

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ АНАТОМИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ И ЛЕГОЧНЫХ ВЕН У ПАЦИЕНТОВ С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙМалов А.А.¹, Еремин С.А.², Бахтиозин Р.Ф.³, Ильясов К.А.⁴

1 - ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ» Минздрава России. г. Казань, Россия.

2 – ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Минздрава Республики Татарстан». г. Казань, Россия.

3 – ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). г. Москва, Россия.

4 - ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия.

Цель исследования. Изучение возможностей МРТ в решении задач визуализации и морфометрии левого предсердия (ЛП), анатомии устьев легочных вен, а также взаимосвязи этих параметров с наличием миокардиального фиброза желудочков, у пациентов, направленных на хирургическое лечение фибрилляции предсердий (ФП).

Материалы и методы. МРТ по модифицированному протоколу выполнено 93 пациентам для оценки возможности и целесообразности проведения хирургического лечения ФП. Протокол МРТ включал: последовательности короткого спин-Эхо TSE-T1, ретро\проспективного градиентного Эхо в кино-режиме (CINE) в стандартных проекциях, болюсную МР-ангиографию с гадолиний содержащими парамагнитными контрастными препаратами, а также постконтрастные изображения отсроченного контрастирования (MDE). Сформированный протокол включал изучение пространственной ориентации сердца, измерения линейных размеров и расчет объема ЛП с визуализацией его ушка, трехмерной реконструкцией анатомии устьев легочных вен, диагностику характера миокардиального фиброза желудочков.

Результаты. По данным МР-ангиографии диагностированы следующие варианты анатомии устьев легочных вен: у 12 пациентов (12,9%) общий ствол левых вен. У 14 пациентов (15%) – дополнительные вены, впадающие в ЛП независимым устьем, вблизи основных стволов, коллекторный тип устья как минимум одной вены (46 пациентов). По данным MDE – признаки некоронарного миокардиального фиброза ЛЖ выявлены у 16 пациентов, у 5 пациентов – рубцовые изменения, соответствующие бассейнам коронарного кровоснабжения. Параметры структурного ремоделирования ЛП (диаметр ЛП, индексированный максимальный объем ЛП\ППТ) в данной группе пациентов достоверно превышали таковые в группе без признаков миокардиального фиброза ЛЖ ($p=0.03$). Случаев тромбоза ушка ЛП не выявлено.

Заключение. Сформированный протокол МРТ позволяет в рамках одного исследования изучить особенности хирургической анатомии ЛП и лёгочных вен. Дальнейшее изучение зависимости и прогностической значимости миокардиального фиброза желудочков в оценке риска возврата ФП до и после абляции наряду с традиционными анатомическими параметрами ЛП может определять перспективы более широкого внедрения МРТ в аритмологии.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий (ФП), магнитно-резонансная томография, миокардиальный фиброз.

Контактный автор: Малов А.А., e-mail: malov_aleksei@inbox.ru

Для цитирования: Малов А.А., Еремин С.А., Бахтиозин Р.Ф., Ильясов К.А. Магнитно-резонансная томография в оценке анатомии левого предсердия и легочных вен у пациентов с фибрилляцией предсердий. REJR 2022; 12(1):32-42. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-32-42.

Статья получена: 28.10.21

Статья принята: 23.12.21

CARDIAC MRI IN ASSESSMENT OF ANATOMY OF THE LEFT ATRIAL AND PULMONARY VEINS IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION

Malov A.A.¹, Eremin S.A.², Bakhtiozin R.F.³, Ilyasov K.A.⁴

1 - Kazan State Medical University. Kazan, Russia.

2 - Republican Clinical Hospital. Kazan, Russia.

3 - Sechenov University. Moscow, Russia.

4 - Kazan (Volga Region) Federal University. Kazan, Russia.

Purpose. Studying of opportunities of cardiac MRI in imaging and measurement of the left atrium (LA) and pulmonary veins anatomy, as well as the relationship of these parameters with the presence of myocardial ventricular fibrosis, in patients directed to the surgical treatment of atrial fibrillation (AF).

Materials and methods. The modified MRI protocol was performed to 93 patients selected for carrying out surgical treatment of atrial fibrillation (AF). The MRI protocol included: the sequences short Spin-Echo TSE-T1, retro\prospective gradient Echo in the cine mode (CINE) in standard projections, bolus-tracking MR-angiography, and also post-contrast images of the delayed enhancement (MDE). The created protocol included assessment of dimensional orientation of heart, measurement of linear dimensions and volume of left atrial (LA), anatomy of pulmonary veins with three-dimensional reconstruction, diagnosis of existence and type of myocardial fibrosis of ventricles, and also visualization of left atrial appendage.

Results. According to MR-angiography the following variants of anatomy of pulmonary veins are diagnosed: common trunk (19 patients), additional veins (17 patients), collector mouth of at least one vein (46 patients). According to MDE – non coronary types of myocardial fibrosis of LV were diagnosed for 16 patients, 5 patients have changes corresponding to pools of coronary blood supply. Parameters of structural remodeling of LA (diameter of LA, indexed maximum volume LA\BSA) in this group of patients authentically exceeded those groups without presence of myocardial fibrosis of LV (p=0.03). Cases of thrombosis of LA appendage are not revealed.

Conclusion. The created protocol allows to carry out three-dimensional reconstruction of LA within one research, to estimate quantity, the sizes and anatomy of mouths of pulmonary veins, to calculate the volume of LA and to visualize its appendage, and also to diagnose fibrosis changes of LV myocardium. The received interrelation between extent of remodeling of LA and existence of fibrosis of LV can determine perspectives of cardiac MRI in risk assessment and forecasting of efficiency of accomplishment of surgical treatment.

Keywords: atrial fibrillation (AF), cardiovascular magnetic resonance imaging (MRI), magnetic resonance angiography (MRA), myocardial fibrosis.

Corresponding author: Malov A.A., e-mail: malov_aleksei@inbox.ru

For citation: Malov A.A., Eremin S.A., Bakhtiozin R.F., Ilyasov K.A. Cardiac MRI in assessment of anatomy of the left atrial and pulmonary veins in patients with atrial fibrillation. REJR 2022; 12(1):32-42. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-1-32-42.

Received: 28.10.21

Accepted: 23.12.21

На основе современных руководств Европейского Общества Кардиологов (ESC), концепция фибрилляции предсердий (ФП) представляет собой предсердную кардиомиопатию, вызывающую нарушение ритма, которая характеризуется как: «любой комплекс структурных, архитектурных, сократительных или электрофизиологических изменений,

влияющих на предсердия с возможностью вызвать клинически значимые проявления» [1]. Известно, что ремоделирование левого предсердия (ЛП) начинается с нарушения ионных клеточных механизмов формирования импульса и заканчивается структурно-функциональной деградацией предсердного миокарда и атриомегалией [2]. В основе методов хирургического лечения ФП лежит

возможность использования различных источников энергии (радиочастотная, микроволновая, ультразвуковая, лазерная), а также криоабляция, для повреждения стенки предсердия или устья легочных вен в попытке изолировать зоны аномальной электрической активности [3, 4]. Достижение непрерывности зоны изоляции и прогнозирование успеха операции является сложной задачей ввиду переменной индивидуальной анатомии. Известно, что вены с большим диаметром являются потенциально аритмогенными, а наличие дополнительных вен значительно усложняет процедуру изоляции [5]. Уменьшение толщины миокарда предсердия, развивающееся при его дилатации, коррелирует с вероятностью возникновения устойчивой ФП, об этом свидетельствует теория «критической массы ткани предсердий» [6, 7]. Явление объясняется тем, что распространяющаяся волна деполяризации, встречаясь на границах между нормальной и истонченной стенками предсердий с измененной ориентацией мышечных волокон, подвергается волновому разрыву и формированию в нем зон фиброза [8]. В ряде работ было предложено изучение некоторых особенностей, позволяющих оценить возможность и предварительную эффективность проведения вмешательства. К ним относятся: объем ЛП, размеры и анатомия впадения устьев АВ, морфология ушка. Традиционно для решения обозначенных задач применяется мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), которая также позволяет локализовать, оценить протяженность и характеризовать структуру атеросклеротической бляшки у пациентов с ИБС [9]. В то же время, важным конкурентным преимуществом МРТ является оценка миокардиального повреждения, а именно фиброза ткани желудочков и предсердий при широком спектре состояний коронарной и некоронарной этиологии, патологически связанных с развитием хронической сердечной недостаточности (ХСН) и ФП коронарной и некоронарной этиологии, при которых структурное ремоделирование и фиброзирование стенок предсердий и желудочков имеет решающее значение в прогнозировании эффективности хирургического лечения и минимизации рисков инвазивных процедур. Сравнительно новой является концепция применения МРТ не только до абляции, но и в качестве интраоперационного мониторинга, подразумевающего создание операционных гибридных форматов, а также после абляции с целью оценки полноты изоляции [10, 11]. В то же время, распространенность МРТ по сравне-

нию с МСКТ в практике хирургии ФП остается невысокой ввиду: сравнительно высоких технических требований к МР томографам, необходимость дополнительного программного обеспечения и трудоемкого постпроцессингового анализа, требующего высокой квалификации (особенно для оценки тканевых характеристик предсердий) [12, 13].

В связи с этим, целью нашего исследования явилось изучение возможностей МРТ в решении задач визуализации и морфометрии ЛП, устьев легочных вен, а также взаимосвязи этих параметров с наличием миокардиального фиброза желудочков у пациентов, направленных на хирургическое лечение фибрилляции предсердий (ФП).

Материалы и методы.

Сформирована группа из 93 пациентов отделения хирургического лечения сложных нарушений ритма и электрокардиостимуляции (ОХЛСНР) ГБУЗ РКБ МЗ РТ, имеющих пароксизмальные и персистирующие формы ФП, с недостаточным ответом на проводимую консервативную антиаритмическую терапию, и направленных для решения вопроса о возможности и целесообразности проведения хирургического лечения (радиочастотной (РЧА) или криоабляции легочных вен (КРИО), табл. №1).

Критерием включения пациентов в исследуемую группу явилось отсутствие стено-окклюзирующегося поражения проксимального коронарного русла по данным коронарографии (КАГ). Всем пациентам проводился комплекс стандартных лабораторных обследований, электрокардиография (ЭКГ) в 12 стандартных отведениях, холтеровское мониторирование ЭКГ (ХМ ЭКГ) 24 часа, а также трансэзофагеальная и чреспищеводная эхокардиография (ЧПЭхоКГ). Помимо этого, в условиях синусового ритма, а также нормо- и брадисистолических форм ФП, была проведена МРТ сердца (МР-томограф Excelart Vantage Atlas-X Toshiba 1.5 T с использованием радиочастотной катушки для грудной клетки). Протокол включал применение последовательностей короткого спин-Эхо TSE-T1 для определения пространственной ориентации сердца, ретро или проспективного градиентного Эхо в кино-режиме (CINE) для точной оценки объемов и фракций выброса камер сердца в стандартных проекциях вертикальной и горизонтальных осей левого желудочка, серии срезов по короткой оси сердца от уровня атриовентрикулярных клапанов до верхушки сердца с последующей обработкой программами постпроцессинговой обработки и анализа Segment CMR Medviso. Обь-

Таблица №1. Исходные характеристики сформированной группы пациентов.	
Общее количество пациентов	93
Возраст, лет	54.6±8.3
Фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ), %, по данным МРТ	57.8±11.6
Персистирующая форма фибрилляции предсердий (ФП), %	17 (18.3)
Мужчины	67 (72)
Артериальная гипертензия (ГБ)	71 (76.3)
Сахарный диабет II типа	23 (24.7)
Анамнез транзиторной ишемической атаки (ТИА) или инсульта	8 (8.6)
Данные приведены в виде средней M±SD % (где M – среднее выборки; S – стандартное отклонение).	

ем левого предсердия рассчитывался с помощью бипланового метода площадь-длина по формуле $8/3\pi \times ((A4c \times A2c)/L)$, где A4c и A2c – площадь левого предсердия соответственно в 4-х и 2-х камерных проекциях, а L – минимальная длина ЛП вдоль длинной оси в данных позициях [14]. Объем левого предсердия индексировался к площади поверхности тела (ППТ), рассчитанной с использованием стандартной формулы Mosteller (рис. 1).

Для изучения анатомии и получения трехмерной реконструкции ЛП и легочных вен всем пациентам проводилась магнитно-

резонансная ангиография (3D fast spoiled gradient-echo imaging sequence TE 1.9 TR 5.6 flip angle 20 матрица 256*200, толщина среза 1 мм) с использованием двухколбового шприца-инжектора MEDRAD Spectris Solaris EP (парамагнитный контрастный препарат Gadovist® концентрацией 1 ммоль/мл, BAYER PHARMA AG (Германия) в дозе 0.2 мл\кг) и программ отслеживания болюса “Visual-Prep”. Сканирование осуществлялось в корональной плоскости на задержке дыхания (среднее время 15-17 секунд) с получением проекции максимальной интенсивно

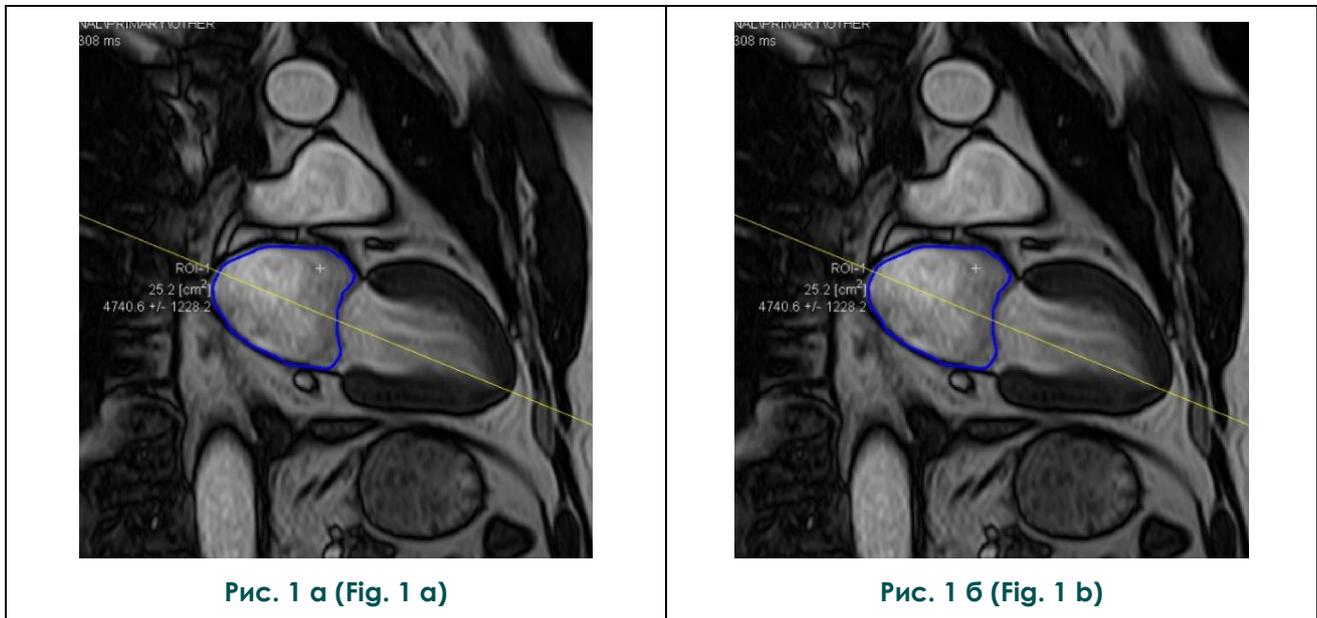


Рис. 1 а (Fig. 1 а)

Рис. 1 б (Fig. 1 б)

Рис. 1. МРТ.

Трассировка левого предсердия для расчета объема ЛП методом площадь-длина: а – в 2 -х камерной проекции, б – 4-х камерной проекции. Ушко ЛП и легочные вены не включены в расчет.

Fig. 1. MRI.

Tracing of left atrium (LA) for volume calculation by a biplane method: а – 2 chamber and б – 4-chamber view. The LA appendage and pulmonary veins are excluded.

сти сигнала (MIP) и мультипланарных реконструкций. Устья АВ измерялись в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с получением размеров по длинной (а) и короткой (б) осям относительно поперечного сечения устья. 32 пациентам (34%) для сравнения данных анатомии и размеров легочных вен также проведена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) ЛП и легочных вен. Дифференциальная диагностика коронарных и некоронарных типов фиброза ЛЖ осуществлялась на T1-взвешенных постконтрастных изображениях с инверсией восстановления (Delayed Enhancement) (2D-MDE TE 3.6 TR 9.1 flip angle 17 матрица 256*126,

Сравнение групп осуществлялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты.

По данным болюсной МР-ангиографии диагностированы следующие виды вариантной анатомии устьев легочных вен: у 12 пациентов (12,9%) общий ствол (вестибюль) левых вен размерами, а – 31.3 ± 4.8 мм, б – 17.4 ± 3.5 мм (среднее \pm стандартное отклонение). У 14 (15%) – дополнительные вены, впадающие в ЛП независимым устьем, вблизи основных стволов, а – 8.3 ± 2.1 мм, б – 6.5 ± 1.8 мм (рис. 3). У 67 (72%) пациентов типичное впадение – 4 АВ (по две с каждой

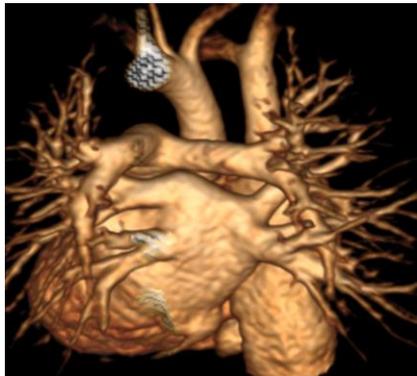


Рис. 2 а (Fig. 2 а)



Рис. 2 б (Fig. 2 б)

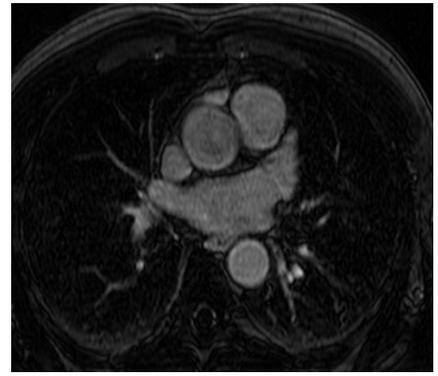


Рис. 2 в (Fig. 2 с)

Рис. 2. МР-ангиография.

а – 3D-модель сердца и сосудов с визуализацией левого предсердия (ЛП) и легочных вен (вид сзади); б – проекция максимальной интенсивности сигнала; в – отсроченное контрастирование, аксиальный срез на уровне ушка левого предсердия (ЛП).

Fig. 2. Magnetic resonance angiography.

а – 3-dimensional model of heart and vessels for LA and pulmonary veins visualization (back view); б – maximum projection of signal intensity (MIP); с – delayed enhancement, axial view at left atrial appendage level.

толщина среза 8 мм) в 4-х, 2-х камерных проекциях, минимум 4 среза по короткой оси). Оценка размеров и формы, а также исключение тромбоза ушка левого предсердия проводилась с помощью модифицированной программы в аксиальной плоскости на уровне ЛП 3D-MDE (TE 2.2 TR 5.2 flip angle 17 матрица 256*144, толщина среза 2.5 мм) в среднем 35-40 срезов, использовалась одновременная синхронизация по ЭКГ и дыханию (рис. 2).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью стандартного пакета программ Statistica for Windows, она включала вычисление средних значений, стандартных отклонений, а также медианы, 25-го и 75-го перцентилей, так как абсолютные параметры объема и диаметра ЛП не отвечали критериям нормальности распределения.

сторонами) отдельными устьями магистрального типа, причем у 8 (11,9%) один из размеров устья как минимум одной из АВ превышал 27 мм, что является определяющим в выборе метода и техники выполнения изоляции.

Вместе с тем, не только количество, но и тип впадения и расстояние до первого деления играют важную роль в эффективной изоляции устья АВ. Среди обследованных у 36 (38,7%) пациентов диагностирован коллекторный тип впадения как минимум одной из АВ, когда общее устье в ЛП образовано впадением нескольких вен без формирования магистрального ствола. Сравнительная характеристика размеров устьев АВ по данными МРТ и МСКТ для 32 обследованных пациентов приведена в таблице №2. После проведения комплексного обследования, включающего МРТ, хирургическое лечение

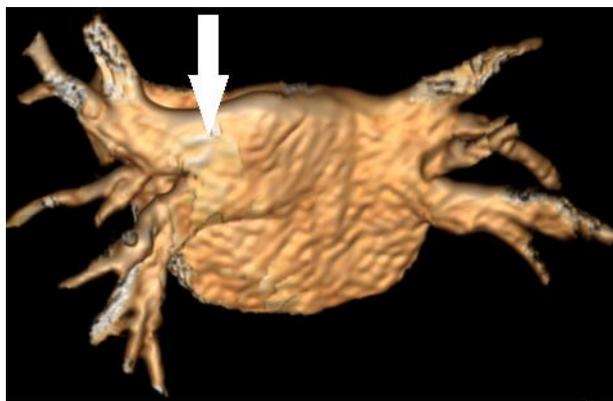


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

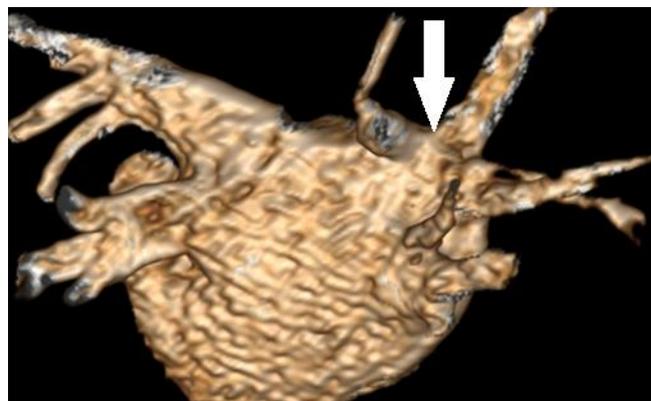


Рис.3 б (Fig. 3 б)

Рис. 3. МРА.

Трехмерная реконструкция вариантов анатомии устьев легочных вен: а – впадение левых вен единым стволом (вестибюль), б – впадение добавочных ЛВ отдельными устьями в ЛП возле правой верхней легочной вены ПВЛВ (отмечены стрелками).

Fig. 3. МРА.

Three-dimensional reconstruction of anatomy variants of pulmonary veins: a – left common pulmonary vein (LCPV); b – confluence of an additional right middle pulmonary veins (marked with an arrow).

Таблица №2. Размеры устьев легочных вен по длинной (а) и короткой (б) осям относительно поперечного сечения устья по данным МРТ и КТ.

N=32	МРТ		МСКТ		p
	а	б	а	б	
Левая верхняя легочная вена ЛВЛВ	19.4±2.6	14.2±3.1	20.2±3.2	14.5±2.7	0.035
Левая нижняя легочная вена ЛВЛВ	18.7±3.4	11.8±2.8	19.2±2.2	11.5±2.3	0.12
Правая верхняя легочная вена ПВЛВ	19.8±4.1	15.3±2.5	20.6±3.5	15.4±2.6	0.012
Правая нижняя легочная вена ПНЛВ	17.6±3.9	14.4±3.2	17.2±3.5	14.7±3.1	0.04
Общий ствол левых вен (n=6)	30.7±5.4	15.6±3.8	31.5±5.8	16.1±2.7	0.14
Дополнительные правые легочные вены	8.3±2.1	6.5±1.8	8.1±1.8	6.2±1.9	0.05

Данные приведены в виде М±SD % (где М – среднее выборки в миллиметрах; SD – стандартное отклонение).

проведено 65 пациентам. У 28 пациентов причинами отказа от операции являлись: неоперабельная анатомия устьев АВ с наличием дополнительных мелких вен диаметром менее 6 мм вблизи или между ПЛАВ и ПНАВ, превышения объема ЛП более 120 мл по данным МРТ с признаками миокардиального повреждения ЛЖ и его систолической дисфункцией. Данные анатомии АВ 65 пациентам подтверждены интраоперационно при проведении венографии.

По данным отсроченного контрастирования 2D-MDE все пациенты были разделены на 2 группы. Первая группа – 16 (17,2%) пациентов, у которых диагностированы различные типы фиброза левого желудочка: 13

метра и индексированного объема ЛП, чем у пациентов без признаков поражения желудочков ($p=0.03$). Признаков тромбоза ушка ЛП по результатам аксиальных постконтрастных 3D-MDE ни у одного пациента диагностировано не было.

Обсуждение.

На сегодняшний день, в алгоритме предоперационного обследования, задачи морфометрии и визуализации ЛП и легочных вен чаще всего решаются с помощью МСКТ. МРТ в аритмологии в основном рассматривается как информативный метод дифференциальной диагностики и картирования у пациентов с желудочковой эктопией [15]. Однако ряд авторов предлагает использовать



Рис. 4. МРТ.

Диффузные субэпикардальные фиброзные изменения ЛЖ по данным отсроченного контрастирования (отмечены стрелкой): а – 4-камерная проекция, б – 2-камерная проекция, в – средний срез по короткой оси.

Fig. 4. MRI.

Diffuse subepicardial changes of LV according to the myocardial delayed enhancement (marked with an arrow): a – 4-chamber view, b – 2-chamber view, c – middle short-axis view.

пациентов с некоронарными (субэпикардиальными и интрамуральными) паттернами, характерными для постмиокардитического кардиофиброза и дилатационной кардиомиопатии (ДКМП) (рис. 4). 3 пациента с субэндокардиальным типом контрастирования, расцененным как проявление ишемической болезни сердца (ИБС), в отсутствии изменений эпикардиальных коронарных артерий по данным КАГ, что требует дополнительного наблюдения. Во вторую группу – 77 (83%) пациентов без признаков ишемических и неишемических паттернов отсроченного контрастирования желудочков. Параметры ремоделирования ЛП пациентов обеих групп отражены в таблице №3. В группе пациентов с некоронарными типами фиброза отмечены статистически более высокие значения диа-

методику МР-ангиографии у пациентов с ФП. Faisal M. Merchant с соавт., применив МР-ангиографию, отметили, что у 13% пациентов линейный размер устья как минимум одной вены превышает 25 мм, а у 5% более 28 мм, что превышает максимальный диаметр абляционного катетера и требует несколько дублирующих проходов во время изоляции вен [10]. Ritsushi Kato с соавт. показали возможность использования МРТ как на дооперационном этапе изучения анатомии АВ, так и диагностики их стенозов после процедур изоляции [16]. В ходе нашего исследования был проведен сравнительный анализ данных МСКТ и МР-ангиографии, разница в линейных размерах устьев АВ не превышала 0.5-1 мм и обусловлена различной толщиной среза реконструкции (0.5 мм)

Таблица №3. Параметры ремоделирования левого предсердия по данным МРТ у пациентов 1-й и 2ой групп.

	Пациенты 1-й группы					Пациенты 2-й группы				
	M±SD %	медиана	среднее	25%	75%	M±SD %	медиана	среднее	25%	75%
Диаметр ЛП, мм		55.2	53.1	51.4	63.4		43.2	46.7	51.4	63.4
Максимальный объем ЛП, мл		115	108	93.5	123. 6		91.5	93.3	88.4	103.2
Индексированный максимальный объем ЛП\ППТ, мл\м ²	86.3± 6.5					65.3± 8.2				

Данные для индексированного объема ЛП приведены в виде средней M±SD % (где M – среднее выборки; SD – дисперсия выборки).

и наличием ЭКГ-синхронизации – МСКТ, а для МРТ – 1 мм, что, тем не менее, не повлияло на выбор методики и ход оперативного вмешательства при проведении катетерной абляции. В исследовании Mohammad A. Khan с соавт., было обосновано применение би-планового метода расчета объема ЛП при проведении МРТ, а также показана независимая прогностическая взаимосвязь полученных данных со смертностью [14]. Анализу тканевых характеристик желудочков и предсердий, как маркеров предоперационного прогнозирования эффективности абляции, также посвящены многочисленные исследования, большинство из которых направлено на количественный анализ степени фиброза ЛП, используя методику отсроченного контрастирования при проведении МРТ. В мультицентровом исследовании DECAAF была показана независимая прогностическая роль фиброза ЛП в оценке вероятности возврата ФП после абляции [17]. Однако исследование потребовало применения опциональных последовательностей с высоким разрешением (High-resolution 3D delayed enhancement) и установки специализированного программного обеспечения количественного анализа с трудоемкой процедурой ручной трассировки контуров ЛП. Вместе с тем, наличие фиброза желудочков также может иметь значение, однако работ в данном направлении существенно меньше. Gordon A. Vegg и соавт. показали взаимосвязь фиброза ЛЖ с давлением в ЛП и отдельными биохимическими маркерами фиброза ЛП [18], а в исследовании Eduard Shantsila с соавт. степень выраженности фиброза ЛЖ коррелировала с диастолической дисфункцией у пациентов с ФП [19]. Несмотря на то, что в данных исследованиях фиброз напрямую не ассоциировался с риском возврата ФП, он расценивался как

отражение тех же патофизиологических процессов, что приводят к фиброзу ЛП, а эпизоды ФП в свою очередь, приводили к дальнейшему фиброзированию ЛЖ и развитию хронической сердечной недостаточности (ХСН). В ряде исследований роль МРТ также обоснована возможным латентным течением миокардита и ДКМП у пациентов с идиопатической ФП [15, 20, 21]. Эффективность хирургического лечения ФП у пациентов данной группы до конца не изучена. В нашем исследовании методика ангиографии использовалась не изолированно, а дополняла протокол МРТ сердца с отсроченным контрастированием, что позволило сопоставить волюметрические показатели ЛП в зависимости от наличия фиброза ЛЖ. Результаты показали, что у 17% пациентов с пароксизмальными и персистирующими формами ФП, диагностированы фиброзные изменения желудочков различного генеза и, при наличии данных изменений, параметры ремоделирования ЛП достоверно выше, чем у пациентов без поражения, что может являться дополнительными критериями прогнозирования эффектов вмешательства. Одним из распространенных инструментов визуализации ушка ЛП на наличие тромбов у пациентов с ФП на дооперационном этапе является чреспищеводная эхокардиографии (ЧПЭхоКГ). Однако метод требует интубации пищевода, что имеет потенциальный риск осложнений и не всегда позволяет получить оптимальное акустическое окно. МСКТ также позволяет успешно выявлять тромбы полостей сердца, в том числе ушка ЛП. Возможностям контрастных и без контрастных методик МРТ посвящен ряд немногочисленных работ, однако результаты противоречивы. В исследовании Hideo Ohyama с соавт. МРТ с использованием стандартных последователь-

ностей спин-эхо с жироподавлением до и после контраста (triple-IR sequence) показали высокую корреляцию с данными ЧПЭхоКГ в выявлении тромбов крупных размеров [22]. Oliver K. Mohrs с соавт. попробовали использовать перфузионное исследование (2D perfusion), градиентную эхо-последовательность (2D/3D turboFLASH) и, сравнив результаты с ЧПЭхоКГ, пришли к выводу, что контрастное МРТ обладает низкой чувствительностью в выявлении тромбов ушка ЛП [23]. В нашем исследовании визуализация ушка ЛП проводилась с использованием модифицированных T1-взвешенных постконтрастных изображений с инверсией восстановления (3D IR sequence), одновременная синхронизация по ЭКГ и дыханию позволила уменьшить толщину среза до 2.5 мм, и получить оптимальную визуализацию. Однако среди обследованных не было пациентов с признаками тромбоза, выявленных на МРТ и\или ЧПЭхоКГ, что не позволяет сравнить чувствительность и специфичность последовательности. В целом, большинство авторов считают необходимым проведение

многоцентровых исследований, прежде чем можно будет использовать МРТ для обнаружения тромбов ушка ЛП.

Заключение.

Сформированный протокол МРТ позволяет в рамках одного исследования изучить особенности хирургической анатомии ЛП и лёгочных вен. Дальнейшее изучение зависимости и прогностической значимости миокардиального фиброза желудочков в оценке риска возврата ФП до и после аблации наряду с традиционными анатомическими параметрами ЛП может определять перспективы более широкого внедрения МРТ в аритмологии.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта No.19-29-10006.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1) Paulus Kirchhof, Stefano Benussi, Dipak Kotecha et al. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS European Heart Journal. 2018; 39 (13): 1109. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz313
 2) Goldberger JJ, Arora R, Green D, et al. Evaluating the atrial myopathy underlying atrial fibrillation: identifying the arrhythmogenic and thrombogenic substrate. Circulation. 2015; 132 (4): 278-91. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016795.
 3) Бокерия А. А., Бокерия О. Л., Меликулов А. Х. и соавт. Хирургическое лечение фибрилляции предсердий: современное состояние проблемы. Анналы аритмологии. 2009; 6 (2): 5-11.
 4) Hans Kottkamp, Roderich Bender and Jan Berg. Catheter Ablation of Atrial Fibrillation: How to Modify the Substrate? Journal of the American College of Cardiology. 2015; 65 (2): 196-206 DOI:10.1016/j.jacc.2014.10.034
 5) Istratoaie S, Roşu R, Cismaru G, et al. The Impact of Pulmonary Vein Anatomy on the Outcomes of Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. Medicina (Kaunas). 2019; 55 (11): E727. DOI: 10.3390/medicina55110727
 6) Lee AM, Aziz A, Didesch J, et al. Importance of atrial surface area and refractory period in sustaining atrial fibrillation: testing the critical mass hypothesis. J Thorac Cardiovasc Surg. 2013; 146: 593-8.
 7) Goldberger JJ, Arora R, Green D, et al. Evaluating the atrial myopathy underlying atrial fibrillation: identifying the arrhythmogenic and thrombogenic substrate. Circulation. 2015; 132 (4): 278-91. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016795.
 8) Kamkin A, Kiseleva I, Lozinsky I. The role of mechanosen-

sitive fibroblasts in the heart: evidence from acutely isolated single cells, cultured cells and from intracellular microelectrode recordings on multicellular preparations from healthy and diseased cardiac tissue. In: Kamkin A, Kiseleva I, editors. Mechanosensitivity of the heart. Mechanosensitivity in cells and tissues. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer. 2010; 3: 239-66.

9) Малов А.А., Еремин С.А. Современные томографические методы морфофункциональной оценки левого предсердия у пациентов с фибрилляцией предсердий. Практическая медицина. 2018; 16 (7) (часть 2): 59-64 DOI: 10.32000/2072-1757-2018-16-8-59-64

10) Merchant, F.M., Levy, M.R., Irvanian, S. et al. Pulmonary vein anatomy assessed by cardiac magnetic resonance imaging in patients undergoing initial atrial fibrillation ablation: implications for novel ablation technologies. J Interv Card Electrophysiol. 2016; 46: 89-96 DOI:10.1007/s10840-016-0106-9

11) Beinart, R., Nazarian, S. Role of Magnetic Resonance Imaging in Atrial Fibrillation Ablation. Curr Treat Options Cardio Med. 2014; 16: 316 DOI:/ 10.1007/s11936-014-0316-3

12) Стукалова О.В., Апарина О.П., Пархоменко Д.В., Терновой С.К. Оценка структурных изменений миокарда левого предсердия у больных мерцательной аритмией методом магнитно-резонансной томографии с отсроченным контрастированием. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2014; 4 (4): 7-15.

13) Стукалова О.В., Серова Н.С., Чеповский А.М., Терновой С.К. Компьютерное моделирование сердца на основе магнитно-резонансной томографии: клиническое применение в аритмологии. Российский электронный журнал

лучевой диагностики. 2021; 11 (2): 32-45 DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-32-45

14) Mohammad A. Khan, Eric Y. Yang, Yang Zhan, Robert M. Judd, et al. Association of left atrial volume index and all-cause mortality in patients referred for routine cardiovascular magnetic resonance: a multicenter study. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2019; 21: 4 DOI:10.1186/s12968-018-0517-0

15) A. John Baksi, PhD, MRCP, G. Sunthar Kanaganayagam, PhD, MRCP, Sanjay K. Prasad, MD, FRCP, FESC Arrhythmias in Viral Myocarditis and Pericarditis *Card Electrophysiol Clin*. 2015. DOI: 10.1016/j.ccep.2015.03.009

16) Ritsushi Kato, MD; Lars Lickfett, MD; Glenn Meininger et al. Pulmonary vein anatomy in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: lessons learned by use of magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2003; 107 (15): 2004-2010. DOI: 10.1161/01.CIR.0000061951.81767.4E

17) Nassir F. Marrouche, MD; David Wilber, MD; Gerhard Hindricks, MD; Pierre Jais et al. Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation The DECAAF Study *JAMA*. 2014; 311 (5): 498-506. doi:10.1001/jama.2014.3

18) Gordon A. Begg, Peter P. Swoboda, Rashed Karim et al. Imaging, biomarker and invasive assessment of diffuse left ventricular myocardial fibrosis in atrial fibrillation. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2020; 22: 13. DOI:10.1186/s12968-020-0603-y

References:

1) Paulus Kirchhof, Stefano Benussi, Dipak Kotecha et al. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS *European Heart Journal*. 2018; 39 (13): 1109. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz313 (in Russian).

2) Goldberger JJ, Arora R, Green D, et al. Evaluating the atrial myopathy underlying atrial fibrillation: identifying the arrhythmogenic and thrombogenic substrate. *Circulation*. 2015; 132 (4): 278-91. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016795.

3) Bockeria L. A., Bockeria O. L., Melikulov A. H. et al. Surgical treatment for atrial fibrillation: state of the art. *Annals of arrhythmology*. 2009; 6 (2): 5-11 (in Russian).

4) Hans Kottkamp, Roderich Bender and Jan Berg. Catheter Ablation of Atrial Fibrillation: How to Modify the Substrate? *Journal of the American College of Cardiology*. 2015; 65 (2): 196-206 DOI:10.1016/j.jacc.2014.10.034

5) Istratoaie S, Roşu R, Cismaru G, et al. The Impact of Pulmonary Vein Anatomy on the Outcomes of Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. *Medicina (Kaunas)*. 2019; 55 (11): E727. DOI: 10.3390/medicina55110727

6) Lee AM, Aziz A, Didesch J, et al. Importance of atrial surface area and refractory period in sustaining atrial fibrillation: testing the critical mass hypothesis. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013; 146: 593-8.

7) Goldberger JJ, Arora R, Green D, et al. Evaluating the atrial myopathy underlying atrial fibrillation: identifying the arrhythmogenic and thrombogenic substrate. *Circulation*. 2015; 132 (4): 278-91. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016795.

19) Eduard Shantsila, PhD, Alena Shantsila, MD, Andrew D. Blann, PhD, and Gregory Y.H. Lip, MD Left Ventricular Fibrillation in Atrial Fibrillation Arrhythmias and conduction disturbances 2013; 111 (7): 996-1001, april 01, DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.12.005

20) Sazonova SI, Ilyushenkova JN, Lishmanov YB et al. Assessment of radiological techniques application possibility for non-invasive diagnostics of latent inflammatory processes in myocardium in patients with atrial fibrillation. *Ann. Nucl. Med*. 2016 DOI 10.1007/s12149-016-1120-9

21) Caforio AL, Pankuweit S, Arbustini E, et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: Position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases *European Heart Journal*. 2013; 34: 2636-2648 DOI:10.1093/eurheartj/ehz210

22) Hideo Ohyama, MD; Naohisa Hosomi, MD; Tsutomu Takahashi et al. Comparison of Magnetic Resonance Imaging and Transesophageal Echocardiography in Detection of Thrombus in the Left Atrial Appendage Stroke. 2003; 34: 2436-2439 DOI: 10.1161/01.STR.0000090350.73614.0F

23) Mohrs OK, Nowak B, Petersen SE, Welsner M, Rubel C, Magedanz A, et al. Thrombus detection in the left atrial appendage using contrast-enhanced MRI: a pilot study. *AJR Am J Roentgenol*. 2006; 186: 198-205. DOI: 10.2214/AJR.04.1504.

8) Kamkin A, Kiseleva I, Lozinsky I. The role of mechanosensitive fibroblasts in the heart: evidence from acutely isolated single cells, cultured cells and from intracellular microelectrode recordings on multicellular preparations from healthy and diseased cardiac tissue. In: Kamkin A, Kiseleva I, editors. *Mechanosensitivity of the heart. Mechanosensitivity in cells and tissues*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer. 2010; 3: 239-66

9) Malov A.A., Eremin S.A. Modern tomography methods of morphology and functional assessment of the left atrium at patients with atrial fibrillation. *Practical Medicine*. 2018; 16 (7) (part 2): 59-64. DOI: 10.32000/2072-1757-2018-16-8-59-64 (in Russian).

10) Merchant, F.M., Levy, M.R., Iravanian, S. et al. Pulmonary vein anatomy assessed by cardiac magnetic resonance imaging in patients undergoing initial atrial fibrillation ablation: implications for novel ablation technologies. *J Interv Card Electrophysiol* 46, 89–96 (2016). DOI:10.1007/s10840-016-0106-9

11) Beinart, R., Nazarian, S. Role of Magnetic Resonance Imaging in Atrial Fibrillation Ablation. *Curr Treat Options Cardio Med* 16, 316 (2014). DOI:/10.1007/s11936-014-0316-3

12) Stukalova O.V., Aparina O.P., Parkhomenko D.V., Ternovoy S.K. Assessment of structural changes of left atrial myocardium in patients with atrial fibrillation by magnetic resonance imaging with delayed contrast. *Russian electronic journal of radiology*. 2014; 4 (4): 7-15 (in Russian).

13) Stukalova O.V., Serova N.S., Chepovsky A.M., Ternovoy S.K. Computer modeling of the heart based on magnetic resonance imaging: clinical application in arrhythmology. *Rus-*

- sian electronic journal of radiology. 2021; 11 (2): 32-45
DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-32-45 (in Russian).
- 14) Mohammad A. Khan, Eric Y. Yang, Yang Zhan, Robert M. Judd, et al. Association of left atrial volume index and all-cause mortality in patients referred for routine cardiovascular magnetic resonance: a multicenter study. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2019; 21: 4
DOI:10.1186/s12968-018-0517-0
- 15) John Baksi, PhD, MRCP, G. Sunthar Kanaganayagam, PhD, MRCP, Sanjay K. Prasad, MD, FRCP, FESC Arrhythmias in Viral Myocarditis and Pericarditis *Card Electrophysiol Clin*. 2015. DOI: 10.1016/j.ccep.2015.03.009
- 16) Ritsushi Kato, MD; Lars Lickfett, MD; Glenn Meininger et al. Pulmonary vein anatomy in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: lessons learned by use of magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2003; 107 (15): 2004-2010. DOI: 10.1161/01.CIR.0000061951.81767.4E
- 17) Nassir F. Marrouche, MD; David Wilber, MD; Gerhard Hindricks, MD; Pierre Jais et al. Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation The DECAAF Study *JAMA*. 2014; 311 (5): 498-506. doi:10.1001/jama.2014.3
- 18) Gordon A. Begg, Peter P. Swoboda, Rashed Karim et al. Imaging, biomarker and invasive assessment of diffuse left ventricular myocardial fibrosis in atrial fibrillation. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2020; 22: 13. DOI:10.1186/s12968-020-0603-y
- 19) Eduard Shantsila, PhD, Alena Shantsila, MD, Andrew D. Blann, PhD, and Gregory Y.H. Lip, MD Left Ventricular Fibrosis in Atrial Fibrillation Arrhythmias and conduction disturbances 2013; 111 (7): 996-1001, april 01, DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.12.005
- 20) Sazonova SI, Ilyushenkova JN, Lishmanov YB et al. Assessment of radiological techniques application possibility for non-invasive diagnostics of latent inflammatory processes in myocardium in patients with atrial fibrillation. *Ann. Nucl. Med*. 2016 DOI 10.1007/s12149-016-1120-9
- 21) Caforio AL, Pankuweit S, Arbustini E, et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: Position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases *European Heart Journal*. 2013; 34: 2636-2648 DOI:10.1093/eurheartj/eh210
- 22) Hideo Ohyama, MD; Naohisa Hosomi, MD; Tsutomu Takahashi et al. Comparison of Magnetic Resonance Imaging and Transesophageal Echocardiography in Detection of Thrombus in the Left Atrial Appendage Stroke. 2003; 34: 2436-2439 DOI: 10.1161/01.STR.0000090350.73614.0F
- 23) Mohrs OK, Nowak B, Petersen SE, Welsner M, Rubel C, Magedanz A, et al. Thrombus detection in the left atrial appendage using contrast-enhanced MRI: a pilot study. *AJR Am J Roentgenol*. 2006; 186: 198-205. DOI: 10.2214/AJR.04.1504.