. — врач кардиолог ССХ № 1, к.м.н., ORCID: 0000-0002-7313-5307, ResearcherID: Y-7513-2018, Ананьевская П. В. — м.н.с., НИО кардиоторакальной хирургии, ORCID: 0000-0003-4725-9477, ResearcherID: Y-4435-2018, Фокин В. А. — профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации, зав. отделом лучевой диагностики, д.м.н., профессор, ORCID: 0000-0002-0539-7006, ResearcherID: P-9511-2015, Гордеев М. Л. — зав. кафедрой хирургических болезней, зав. НИО кардиоторакальной хирургии, д.м.н., профессор, ORCID: 0000-0001-5362-3226, ResearcherID: Y-6034-2018.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
Krynika@mail.ru

ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИК — искусственное кровообращение, ИМ — инфаркт миокарда, ЛЖ — левый желудочек, МРТ — магнитно-резонансная томография, МРТсОК — магнитно-резонансная томография с отсроченным контрастированием, ФВ — фракция выброса, ЭКГ — электрокардиография, ЭхоКГ — эхокардиография.

Рукопись получена 12.03.2021

Рецензия получена 15.04.2021

Принята к публикации 19.04.2021



Для цитирования: Крюков Н. А., Рыжков А. В., Сухова И. В., Ананьевская П. В., Фокин В. А., Гордеев М. Л. Сравнительная оценка диагностической ценности эхокардиографии с магнитно-резонансной томографией в определении жизнеспособности дисфункционального миокарда. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(8):4407. doi:10.15829/1560-4071-2021-4407

Comparative assessment of the diagnostic value of echocardiography and magnetic resonance imaging in determining myocardial viability

Kryukov N. A., Ryzhkov A. V., Sukhova I. V., Anan'evskaya P. V., Fokin V. A., Gordeev M. L.

Aim. To compare myocardial imaging methods in patients with complicated coronary artery disease with significantly decreased myocardial contractility.

Material and methods. This single-center retrospective study included 109 patients with complicated coronary artery disease who underwent surgical treatment between 2014 and 2020. All patients had indications for delayed contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging (MRI) in order to determine myocardial viability due to a pronounced decrease in left ventricular contractility according to echocardiography (ejection fraction (EF) $\leq 30\%$).

Results. Impairment of local contractility according to MRI and echocardiography significantly correlates with depth of contrast accumulation ($p = 0,0000000018$ and $p = 0,0000034$, respectively). Delayed contrast-enhanced cardiac MRI with cine sequences allows to determine higher number of impaired contractility cases compared with echocardiography ($p = 0,000006$).

Conclusion. MRI with cine sequence allowed to determine higher number of impaired contractility cases compared with echocardiography. Delayed contrast-

enhanced MRI is a reliably more sensitive method than electrocardiography in detecting left ventricular scarring. The depth of contrast agent accumulation correlates with local contractility impairment detected by echocardiography and delayed contrast-enhanced cardiac MRI.

Keywords: cardiac MRI, coronary artery disease, myocardial viability, heart failure, ischemic cardiomyopathy, myocardial dysfunction.

Relationships and Activities: none.

Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg, Russia.

Kryukov N. A.* ORCID: 0000-0001-6185-645X, ResearcherID: X-5522-2018, Ryzhkov A. V. ORCID: 0000-0001-5226-1104, ResearcherID: X-8943-2018, Sukhova I. V. ORCID: 0000-0002-7313-5307, ResearcherID: Y-7513-2018, Anan'evskaya P. V. ORCID: 0000-0003-4725-9477, ResearcherID: Y-4435-2018, Fokin V. A. ORCID:

0000-0002-0539-7006, ResearcherID: P-9511-2015, Gordeev M. L. ORCID: 0000-0001-5362-3226, ResearcherID: Y-6034-2018.

*Corresponding author: Krynikita@mail.ru

Received: 12.03.2021 Revision Received: 15.04.2021 Accepted: 19.04.2021

For citation: Kryukov N. A., Ryzhkov A. V., Sukhova I. V., Anan'evskaya P. V., Fokin V. A., Gordeev M. L. Comparative assessment of the diagnostic value of echocardiography and magnetic resonance imaging in determining myocardial viability. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(8):4407. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2021-4407

Выявление наличия жизнеспособного миокарда у пациентов с осложненными формами ишемической болезни сердца (ИБС) является важным аспектом в определении целесообразности выполнения прямой реваскуляризации миокарда [1]. Определение объема гибернирующего миокарда в бассейне пораженных артерий зависит от точности диагностических методов [2].

Рандомизированные исследования по оценке жизнеспособности миокарда и влияния его на прогноз проводились только для позитронно-эмиссионной томографии. Магнитно-резонансная томография (МРТ) с отсроченным контрастированием (МРТсОК) позволяет определить не только наличие поражения миокарда, как это делают изотопные методы исследования, но и дает информацию о глубине поражения [3]. Эти данные позволяют говорить о том, что существует необходимость проводить новые исследования, целью которых должно быть определение эффективности МРТсОК в выявлении жизнеспособного миокарда, а также установление роли МРТ в алгоритме отбора пациентов на коронарное шунтирование и оценке прогноза пациентов после выполненного вмешательства [4, 5].

Цель исследования: сравнение методов визуализации миокарда у пациентов с осложнённой формой ИБС, выраженным снижением сократительной функции миокарда.

Материал и методы

В ретроспективное исследование вошли 109 пациентов с осложненной формой течения ИБС, которым в период с 2014г по 2020г в ФГБУ “НМИЦ им. В. А. Алмазова” в рамках подготовки перед прямой реваскуляризацией миокарда по причине выраженного снижения сократительной функции миокарда левого желудочка (ЛЖ) по данным эхокардиографии (ЭхоКГ) (фракция выброса (ФВ) $\leq 30\%$) было показано выполнение МРТ сердца с целью определения доли жизнеспособного миокарда. Согласно принципам надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice — GCP) всем больным, вошедшим в исследование, была дана исчерпывающая информация о своём заболевании и предстоящем объеме хирургического лечения, было взято письменное согласие на операцию и обработку персональных данных. Критерии исключения: острый инфаркт миокарда (ИМ) давностью < 30 дней, аневризма ЛЖ, требовавшая хирургической коррекции, поражение

клапанов сердца органической природы. Исходное клиническое состояние пациентов отражено в таблице 1.

По результатам электрокардиографии (ЭКГ) у 66 (60,5%) исследуемых были признаки ранее перенесенного ИМ передней локализации, у 11 (10,1%) — ИМ боковой стенки ЛЖ, 17 (15,8%) — нижнезадней ИМ, у 15 (13,7%) больных ЭКГ-признаков, а также в анамнезе ИМ не было задокументировано. Прямая ангиография коронарных артерий позволила выявить у 97 (88,9%) пациентов поражение трех артерий, у 12 (11,1%) — поражение двух артерий. У 82 (75,2%) пациентов стеноз ствола левой коронарной артерии $> 50\%$.

Всем пациентам выполнялась регистрация ЭКГ в покое в 12 общепринятых отведениях с анализом сердечного ритма и проводимости. Желудочковая экстрасистолия III-V градации по классификации по B. Lown, M. Wolf, в модификации M. Ryan (1975) обнаружена у 69 (63,3%) пациентов.

ЭхоКГ исследование выполняли до операции, в день операции до начала проведения искусственного кровообращения (ИК) и после отключения ИК, на 7-е сут. после вмешательства, а также в отдалённом периоде наблюдения, на аппарате Vivid 9 (General Electric Corp., США). Протокол ЭхоКГ содержал: оценку размеров и объемов камер сердца, сократительную функцию желудочков, а также функциональное состояние клапанного аппарата сердца.

МРТсОК выполнялось на установке MAGNETOM Trio (Siemens, Германия) с индукцией магнитного поля 3 Тесла. МРТсОК выполнялось дважды: до операции и после коронарного шунтирования в отдалённом периоде наблюдения. Контрастным препаратом, применяемым в исследованиях, был гадолиний-со-

Таблица 1

Характеристика исследуемой группы пациентов

Показатели	Пациенты
Пол, n (%)	
мужчины	98 (89,9%)
женщины	11 (10,1%)
Возраст, лет	60,8 $\pm$ 9,6
ФК Стенокардии, медиана [Q25;Q75]	3 [2;3]
ФК СН (NYHA), медиана [Q25;Q75]	3 [3;3]

Примечание: данные представлены в виде М $\pm$ σ и медианы, 25-й и 75-й квартилей распределения.

Сокращения: СН — сердечная недостаточность, ФК — функциональный класс, NYHA — New York Heart Association Functional Classification.

Таблица 2

Характеристика функционального состояния ЛЖ у исследуемых пациентов

	По данным МРТ сердца	По данным ЭхоКГ	
		Simpson	Teicholz
КДО ЛЖ, мл	258,9±61,7	251,2±45,2	228,3±46,0
КСО ЛЖ, мл	180,7±62,6	181,3±43,8	149,5±41,6
ФВ ЛЖ, %	27,7±6,0	26,5±3,6	34,0±6,5

Примечание: данные представлены в виде $M \pm \sigma$.

Сокращения: КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ — левый желудочек, МРТ — магнитно-резонансная томография, ФВ — фракция выброса, ЭхоКГ — эхокардиография.

Таблица 3

Распределение пациентов, согласно данным МРТсОК

Глубина накопления контраста (%)	n (%)
0	17 (15,6%)
<50%	30 (27,5%)
50-74%	40 (36,7%)
75-100%	22 (20,2%)

Таблица 4

Количество сегментов с нарушением локальной сократимости, выявленное в зависимости от используемого метода диагностики

Вид нарушения локальной сократимости	Метод определения		Количество несовпадений	p
	МРТ сердца ¹	ЭхоКГ ²		
Умеренный гипокинез	142	321	179	p ^{1,2} =0,000006
Выраженный гипокинез	904	1108	204	
Акинез	655	407	248	
Дискинез	45	8	37	

Примечание: p — критерий χ^2 Пирсона.

Сокращения: МРТ — магнитно-резонансная томография, ЭхоКГ — эхокардиография.

держаний гадобутирола. Протокол исследования оценивал размеры и объемы камер сердца, глобальную и сегментарную сократительную способность ЛЖ, глубину накопления контраста в различных сегментах ЛЖ. Отсроченное контрастирование оценивалось по глубине накопления контраста: от 1 до 24% толщины стенки; от 25 до 49%; от 50 до 74%; от 75 до 100% [3]. Оценка локализации рубцовых изменений и нарушений локальной сократимости осуществлялась с применением стандартной 17-сегментарной модели, адаптированной M. D. Cerqueira, 2002 [6].

Размеры и объемы ЛЖ, а также его сократительная функция представлены в таблице 2 на основании данных ЭхоКГ и МРТ сердца.

Всем пациентам, учитывая дилатацию ЛЖ с выраженным снижением сократительной способности, была показана оценка жизнеспособности миокарда. Выполнение нагрузочных проб данной группе пациентов противопоказано ввиду наличия абсолютных и относительных противопоказаний: стеноза ствола левой коронарной артерии, хронической сердечной недостаточности высокого функционального класса, экстрасистолии высокой градации.

Статистический анализ данных выполнен с применением программного пакета Statistica v. 10.0. (StatSoft Inc., США), результаты представлены как среднее арифметическое значение и стандартное отклонение ($M \pm SD$) для непрерывных переменных,

категориальные данные представлены как единицы и проценты (доли). Статистическую значимость различий распределения частот между группами вычисляли по критерию хи-квадрат (χ^2). Статистически значимыми различия считались при значениях $p < 0,05$.

Результаты

Осуществлен детальный анализ соответствия данных ЭКГ (наличие постинфарктных изменений) и МРТсОК на предмет наличия фиброзных изменений ЛЖ.

Обнаружено, что среди пациентов, перенесших по данным ЭКГ ИМ с зубцом Q, наличие трансмурального рубца было лишь у 20,2%. В 15,6% случаев в миокарде накопления контрастного препарата не обнаружено, а у 27,5% пациентов накопление контраста обнаружено с глубиной до 50% (табл. 3).

При сравнении данных о нарушениях локальной сократимости по МРТ с импульсной последовательностью Cino и ЭхоКГ выявлено, что достоверно больше сегментов с акинезией и дискинезией обнаружено по данным МРТ сердца (табл. 4).

Установлена достоверная связь между глубиной поражения миокарда и нарушением локальной сократимости по данным ЭхоКГ и МРТ (табл. 5, 6). При накоплении контраста более чем на 50% толщины миокарда уменьшается количество сегментов

Таблица 5

Таблица сопряженности глубины поражения (МРТ сердца) и нарушений локальной сократимости (МРТ сердца). Пример одного из сегментов

Нарушения локальной сократимости по МРТ	Глубина накопления контрастного вещества			p
	0	До 50%	Более 50%	
Умеренный гипокинез	207	25	13	p=0,0000000018
Выраженный гипокинез	695	137	69	
Акинез	113	145	417	
Дискинез	3	11	18	

Примечание: p — критерий χ^2 Пирсона.

Сокращение: МРТ — магнитно-резонансная томография.

Таблица 6

Таблица сопряженности глубины поражения (МРТ сердца) и нарушений локальной сократимости (ЭхоКГ). Пример одного из сегментов

Нарушения локальной сократимости по ЭхоКГ	Глубина накопления контрастного вещества			p
	0	До 50%	Более 50%	
Умеренный гипокинез	79	13	30	p=0,0000034
Выраженный гипокинез	841	174	270	
Акинез	90	134	213	
Дискинез	1	4	4	

Примечание: p — критерий χ^2 Пирсона.

Сокращение: ЭхоКГ — эхокардиография.

Таблица 7

Таблица сопряженности глубины поражения (МРТ сердца) и нарушений локальной сократимости по данным ЭхоКГ и МРТ сердца на примере одного из сегментов миокарда

Summary Table: Expected Frequencies (Инд трансмурал и наруш сократимости отдельно Marked cells have counts > 10 Pearson Chi-square: 327,535, df=28, p=0,00000)					
НЛС МРТ без 0 15	НЛС ЭХО 15	НЛС без 0 15 1	НЛС без 0 15 2	НЛС без 0 15 3	Row Totals
1	0	0,015487	0,15680	0,03872	0,2110
1	1	0,108408	1,09763	0,27102	1,4771
1	2	1,254440	12,70120	3,13610	17,0917
1	3	0,309738	3,13610	0,77435	4,2202
Total		1,688073	17,09174	4,22018	23,0000
2	0	0,035687	0,36133	0,08922	0,4862
2	1	0,249811	2,52933	0,62453	3,4037
2	2	2,890666	29,26799	7,22666	39,3853
2	3	0,713745	7,22666	1,78436	9,7248
Total		3,889908	39,38532	9,72477	53,0000
3	0	0,022220	0,22498	0,05555	0,3028
3	1	0,155542	1,57487	0,38886	2,1193
3	2	1,799848	18,22347	4,49962	24,5229
3	3	0,444407	4,49962	1,11102	6,0550
Total		2,422018	24,52294	6,05505	33,0000
Column Total		8,000000	81,00000	20,00000	109,0000

Примечание: p — критерий χ^2 Пирсона.

с гипокинезией и увеличивается количество сегментов с акинезией.

Благодаря критерию χ^2 Пирсона отвергается гипотеза о независимости нарушений локальной сократимости

по МРТ и глубины накопления контраста по данным МРТ. Следовательно, нарушения локальной сократимости МРТ статистически значимо зависят от индекса трансмуральности по МРТ p=0,0000000018 (табл. 5).

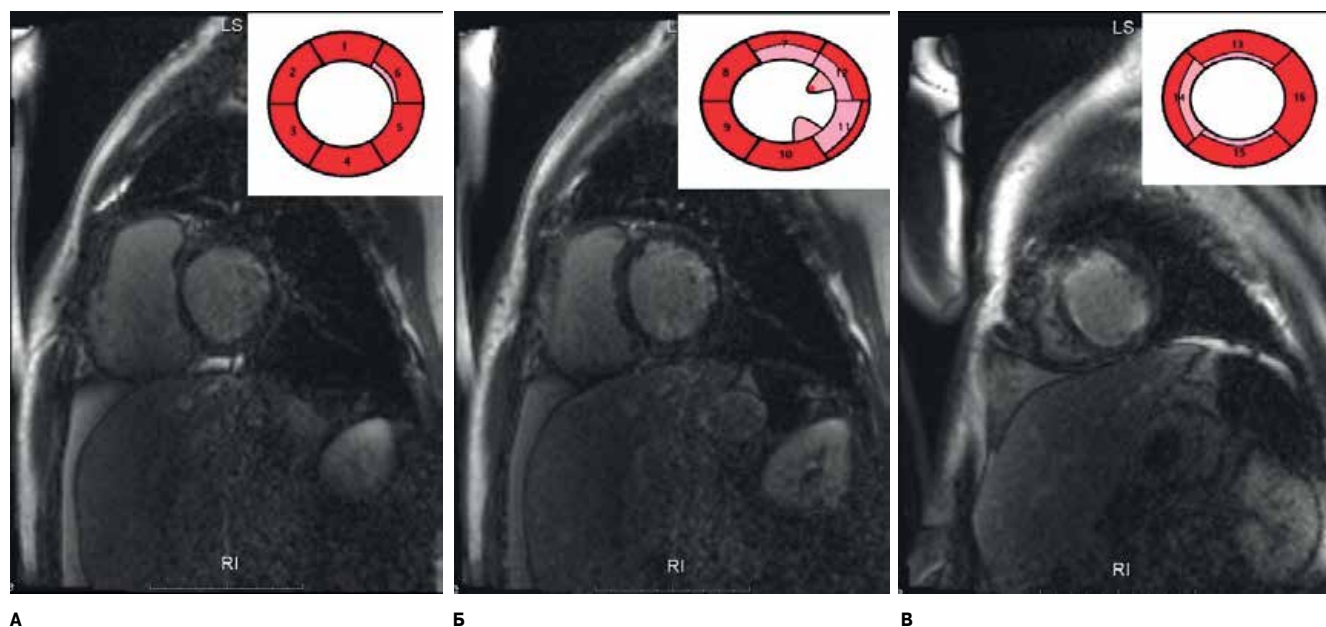


Рис. 1. МРТ с отсроченным накоплением контрастного препарата по короткой оси ЛЖ со схемой поражения по сегментам.

Примечания: **А** — на уровне базальных сегментов визуализируется участок накопления контрастного препарата в S6 до 25% толщины сегмента; **Б** — на уровне срединных сегментов визуализируются участки накопления контрастного препарата в S7 и S12 до 50% толщины сегмента, и S12 до 50% толщины сегмента, а также в папиллярных мышцах; **В** — на уровне апикальных сегментов визуализируются участки накопления контрастного препарата в S13 и S15 до 25% толщины сегмента.

На схемах цифрой подписаны номера сегментов миокарда ЛЖ, красным цветом обозначен жизнеспособный миокард, розовым рубцово-измененный миокард. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Благодаря критерию χ^2 Пирсона отвергается гипотеза о независимости нарушений локальной сократимости по результатам ЭхоКГ и глубины накопления контраста по МРТсОК. Следовательно, нарушения локальной сократимости по результатам ЭхоКГ статистически значимо зависят от индекса трансмуральности по МРТ $p=0,0000034$ (табл. 6).

Благодаря критерию χ^2 Пирсона отвергается гипотеза об отсутствии разницы между нарушениями локальной сократимости по данным ЭхоКГ и МРТ в зависимости от глубины накопления контраста по данным МРТ. Следовательно, нарушения локальной сократимости по данным ЭхоКГ статистически значимо зависят от индекса трансмуральности по МРТ $p<0,001$ (табл. 7).

Клинический пример: Пациент Е., 32 года с диагнозом: ИБС, атеросклероз коронарных артерий, нестабильная (впервые возникшая) стенокардия 09.06.2016.

ЭКГ: Ритм синусовый. Постинфарктных изменений не обнаружено.

ЭхоКГ: конечно-диастолический объем — 186 мл, конечно-систолический объем — 131 мл. ФВ ЛЖ по Simpson — 29,5%. Диффузная гипокинезия.

Коронарография: левая коронарная артерия — стеноз ствола 70%. Передняя межжелудочковая артерия — субокклюзия в проксимальной трети. Огибающая артерия — стеноз до субокклюзии в средней трети после отхождения маргинальной ветви. Правая коронарная

артерия — стеноз задней межжелудочковой артерии — до 90%.

МРТ сердца с отсроченным контрастированием: конечно-диастолический объем — 218 мл, конечно-систолический объем — 154 мл. ФВ ЛЖ по Simpson — 29,3%. Акинезия S15, на фоне диффузной гипокинезии остальных сегментов ЛЖ. МР-томограмма с отсроченным накоплением контрастного препарата по короткой оси ЛЖ со схемой поражения по сегментам (рис. 1).

Обсуждение

ЭКГ, ЭхоКГ и коронарография являются основными методами исследования у пациентов с ИБС. Однако в случае диагностирования выраженного снижения сократительной функции ЛЖ и обширных зон нарушений локальной сократимости необходимо определение состояния дисфункционального миокарда. Перечисленные методы исследования не дают возможность судить о величине жизнеспособного миокарда.

В представленном исследовании проанализированы результаты визуализации миокарда у группы пациентов, перенесших ИМ, осложнившийся снижением глобальной сократительной функции миокарда.

Данные, полученные с помощью МРТ о состоянии миокарда, позволили провести корреляционный анализ глубины и распространенности пост-

инфарктного кардиосклероза с нарушениями локальной сократимости миокарда ЛЖ. Также это позволило сопоставить данные МРТ сердца с ЭхоКГ и ЭКГ, еще раз доказав преимущество МРТ в оценке нарушений локальной сократимости миокарда и в определении наличия постинфарктного кардиосклероза.

Величина постинфарктного кардиосклероза у пациентов с осложненными формами ИБС — это объективный критерий, позволяющий прогнозировать эффективность предстоящей реваскуляризации миокарда [7, 8]. При выборе тактики лечения в обязательном порядке учитывается объем жизнеспособного миокарда, что предоставляет возможность получить информацию о количестве сегментов миокарда [9], которые после реваскуляризации восстановят свою функцию, тем самым улучшат состояние пациента.

Все выше сказанное подчеркивает тот факт, что верификация жизнеспособного миокарда должна проводиться с использованием самых современных методов диагностики, обладающих высоким разрешением, чувствительностью и специфичностью. Для подтверждения наличия ишемии миокарда у пациентов с ИБС и сердечной недостаточностью показано выполнение МРТ сердца Европейским обществом кардиологов в рекомендациях по реваскуляризации миокарда от 2014 и 2018 гг [2]. Учитывая полученные

данные, необходимо дополнение существующих рекомендаций. Также данная статья затрагивает тот факт, что в существующих рекомендациях недостаточно рассмотрен вопрос диагностики жизнеспособного миокарда у пациентов, которые имеют противопоказания к нагрузочным тестам ввиду высокого риска осложнений [10-12].

Заключение

1) МРТ позволяет определить достоверно большее количество сегментов с нарушением локальной сократимости по сравнению с ЭхоКГ, а МРТсОК достоверно более чувствительный метод в обнаружении рубцовых изменений в миокарде ЛЖ, чем ЭКГ.

2) Глубина накопления контрастного препарата по данным МРТ коррелирует с видом нарушения локальной сократимости: чем выше индекс трансмуральности, тем больше количество сегментов с акинезом и меньше сегментов с гипокинезом.

3) МРТсОК дает возможность установить величину жизнеспособного миокарда, что определяет дальнейшую тактику лечения, эффективность реваскуляризации и дальнейший прогноз.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Telen M, Erbel R, Kreitner KF, et al. Luchevye metody diagnostiki boleznei serdtsa. Translation from german. Editor Sinitsyna VE. Moscow: MEDpress inform, 2011. p. 408 (In Russ.) Телен М., Эрбел Р., Крейтнер К. Ф. и др. Лучевые методы диагностики болезней сердца. Перевод с немецкого. Ред. Синицына В. Е. М.: МЕДпресс информ. 2011. р. 408.
2. Kwon DH, Hachamovitch R, Popovic ZB, et al. Survival in patients with severe ischemic cardiomyopathy undergoing revascularization versus medical therapy: association with end-systolic volume and viability. *Circulation*. 2012;(126):3-8. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.084434.
3. Patel H, Mazur W, Sr Williams KA, et al. Myocardial viability — State of the art: Is it still relevant and how to best assess it with imaging? *Trends Cardiovasc Med*. 2018;28(1):24-37. doi:10.1016/j.tcm.2017.07.001.
4. Windecker S, Kolh P, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart. J*. 2014;(35):2541-619. doi:10.1093/eurheartj/ehu278.
5. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, et al. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: board of trustee's task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013;15(1):35. doi:10.1186/1532-429X-15-35.
6. Souto ALM, Souto RM, Teixeira ICR, et al. Myocardial Viability on Cardiac Magnetic Resonance. *Arq Bras Cardiol*. 2017;108(5):458-69. doi:10.5935/abc.20170056.
7. Kokov AN, Masenko VL, Semenov SE, et al. MRI of the heart in the evaluation of post-infarction changes and its role in determining the tactics of myocardial revascularization. *Complex problems of cardiovascular diseases. Kompleksnye problemy serdечно-sosudistykh zabolevanii*. 2014;(3):97-102. (In Russ.) Кокков А.Н., Масенко В.Л., Семенов С.Е. и др. МРТ сердца в оценке постинфарктных изменений и ее роль в определении тактики реваскуляризации миокарда. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2014;(3):97-102. doi:10.17802/2306-1278-2014-3-97-102.
8. Mielniczuk LM, Toth GG, Xie JX, et al. Can Functional Testing for Ischemia and Viability Guide Revascularization? *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10(3):354-64. doi:10.1016/j.jcmg.2016.12.011.
9. West AM, Kramer CM. Cardiovascular magnetic resonance imaging of myocardial infarction, viability, and cardiomyopathies. *Curr Probl Cardiol*. 2010 Apr;35(4):176-220. doi:10.1016/j.cpcardiol.2009.12.002.
10. Pontone G, Andreini D, Guglielmo M, et al. Computed tomography coronary angiography versus stress cardiac magnetic resonance for the management of symptomatic revascularized patients: a cost effectiveness study (strategy study). *Journal of the American College of Cardiology*. 2016;67(13):1572. doi:10.1016/S0735-1097(16)31573-X.
11. Quinaglia T, Jerosch-Herold M, Coelho-Filho OR. State-of-the-Art Quantitative Assessment of Myocardial Ischemia by Stress Perfusion Cardiac Magnetic Resonance. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2019;27(3):491-505. doi:10.1016/j.mric.2019.04.002.
12. Schinkel AFL, Bax JJ, Poldermans D, et al. Hibernating myocardium: diagnosis and patient outcomes. *Curr Probl Cardiol*. 2007;32(7):375-410. doi:10.1016/j.cpcardiol.2007.04.001.