

СРАВНЕНИЕ БЕСКОНТРАСТНОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ СЕРДЦА (T1-КАРТИРОВАНИЯ) И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ С ОТСРОЧЕННЫМ КОНТРАСТИРОВАНИЕМ В ВЫЯВЛЕНИИ ОСТРОГО ИНФАРКТА МИОКАРДА С ПОДЪЕМОМ СЕГМЕНТА ST И ОПРЕДЕЛЕНИИ ЖИЗНЕСПОСОБНОГО МИОКАРДА

Шалагинова Ю.О.¹, Буторова Е.А.¹, Кавтеладзе З.А.², Жубрина Е.С.², Шахнович Р.М.¹, Стукалова О.В.¹, Староверов И.И.¹, Терновой С.К.^{1,3}

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

2 – ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница им. М.Е. Жадкевича ДЗ г. Москвы». г. Москва, Россия.

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

Цель. Оценить возможности бесконтрастной магнитно-резонансной томографии сердца с помощью T1-картирования в сравнении с магнитно-резонансной томографией с отсроченным контрастированием в выявлении острого инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST и оценке жизнеспособности миокарда.

Материалы и методы. 40 пациентам с реваскуляризированным острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST была проведена МРТ сердца с контрастированием не позднее 7 суток от начала заболевания на МР-томографе Siemens Magnetom Aera, 1,5 Тл. Протокол МРТ сердца включал кино-режим, T2-взвешенные изображения, отсроченное контрастирование, T1-, T2- и T2*-картирование. Данные анализировали полуколичественным методом на рабочей станции syngo.via (Siemens). Локализацию поражения оценивали по 17-сегментной схеме левого желудочка, по глубине накопления контрастного препарата в миокарде выделяли 4 группы – 0-25% от толщины сегмента, 26-50%, 51-75% и 76-100% (сегменты с поражением более 50% толщины стенки левого желудочка считали участками нежизнеспособного миокарда). Тяжесть поражения миокарда рассчитывали путем вычисления индекса фиброза/некроза.

Результаты и обсуждение. Проанализировано 612 сегментов на МР-томограммах с отсроченным контрастированием и на T1-картах. На T1-картах поражение миокарда было выявлено в 191 сегменте (31,2% от общего числа сегментов), на МР-томограммах с отсроченным контрастированием накопление контрастного препарата отмечалось в 170 сегментах (27,6%). В 43 сегментах (7,1%) выявление поражения миокарда на T1-картах не было подтверждено при отсроченном контрастировании, то есть было ложным. В 22 сегментах (3,5 %) накопление гадолиния не нашло отражения на T1-картах. Таким образом, с помощью T1-картирования поражение миокарда при остром инфаркте было выявлено с чувствительностью 86,5 % (95% ДИ: 80.4-91.2) и специфичностью 90,3% (95% ДИ: 87.1-92.9) по сравнению с МРТ с отсроченным контрастированием. Диагностическая точность нативных T1-карт составила 89,4%.

Медиана времени релаксации (T1) для участков миокарда, соответствующих зонам накопления гадолиния, составила 1211,5 мс [1186,3;1249,6], для непораженного миокарда – 1073,9 мс [1049,5,3;1094,6]. Время релаксации, равное 1126,55 мс или более с чувствительностью и специфичностью 81,8 % и 78,5 % соответственно, позволяет выявлять поражение при остром инфаркте миокарда на нативных T1-картах (AUC=0,826 (95% ДИ: 0,785-0,867), p<0,0001). Время релаксации T1 при субэндокардиальном и трансмуральном поражении значительно не отличалось.

Значения индекса фиброза/некроза, определенные с помощью T1-карт, достоверно коррелировали с индексом фиброза/некроза, рассчитанным на томограммах с отсроченным контрастированием (R=0,67, p<0,001). Наиболее сильная корреляционная связь между индексами фиброза/некроза прослеживалась для инфаркта миокарда передней локализации.

Выводы. 1. Нативное T1-картирование выявляет острый инфаркт миокарда с высокой чувствительностью и специфичностью и может быть использовано в диагностике острого инфаркта миокарда. 2. Возможность оценки жизнеспособности миокарда с помощью нативного T1-картирования требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: T1-картирование, бесконтрастная МРТ сердца, инфаркт миокарда с

подъемом сегмента ST.

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

Для цитирования: Шалагинова Ю.О., Буторова Е.А., Кавтеладзе З.А., Жубрина Е.С., Шахнович Р.М., Стукалова О.В., Староверов И.И., Терновой С.К. Сравнение бесконтрастной магнитно-резонансной томографии сердца (T1-картирования) и магнитно-резонансной томографии с отсроченным контрастированием в выявлении острого инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST и определении жизнеспособного миокарда. REJR 2022; 12(4):64-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-64-73.

Статья получена: 06.10.22

Статья принята: 02.12.22

COMPARISON OF NON-CONTRAST HEART MAGNETIC RESONANCE IMAGING (T1 MAPPING) AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING WITH DELAYED CONTRAST ENHANCEMENT IN THE DETECTION OF ACUTE ST-ELEVATION MYOCARDIAL INFARCTION AND DETERMINATION OF VIABLE MYOCARDIA

Shalaginova Y.O.¹, Butorova E.A.¹, Kavteladze Z.A.², Zhubrina E.S.², Shakhnovich R.M.¹, Stukalova O.V.¹, Staroverov I.I.¹, Ternovoy S.K.^{1,3}

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

2 - M.E. Zhadkevich City Clinical Hospital.

3 - Sechenov University, Moscow, Russia.

Purpose. To evaluate the capabilities of the noncontrast cardiac magnetic resonance tomography (MRI) method (T1-mapping) in comparison with delayed contrast MRI in the detection of acute myocardial infarction with ST-segment elevation and determination of viable myocardium.

Materials and Methods. 40 patients with revascularized acute myocardial infarction with ST-segment elevation underwent cardiac time-delayed contrast-enhanced MRI no later than 7 days from the onset of the disease on a Siemens Magnetom Aera, 1.5 Tesla MR tomograph. Cardiac MRI protocol included cine mode, T2-weighted imaging, delayed contrast, T1, T2, and T2* mapping. Data were analyzed by semi-quantitative method on syngo.via workstation (Siemens). Location of lesion was assessed according to 17-segment scheme of left ventricular, 4 groups – 0-25%, 26-50%, 51-75% and 76-100% (segments with lesion over 50% of left ventricular wall thickness were considered as nonviable myocardium areas). The severity of myocardial lesion was calculated by calculating the fibrosis/necrosis index.

Results and discussion. We analyzed 612 segments on MR imaging scans with delayed contrast and on T1 maps. Myocardial lesions were detected in 191 segments (31.2% of the total number of segments) on T1 maps, while gadolinium accumulation was seen on MR imaging with delayed contrast in 170 segments (27.6%). In 43 segments (7.1%), the detection of myocardial lesions on T1 charts was false. And in 22 segments (3.5%) gadolinium accumulation was not reflected on T1 maps. Thus, T1 mapping detected acute myocardial infarction with a sensitivity of 86.5% (95% CI: 80.4-91.2) and specificity of 90.3% (95% CI: 87.1-92.9) compared with delayed contrast-enhanced MRI. The diagnostic accuracy of native T1 maps was 89.4%.

The median relaxation time (T1) for myocardial areas corresponding to gadolinium accumulation zones was 1211.5 ms [1186.3;1249.6] and for unaffected myocardium was 1073.9 ms [1049.5,3;1094.6]. Detection of acute myocardial infarction on native T1 maps is possible at T1 equal to or greater than 1126.55 ms with sensitivity and specificity of 81.8% and 78.5%, respectively (AUC=0.826(95% CI:0.785-0.867), $p < 0.0001$). T1 values for subendocardial and transmural lesions were not significantly different.

Fibrosis index values on T1 maps correlated significantly with fibrosis index on delayed con

trast ($R=0.67$, $p<0.001$). The strongest correlation between the fibrosis indices was seen for myocardial infarction of anterior localization.

Conclusions. 1. Native T1 imaging detects acute myocardial infarction with high sensitivity and specificity and can be used in the diagnosis of acute myocardial infarction. 2. The possibility of assessing myocardial viability with native T1 imaging requires further investigation.

Keywords: T1-mapping, non-contrast heart MRI, acute ST-elevation myocardial infarction.

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

For citation: Shalaginova Y.O., Butorova E.A., Kavteladze Z.A., Zhubrina E.S., Shakhnovich R.M., Stukalova O.V., Staroverov I.I., Ternovoy S.K. Comparison of non-contrast heart magnetic resonance imaging (T1 mapping) and magnetic resonance imaging with delayed contrast enhancement in the detection of acute ST-elevation myocardial infarction and determination of viable myocardia. REJR 2022; 12(4):64-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-64-73.

Received: 06.10.22

Accepted: 02.12.22

Согласно Четвертому универсальному определению инфаркта миокарда (ИМ), магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца с контрастированием является "золотым стандартом в неинвазивной диагностике ИМ. Данный метод позволяет выявить очаговое поражение миокарда, дифференцировать острое и хроническое повреждение миокарда. Кроме того, МРТ с гадолинием является инструментом первой линии в дифференциальной диагностике ишемического и неишемического повреждения миокарда (дифференциальная диагностика острых инфарктов, миокардитов, кардиомиопатий) [1].

Дополнительным показанием к проведению МРТ сердца с гадолинием у пациентов с подозрением на острый инфаркт миокарда (ОИМ) является отсутствие гемодинамически значимых стенозов по данным коронароангиографии (КАГ). Кроме того, МРТ сердца с гадолинием может быть использована для стратификации риска. Показано, что наличие микрососудистой обструкции (МСО) и размеры ИМ и гетерогенной зоны ассоциированы с прогнозом у пациентов с ОИМ [2,3].

МРТ с контрастированием проводится с использованием гадолиний-содержащих контрастных препаратов – хелатов гадолиния, которые распределяются во внеклеточном пространстве. В ранние сроки после ИМ повреждение клеточной мембраны кардиомиоцитов приводит к увеличению интерстициального объема жидкости и задержке контраста в зоне инфаркта. На T1-взвешенных изображениях через 10-20 минут (отсроченное контрастирование) эти участки выглядят

яркими, имеют повышенную интенсивность МР-сигнала.

T1-картирование – это метод магнитно-резонансной томографии, основанный на определении значений T1 (времени продольной релаксации) в исследуемой ткани с построением параметрических карт, где каждому вокселю (наименьший объемный элемент трехмерного пространства) соответствует определенное значение T1. Величина времени T1 зависит от содержания коллагена, белка, воды, липидов, железа и отражает изменения во внеклеточном и внутриклеточном пространствах [4-5].

Метод картирования включает в себя получение нативных T1-карт (без введения контрастного вещества) и постконтрастных T1-карт (после введения контрастного препарата). Последние используются для расчета фракции внеклеточного объема – ФВО (extracellular volume – ECV) с целью количественной оценки диффузного фиброза миокарда, который не определяется на томограммах с отсроченным контрастированием. Поэтому, например, в выявлении острого миокардита T1-картирование обладает более высокой чувствительностью по сравнению с T2-взвешенными изображениями и МР-изображениями с отсроченным контрастированием. В настоящее время место T1-картирования в диагностике ОИМ не определено [6].

Цель исследования.

Оценить возможности бесконтрастной МРТ сердца (T1-картирования) в сравнении с МРТ с отсроченным контрастированием в выявлении острого инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST и определении жизне-

способного миокарда.

Материалы и методы.

Клиническое исследование было одобрено локальным этическим комитетом НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова и не противоречит положениям Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Все пациенты добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании.

В клиническое исследование включено 40 пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST (ИМпST). Диагноз ОИМ был установлен согласно Четвертому универсальному определению ИМ. Всем пациентам проводилась экстренная КАГ и первичное чрескожное вмешательство (ЧКВ) наинфаркт-связанной артерии. На 3-7 сутки пациентам проводилась МРТ сердца с контрастированием на МР-томографе Siemens Magnetom Aera, 1,5 Тл.

Кино-МРТ выполнялась в стандартных проекциях (2- и 4- камерные по длинной оси и по короткой оси левого желудочка (ЛЖ)) с оценкой фракции выброса (ФВ) ЛЖ, конечного диастолического объема (КДО) ЛЖ, конечного систолического объема (КСО) ЛЖ, массы миокарда (ММ) ЛЖ, нарушения локальной сократимости по 17-сегментной модели ЛЖ. На T2-взвешенных изображениях (в тех же проекциях) оценивали наличие отека миокарда (повышение интенсивности сигнала более чем в 2 раза по сравнению с неповрежденным миокардом).

Далее вводился одномолярный гадолиний-содержащий контрастный препарат гадобутрол (Гадовист) из расчета 0,2 ммоль/кг

и выполнялось исследование через 2 минуты после введения контраста (раннее контрастирование) и через 10-29 минут (отсроченное контрастирование). Сегменты с зонами накопления контрастного препарата в стенке ЛЖ расценивались как сегменты с очаговым поражением миокарда согласно 17-сегментной модели ЛЖ (рис. 1).

Протокол включал в себя T1-картирование с введением и без введения контрастного вещества (рис. 2). T1-карты получали с помощью модифицированной последовательности MOLLI 5(3)3 (Modified Look-Locker Inversion Recovery) [9].

Данные картирования анализировали полуколичественным методом на рабочей станции syngo.via (Siemens). Из 40 пациентов 4 были исключены из анализа в связи с неудовлетворительным качеством T1-карт.

Локализацию поражения оценивали согласно 17-сегментной модели ЛЖ на отсроченных МР-изображениях и на T1-картах. По глубине накопления контрастного препарата в миокарде относительно толщины сегмента выделяли 4 группы: 0-25%, 26-50%, 51-75% и 76-100%. Сегменты с накоплением гадолиния более 50% толщины миокарда ЛЖ считали нежизнеспособными, менее 50% – жизнеспособными. Под термином «жизнеспособность миокарда» понимали способность миокарда сегментов с нарушенной сократимостью восстанавливать свою функцию после реваскуляризации.

В лаборатории томографии для количественного определения фиброзного поражения миокарда у кандидатов на проведение сердечной ресинхронизирующей терапии

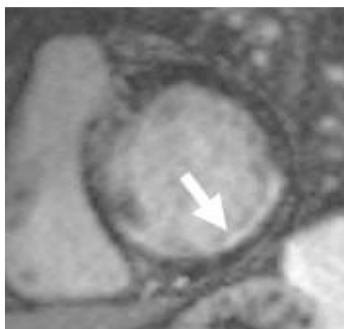


Рис. 1 а (Fig. 1 а)

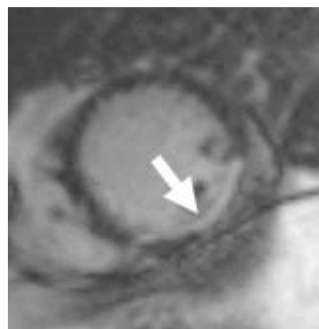


Рис. 1 б (Fig. 1 б)

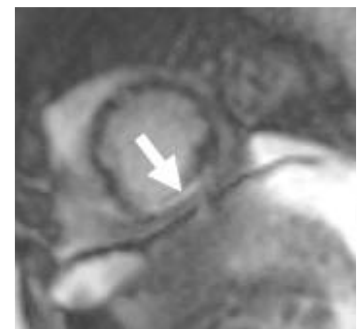


Рис. 1 в (Fig. 1 с)

Рис. 1. МРТ сердца с отсроченным контрастированием.

Короткая ось ЛЖ: а – базальный, б – средний, в – апикальный сегменты. Трансмуральное (50-75%) накопление гадолиния в нижней стенке и в базальном сегменте нижне-перегородочной области (указано стрелками).

Fig. 1. Cardiac MR imaging with delayed contrast.

Short axis of LV: a – basal, b – middle and c – apical segments. Transmural (50-75%) accumulation of gadolinium in the lower wall and in the basal segment of the inferior septal region (indicated by arrows).

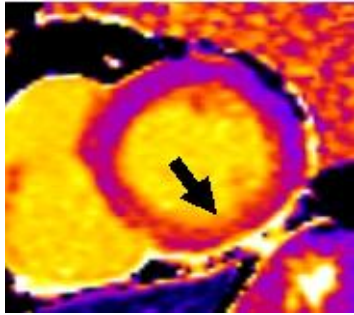


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

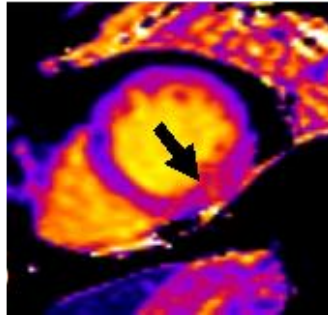


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

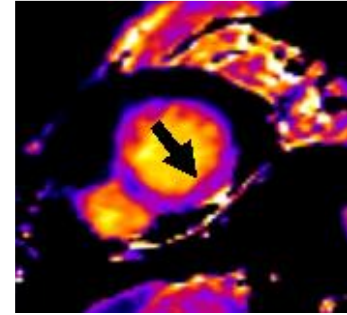


Рис. 2 в (Fig. 2 с)

Рис. 2. Нативное T1-картирование миокарда.

Короткая ось ЛЖ: а – базальный, б – средний, в – апикальный сегменты. Увеличение времени релаксации T1 от нижней стенки ЛЖ на всем ее протяжении и от ниже-перегородочной области в базальном сегменте (указано стрелками).

Fig. 2. Native T1 mapping of the myocardium.

Short axis of LV: a – basal, b – middle and c – apical segments. Increase in T1 relaxation time from the inferior wall of the LV throughout its length and from the inferior septal region in the basal segment (indicated by arrows).

был разработан расчетный показатель – индекс фиброза (ИФ) [патент №2685643] [7]. Он отражает тяжесть фиброзного поражения миокарда с учетом распространенности и глубины поражения. В нашем исследовании по аналогичной формуле рассчитывался индекс некроза (ИН), отражающий тяжесть поражения у пациентов с ОИМ.

$$ИН = (C1 \times n1) + (C2 \times n2) + (C3 \times n3) + (C4 \times n4),$$

где C1...4– степень выраженности фиброза/некроза в сегменте (объем поражения миокарда). Цифра 1 обозначает первую степень выраженности фиброза/некроза (0-25% пораженного миокарда от толщины стенки ЛЖ), цифра 2 – вторую степень (26-50%), 3 – третью (51-70%), 4 – четвертую (71-100%).

n1– количество сегментов с 1-ой степенью выраженности фиброза/некроза,

n2– количество сегментов с 2-ой степенью выраженности фиброза/некроза,

n3– количество сегментов с 3-ей степенью выраженности фиброза/некроза,

n4– количество сегментов с 4-ой степенью выраженности фиброза/некроза.

Для каждого сегмента на бесконтрастных T1-картах в ручном режиме путем обводки области интереса было получено значение T1 (мс).

Чувствительность и специфичность рассчитывались по следующим формулам:

$$\text{Чувствительность} = \frac{ИП1}{\text{общее число пораженных сегментов}} \times 100\%,$$

$$\text{Специфичность} = \frac{ИО3}{\text{общее число}}$$

«здоровых» сегментов $4 \times 100\%$,

$$\text{Диагностическая точность} = \frac{ИП+ИО}{\text{общее количество сегментов}} \times 100\%$$

1 – ИП – истинно положительный результат (количество выявленных пораженных сегментов по данным T1-картирования)

2 – Общее число пораженных сегментов – число пораженных сегментов по данным отсроченного контрастирования

3 – ИО– истинно отрицательный результат (количество истинно выявленных «здоровых» сегментов по данным T1-картирования)

4 – Общее число «здоровых» сегментов – число «здоровых» сегментов по данным отсроченного контрастирования

Статистический анализ.

Статистический анализ данных проводился с использованием среды статистического анализа R 4.1.1. Проверка на нормальность распределения для количественных показателей о нормальном распределении не отвергалась, для представления показателей использовали среднее и стандартное отклонение, в противном случае – медиану и интерквартильный размах. Для анализа взаимосвязи между методами оценки пораженных сегментов выполнялось построение таблиц сопряженности, на основе которых также оценивались чувствительность и специфичность с соответствующими 95% доверительными интервалами. Доверительные интервалы для характеристик бинарных классификаторов рассчитывались методом Клоппера-Пирсона (Clopper-Pearson intervals).

Анализ линейной взаимосвязи между количественными переменными проводился с использованием коэффициента корреляции Пирсона.

Проверка гипотезы об отсутствии статистически значимых различий между двумя группами по непрерывным признакам проводилась с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни. ROC-анализ проводился только для тех предикторов, для которых были выявлены статистически значимые различия между группами. В ходе проведения ROC-анализа вычислялся показатель AUC (AreaUnderCurve). 95% доверительный интервал для AUC оценивался методом Делонга (DeLong, 1988). Также определялись следующие отрезные пороговые значения: точка Юдена (точка максимума суммы чувствительности и специфичности) и точка баланса (точка минимума модуля разности между чувствительностью и специфичностью). Для получаемых отрезных значений также оценивались прогностические чувствительность и специфичность вместе с 95% доверительным интервалом. Уровень значимости при проверке каждой из статистических гипотез принимался равным 0,05.

Результаты.

Средний возраст пациентов составил $58,4 \pm 9,9$ лет, 27 человек были мужчинами (75%). Средняя ФВ ЛЖ составила $49,7 \pm 9,7$ %, ММ ЛЖ – $160,8 \pm 34,8$ г, КДО ЛЖ $159,7 \pm 41,1$ мл и КСО ЛЖ – $83,1 \pm 29,4$ мл. Чаще встречались ИМ передней локализации – у 17 пациентов (47,2%), реже боковой – у 8 пациентов (22,2%).

Проанализировано 612 сегментов на МР-томограммах с отсроченным контрастированием и на T1-картах. Поражение миокарда было выявлено в 191 сегменте (31,2% от общего числа сегментов) на нативных T1-картах и в 170 сегментах (27,6%) на МР-томограммах с отсроченным контрастированием. В 43 сегментах (7,1%) изменения на T1-картах, которые были расценены как признаки инфаркта миокарда, не были выявлены на томограммах с отсроченным контрастированием, то есть были ложноположительными. В 22 сегментах (3,5 %) изменения на томограммах с отсроченным контрастированием (накопление контрастного препарата) не были выявлены на T1-картах, то есть результаты картирования были ложноотрицательными. В 399 (65,3%) сегментах не было выявлено изменений при отсроченном контрастировании нативном T1-картировании. Медиана времени релаксации (T1) для участков миокарда, соответствующих зонам накопления гадолиния, составила

1211,5 мс [1186,3;1249,6], для непораженного миокарда – 1073,9 мс [1049,5,3;1094,6].

Значения времени релаксации T1 для обратимого и необратимого поражения значимо не отличались (рис. 3).

Чувствительность и специфичность T1-картирования в выявлении ОИМ по сравнению с отсроченным контрастированием составила 86,5 % [ДИ 80,4; 91,2] и 90,3% [ДИ 87,1; 92,9] соответственно, $p < 0,0001$. Диагностическая точность T1-картирования составила 89,4%.

При проведении корреляционного анализа между значениями ИН, полученными на нативных T1-картах и МР-томограммах с отсроченным контрастированием, была выявлена статистически достоверная прямая умеренная корреляционная связь между тяжестью поражения на отсроченном контрастировании и T1-картировании ($R=0,67$, $p < 0,001$) (рис. 4). При проведении корреляционного анализа для каждого бассейна инфаркт-связанной артерии (ИСА) в отдельности корреляционная связь сохранялась: для обгибающей артерии (ОА) $R=0,5$, $p=0,253$; правой коронарной артерии (ПКА) $R=0,627$, $p=0,029$; передней нисходящей артерии (ПНА) $R=0,761$, p -значение=0.002. Недостижение статистической значимости корреляции в бассейне ОА, возможно, связано с малым объемом выборки этой группы пациентов.

Для выявления значений T1, обладающих оптимальной чувствительностью и специфичностью в выявлении острого ИМ, был проведен ROC-анализ. Площадь под кривой составила 0,826, ДИ (0,785-0,867), $p < 0,0001$. Время релаксации более 1126,55 мс, с чувствительностью и специфичностью 81,8 % и 78,5 % соответственно, выявляет острый инфаркт миокарда на T1-картах (точка Юдена), а время релаксации более 1133,86 мс – с чувствительностью и специфичностью 79,4% в равной мере (рис. 5).

Обсуждение.

В исследовании сравнивалась диагностическая эффективность бесконтрастной МРТ (T1-картирования) с «золотым стандартом» МРТ с отсроченным контрастированием у пациентов с острым ИМ с подъемом сегмента ST (рис. 6 а, б). T1-картирование показало высокую диагностическую точность в выявлении острого ИМ с подъемом сегмента ST. Данные экспериментального исследования на мини-пигах (карликовые домашние свиньи) по сопоставлению методов отсроченного контрастирования и нативного T1-картирования в сравнении размеров ОИМ согласуются с нашими результатами: наблю-

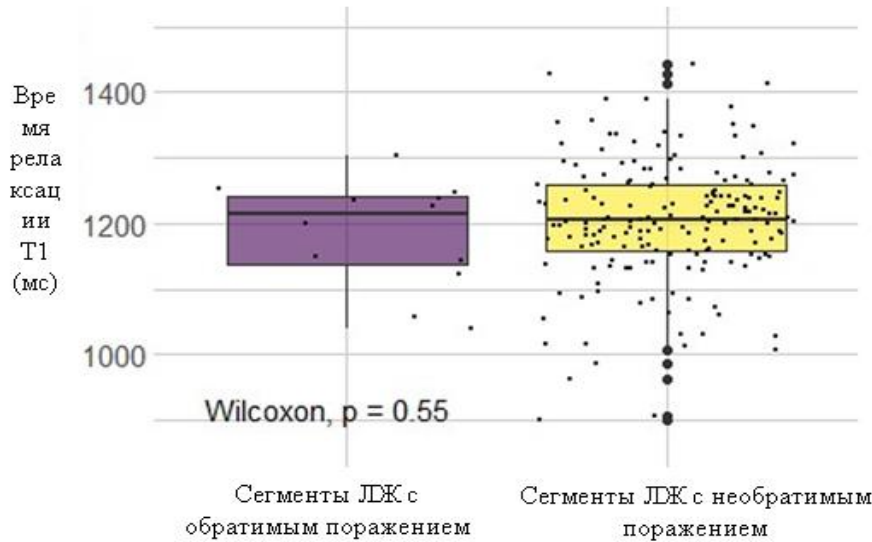


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Диаграмма сравнения времен релаксации для обратимого и необратимого поражения миокарда у больных с ОИМ.

Значения времени T1-релаксации для сегментов с обратимым и необратимым повреждением миокарда значительно не отличались, $p = 0,55$. По вертикали обозначено время релаксации (T1).

Fig. 3. Relaxation time comparison diagram for reversible and irreversible myocardial damage in AMI patients.

T1 values for segments with reversible and irreversible myocardial damage were not significantly different, $p=0.55$. The vertical line indicates relaxation time (T1).

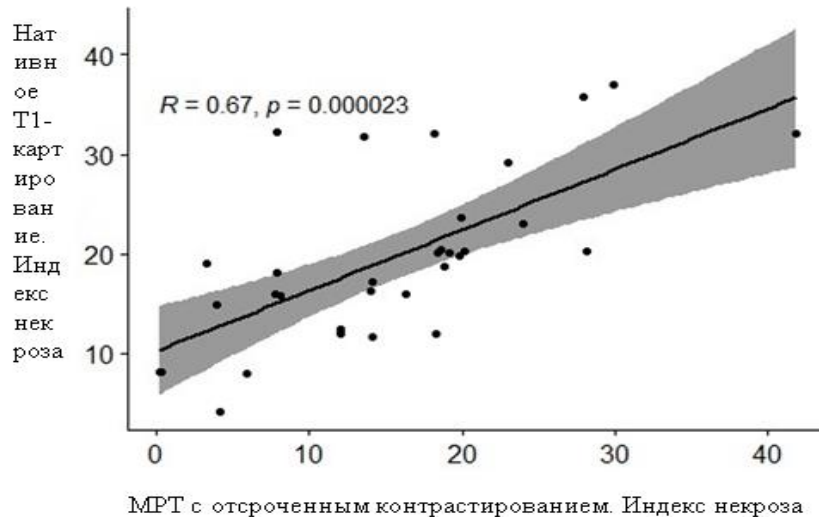


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Корреляционная кривая.

Корреляция между объемом поражения миокарда на МР-томограммах с отсроченным контрастированием и на бесконтрастных T1-картах.

Fig. 4. Scatter plot.

Correlation between myocardial lesion severity on delayed contrast-enhanced and contrast-free T1 mapping MR imaging.

далась сильная корреляционная связь для размера ИМ (см²), полученному на МР-изображениях с отсроченным контрастированием и T1-картах по короткой оси ЛЖ (R²=0,96, p<0,001), также соответствие размеров ИМ, рассчитанных на вышеописанных МР-изображениях, подтверждено анализом Бленда-Альтмана (SD-3,38 ± 19,38%) [8].

В нашей работе была предпринята попытка оценить возможности T1-картирования в определении жизнеспособ-

ности миокарда. Больные с субэндокардиальным поражением миокарда (менее 50% от толщины стенки ЛЖ) рассматривались как пациенты с жизнеспособным миокардом, поскольку значительная масса миокарда была без признаков необратимого поражения. Учитывая, что количество таких пациентов было небольшим, определить диагностические возможности T1-картирования в определении жизнеспособного миокарда не представляется возможным. В исследовании

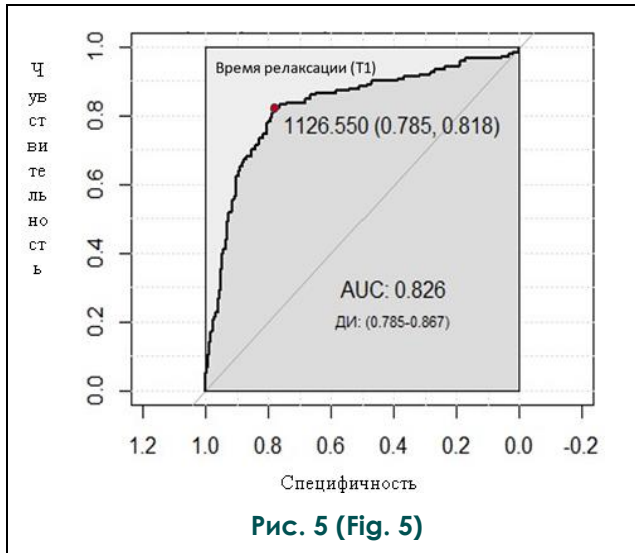


Рис. 5. ROC-кривая для значений времени релаксации в выявлении ОИМ с подъемом сегмента ST.

По вертикали обозначена чувствительность, по горизонтали – специфичность. Площадь под кривой составила 0,826 (ДИ 0,785-0,867), p<0,0001. **Fig. 5. ROC curve for relaxation time values in the detection of STEMI.**

The vertical line indicates sensitivity, and the horizontal line indicates specificity. The area under the curve was 0.826 (CI 0.785-0.867), p < 0.0001

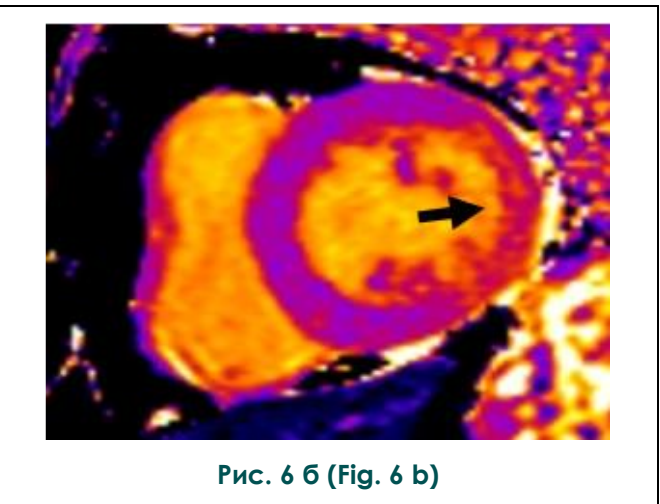
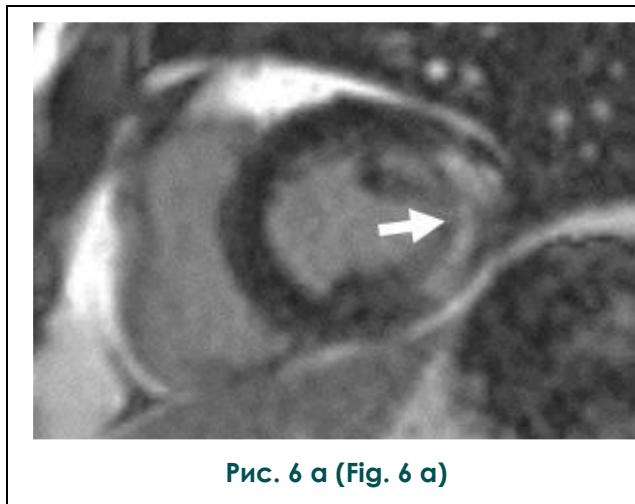


Рис. 6. А – МРТ сердца с отсроченным контрастированием. Б – нативное T1-картирование миокарда.

а - Короткая ось ЛЖ, средний сегмент. Трансмуральное (100%) накопление гадолиния в средних сегментах боковой стенки (указано стрелкой).

б - Короткая ось ЛЖ, средний сегмент. Увеличение времени релаксации T1 от боковой стенки ЛЖ в средних сегментах (указано стрелкой).

Fig. 6. А – Delayed enhancement MR Imaging. Б – native T1 myocardial imaging.

а - Short axis of LV, middle segment. Transmurular (100%) accumulation of gadolinium in the middle segments of the lateral wall (indicated by arrows).

б - Short axis of LV, middle segment. Increased T1 relaxation time from the LV lateral wall in the middle segments (indicated by arrows).

Amardeep Ghosh Dastidar и др. было показано, что T1-картирование различало жизнеспособные и нежизнеспособные участки миокарда, причем лучше в случае хронического ИМ, чем острого [9].

Объем поражения по данным T1-картирования, рассчитанный по формуле ИН, достоверно коррелировал с объемом поражения на МР-томограммах с отсроченным контрастированием. В ряде случаев (в 43 сегментах –7,1%) по данным бесконтрастной МРТ выявлялся больший объем пораженного миокарда, чем на МР-томограммах с отсроченным контрастированием. Подобные различия, вероятно, обусловлены наличием отека, площадь которого может быть больше площади накопления гадолиния.

Данная корреляция сохранялась независимо от бассейна ИСА, наиболее сильная связь наблюдалась для бассейна ПНА. Корреляционная связь для бассейна ОА не достигла статистической значимости, вероятно, в связи с небольшим количеством пациентов с боковым ИМ.

Ограничения.

Значения времени T1-релаксации для здорового миокарда оценивались в наиболее удаленной от пораженной области миокарда у каждого пациента, а не у здоровых добровольцев.

Количество пациентов с жизнеспособным миокардом было недостаточно для определения диагностической точности T1-картирования в различии обратимого и необратимого поражения миокарда.

Заключение.

Нативное T1-картирование в выявлении наличия острого инфаркта миокарда с

подъемом сегмента ST обладает высокой диагностической точностью по сравнению с МРТ с отсроченным контрастированием, а тяжесть поражения миокарда на нативных T1-картах достоверно коррелирует с тяжестью поражения на МР-томограммах с отсроченным контрастированием. Нативное T1-картирование не заменяет МРТ с отсроченным контрастированием в рутинной практике, но в отдельных клинических ситуациях, когда невозможно введение контрастного препарата, или состояние больного не позволяет провести полный протокол МРТ, методика позволяет получить необходимую информацию. Применение нативного T1-картирования позволит отказаться от введения контрастного препарата у пациентов с хронической болезнью почек, аллергическими реакциями на гадолиний-содержащие вещества, а также позволит сократить длительность исследования пациентов в тяжелом состоянии за счет отказа от контрастной части.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы «Перспективное исследование по изучению влияния дапаглифлозина на течение заболевания, функциональное состояние и особенности поражения миокарда по данным магнитно-резонансной томографии с контрастированием исходно и через 6 месяцев, контроль гликемии у больных острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST с сахарным диабетом 2 типа и без сахарного диабета 2 типа».

Список литературы:

1. Alpert J. *The Fourth Edition of the Universal Definition of Myocardial Infarction*. *Am J Med*. 2018; 131 (11): 1265-1266. DOI: 10.1016/j.amjmed.2018.06.016.
2. Leiner, T., Bogaert, J., Friedrich, M. et al. *SCMR Position Paper on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance*. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2020; 22, 76. DOI: 10.1186/s12968-020-00682-4
3. Тереничева М.А., Шахнович Р.М., Стукалова О.В., Буторова Е.А., Терновой С.К. *Взаимосвязь структурных изменений миокарда у больных острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST по данным контрастной МРТ с особенностями коронарного поражения и временем реперфузионной терапии*. *REJR*. 2021; 11 (1): 114-124. DOI:10.21569/2222-7415-2021-11-1-114-124
4. Moon J, Messroghli D, Kellman P et al. *Myocardial T1 Mapping and Extracellular Volume Quantification: A Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) and CMR Working Group of the European Society of Cardiology Consensus Statement*. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15(1):92.

DOI:10.1186/1532-429X-15-92

5. Haaf P, Garg P, Messroghli D, Broadbent D, Greenwood J, Plein S. *Cardiac T1 Mapping and Extracellular Volume (ECV) in Clinical Practice: A Comprehensive Review*. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2016; 18 (1): 89. DOI:10.1186/s12968-016-0308-4
6. Ferreira V., Piechnik S., Dall'Armellina E, Karamitsos T., Francis J., Ntusi N, Holloway C, Choudhury R., Kardos A, Robson M., Friedrich M., Neubauer S. *T(1) mapping for the diagnosis of acute myocarditis using CMR: comparison to T2-weighted and late gadolinium enhanced imaging*. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013; 6 (10): 1048-1058. DOI: 10.1016/j.jcmg.2013.03.008.
7. Стукалова О.В., Миронова Н.А., Уцумуева М.Д., Каптанова С.Ю., Малкина Т.А., Голицын С.П., Терновой С.К. *Способ определения выраженности фиброзного поражения миокарда с помощью МРТ для отбора кандидатов на проведение сердечной ресинхронизирующей терапии. Патент на изобретение RU 2685643 C1, 22.04.2019. За-*

явка № 2018140017 от 13.11.2018.

8. Liu X, Hou JL, Yang ZG, Xia CC, Xie LJ, Ye PF, Peng WL, Li L, Yang MX, Guo YK. Native T1 mapping for characterization of acute and chronic myocardial infarction in swine: Comparison with contrast-enhanced MRI. *J MagnReson Imaging*. 2018; 47 (5): 1406-1414. doi: 10.1002/jmri.25871. Epub 2017 Oct 16. PMID: 29044903.

9. Dastidar A., Harries I, Pontecorboli G, Bruno V., De Garate E, Moret C, Baritussio A, Johnson T., McAlindon E, Bucciarelli-Ducci C. Native T1 mapping to detect extent of acute and chronic myocardial infarction: comparison with late gadolinium enhancement technique. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019; 35 (3): 517-527. DOI: 10.1007/s10554-018-1467-1.

10. Стукалова О.В., Миронова Н.А., Уцумуева М.Д., Кауштанова С.Ю., Малкина Т.А., Голицын С.П., Терновой С.К. Способ определения выраженности фиброзного по-

ражения миокарда с помощью МРТ для отбора кандидатов на проведение сердечной ресинхронизирующей терапии. Патент на изобретение RU 2685643 C1, 22.04.2019. Заявка № 2018140017 от 13.11.2018.

11. LiuX, HouJL, YangZG, XiaCC, XieLJ, YePF, PengWL, LiL, YangMX, GuoYK. Native T1 mapping for characterization of acute and chronic myocardial infarction in swine: Comparison with contrast-enhanced MRI. *J MagnReson Imaging*. 2018 May;47(5):1406-1414. doi: 10.1002/jmri.25871. Epub 2017 Oct 16. PMID: 29044903.

12. Dastidar A, Harries I, Pontecorboli G, Bruno V, De Garate E, Moret C, Baritussio A, Johnson T, McAlindon E, Bucciarelli-Ducci C. Native T1 mapping to detect extent of acute and chronic myocardial infarction: comparison with late gadolinium enhancement technique. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019; 35(3):517-527. DOI: 10.1007/s10554-018-1467-1.

References:

1. Alpert J. The Fourth Edition of the Universal Definition of Myocardial Infarction. *Am J Med*. 2018; 131 (11): 1265-1266. DOI: 10.1016/j.amjmed.2018.06.016.

2. Leiner, T., Bogaert, J., Friedrich, M. et al. SCMR Position Paper on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2020; 22, 76. DOI: 10.1186/s12968-020-00682-4

3. Terenicheva M.A., Shakhnovich R.M., Stukalova O.V., Butorova E.A., Ternovoy S.K. The relationship of structural changes of the myocardium in patients with acute myocardial infarction with ST segment elevation according to contrast MRI data with the features of coronary lesion and the time of reperfusion therapy. *REJR*. 2021; 11 (1): 114-124. DOI:10.21569/2222-7415-2021-11-1-114-124 (in Russian).

4. Moon J, Messroghli D, Kellman P et al. Myocardial T1 Mapping and Extracellular Volume Quantification: A Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) and CMR Working Group of the European Society of Cardiology Consensus Statement. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15 (1):92. DOI:10.1186/1532-429X-15-92

5. Messroghli D, Moon J, Ferreira V et al. Clinical Recommendations for Cardiovascular Magnetic Resonance Mapping of T1, T2, T2* and Extracellular Volume: A Consensus Statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) Endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson*. 2017; 19 (1): 75. DOI:10.1186/s12968-017-0389-8

6. Ferreira V, Piechnik S, Robson M, Neubauer S, Karamitsos T. Myocardial Tissue Characterization by Magnetic Resonance Imaging: Novel Applications of T1 and T2 Mapping. *J Thorac Imaging*. 2014; 29 (3): 147-54. DOI:10.1097/RTI.0000000000000077

7. Salerno M., Kramer C. Advances in Parametric Mapping With CMR Imaging. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013; 6 (7): 806-22. DOI:10.1016/j.jcmg.2013.05.005

8. Haaf P, Garg P, Messroghli D, Broadbent D, Greenwood J, Plein S. Cardiac T1 Mapping and Extracellular Volume (ECV) in Clinical Practice: A Comprehensive Review. *J CardiovascMagnReson*. 2016; 18(1):89. DOI:10.1186/s12968-016-0308-4

9. Ferreira V., Piechnik S., Dall'Armellina E, Karamitsos T., Francis J., Ntusi N, Holloway C, Choudhury R., Kardos A, Robson M., Friedrich M., Neubauer S. T(1) mapping for the diagnosis of acute myocarditis using CMR: comparison to T2-weighted and late gadolinium enhanced imaging. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013; 6(10):1048-1058. DOI: 10.1016/j.jcmg.2013.03.008.

10. Stukalova O.V., Mironova N.A., Utcumueva M.D., et al. Method for determining the severity of myocardial fibrosis using MRI to select candidates for cardiac resynchronization therapy. Patent N RU 2685643 C1, 22.04.2019 (№ 2018140017; 13.11.2018).

11. LiuX, HouJL, YangZG, XiaCC, XieLJ, YePF, PengWL, LiL, YangMX, GuoYK. Native T1 mapping for characterization of acute and chronic myocardial infarction in swine: Comparison with contrast-enhanced MRI. *J MagnReson Imaging*. 2018 May;47(5):1406-1414. doi: 10.1002/jmri.25871. Epub 2017 Oct 16. PMID: 29044903.

12. Dastidar A, Harries I, Pontecorboli G, Bruno V, De Garate E, Moret C, Baritussio A, Johnson T, McAlindon E, Bucciarelli-Ducci C. Native T1 mapping to detect extent of acute and chronic myocardial infarction: comparison with late gadolinium enhancement technique. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019; 35(3):517-527. DOI: 10.1007/s10554-018-1467-1.