

<https://doi.org/10.25512/DIR.2022.16.4.05>

## ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**М.В. Кадырова** - [ORCID: 0000-0001-8231-6866]

к.м.н., заведующая отделением ультразвуковой диагностики<sup>1</sup>

**А.Ш. Ревшвили** - [ORCID: 0000-0003-1791-9163]

академик РАН, профессор, д.м.н., директор<sup>1</sup>

\***Е.Д. Стребкова** - [ORCID: 0000-0001-5837-7255]

аспирант кафедры<sup>2</sup>

**В.С. Широков** - [ORCID: 0000-0001-7683-3672]

врач-рентгенолог отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований<sup>1</sup>

**Е.В. Ялова** - [ORCID: 0000-0001-9409-5156]

врач ультразвуковой диагностики<sup>1</sup>

**Г.Г. Кармазановский** - [ORCID: 0000-0002-9357-0998]

академик РАН, профессор, д.м.н., заведующий отделом рентгенологии и магнитно-резонансных исследований<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

115093 Российская Федерация, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, 27

<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» МЗ РФ

125993 Российская Федерация, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1 стр. 1

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- фибрилляция предсердий
- левое предсердие
- эхокардиография
- компьютерная томография
- магнитно-резонансная томография
- высокочастотное картирование

### АННОТАЦИЯ:

**Актуальность:** распространенность фибрилляции предсердий (ФП) в популяции продолжает неуклонно расти в связи со стремительным старением населения. Поиск морфологического субстрата ФП продолжается уже более полувека. Ремоделирование левого предсердия стало настолько важным аспектом в патогенезе ФП, что некоторые авторы выступают за определение предсердных кардиомиопатий.

**Цель:** изучить влияние различных методов визуализации на выявление фиброза предсердий и их ключевую роль в лечении фибрилляции предсердий.

**Выводы:** в настоящее время лучевые методы визуализации являются доступными для применения в клинической практике и предоставляют дополнительные возможности в оценке функции левого предсердия при ФП. Морфо-функциональные изменения левого предсердия могут оказывать большое влияние на глобальную гемодинамическую функцию левого предсердия, и как следствие эти изменения могут стать существенным предиктором риска прогрессирования ФП и развития инсультов. Современные методы визуализации левого предсердия дают детальную информацию о состоянии левого предсердия, что является крайне важным для кардиохирургов, аритмологов и специалистов лучевой диагностики.

**Для цитирования.** Кадырова М.В., Ревшвили А.Ш., Стребкова Е.Д., Широков В.С., Ялова Е.В., Кармазановский Г.Г. «ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ ПРИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2022; 16(4): 46–60.

\*Адрес для корреспонденции (Correspondence to): Стребкова Елизавета Дмитриевна (Strebkova Elizaveta D.), e-mail: elizabeth.strebkova@yandex.ru

# RADIATION METHODS FOR ASSESSMENT OF LEFT ATRIUM FUNCTION IN ATRIAL FIBRILLATION (LITERATURE REVIEW)

**Kadirova M.V.** - [ORCID: 0000-0001-8231-6866]

MD, PhD<sup>1</sup>

**Revishvili A.Sh.** - [ORCID: 0000-0003-1791-9163]

MD, PhD, professor, academician of RAS<sup>1</sup>

**\*Strebkova E.D.** - [ORCID: 0000-0001-5837-7255]

MD<sup>2</sup>

**Shirokov V.S.** - [ORCID: 0000-0001-7683-3672]

MD<sup>1</sup>

**Yalova E.V.** - [ORCID: 0000-0001-9409-5156]

MD<sup>1</sup>

**Karmazanovskii G.G.** - [ORCID: 0000-0002-9357-0998]

MD, PhD, professor, academician of RAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*«A.V. Vishnevskiy National Medical Research Center of Surgery» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*

*27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow, Russian Federation, 115093*

<sup>2</sup>*«Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*

*2/1 structure 1, Barrikadnaya str., Moscow, Russian Federation, 125993*

## KEY-WORDS:

- atrial fibrillation
- left atrium
- echocardiography
- computed tomography
- magnetic resonance imaging

## ABSTRACT:

**Introduction:** prevalence of atrial fibrillation (AF) in the population continues to rise steadily due to the rapid aging of the population [1]. The search for the morphological substrate of AF has been going on for more than half a century. Left atrial remodeling has become such an important aspect in the pathogenesis of AF that some authors advocate the definition of atrial cardiomyopathies [3].

**Aim:** was to examine the impact of various imaging techniques on the detection of atrial fibrosis and their key role in the treatment of atrial fibrillation.

**Conclusions:** currently, radiological imaging techniques are available for clinical practice and provide additional possibilities in the assessment of left anterior segment function in AF. Morpho-functional changes in the left atrium can have a great impact on the global hemodynamic function of the left atrium, and as a consequence, these changes can be a significant predictor of the risk of AF progression and stroke development. Morpho-functional changes in the left atrium can have a great impact on the global hemodynamic function of the left atrium, and as a consequence, these changes can be a significant predictor of the risk of AF progression and stroke development.

## Введение

Распространенность фибрилляции предсердий (ФП) в популяции продолжает неуклонно расти в связи со стремительным старением населения. Риски, ассоциированные с ФП широки от тромбоэмболических событий до немедленного нарушения гемодинамики. Все это приводит к увеличению инвалидизации и смертности населения [1].

Поиск морфологического субстрата ФП продолжается уже более полувека. Особый интерес представляют персистирующие и длительно-персистирующие формы ФП с выраженным, необратимым ремоделированием левого предсердия [2].

Ремоделирование левого предсердия стало настолько важным аспектом в патогенезе ФП, что некоторые авторы выступают за определение предсердных кардиомиопатий как «любого комплекса структурных, архитектурных, сократительных или электрофизиологических изменений, затрагивающих предсердия, которые могут вызывать клинически значимые проявления» [3].

На сегодняшний день не существует крупных многоцентровых рандомизированных исследований, доказывающих корреляционную взаимосвязь между ФП и морфофункциональным состоянием левого предсердия [4,5].

Длительное время единственным доступным методом диагностики функционального и анатомического состояния левого предсердия являлись трансторакальная и чреспищеводная эхокардиографии. Данные методы хорошо зарекомендовали себя в клинической практике вследствие общедоступности и низкой стоимости.

Появление магнитно-резонансной томографии сердца (МРТ), мультиспиральной компьютерной томографии с контрастированием (МСКТ) и высокоплотного картирования существенно улучшили диагностику морфофункционального состояния левого предсердия при фибрилляции предсердий, что расширило знания в области аритмогенного субстрата и повысило качество как эпикардальных, так и эндокардиальных аблаций [5].

В связи с чем, при ФП следует рассматривать мультимодальную диагностику сердца с применением современных методов визуализации.

Основной целью данного систематического обзора является представление современных возможностей лучевых методов визуализации левого предсердия у пациентов с фибрилляцией предсердий.

Цель данного обзора - изучить влияние различных методов визуализации на выявление фиброза предсердий и их ключевую роль в лечении фибрилляции предсердий.

#### Анатомия и функция левого предсердия

Длительное время получить достоверную информацию о строении сердца было невозможно. Рентгенография и рентгеноскопия грудной клетки предоставляли ориентировочные данные.

Появление новых высокотехнологичных методов визуализации таких как компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), высокоплотное электроанатомическое картирование повысили эффективность клинической диагностики и расширили возможности прижизненных морфологических исследований сердца [6].

Левое предсердие является тонкостенной структурой, расположенной между легочными венами и левым желудочком. Выделяют тело левого предсердия и его ушко. В процессе эмбриогенеза ушко левого предсердия формируется из первичной легочной артерии, тогда как миокард - из легочных вен [7]. Легочный венозный компонент левого предсердия представлен устьями легочных вен, впадающими в его полость, по задней стенке.

Миоархитектоника левого предсердия очень сложна и вариабильна. Стенка ЛП выполнена несколькими слоями мышечных волокон, перекрывающих друг друга и имеющих различное направление с заметными региональными различиями по толщине. Кольцевые волокна параллельны плоскости атриовентрикулярного клапана, тогда как продольные проходят практически перпендикулярно. Косые волокна располагаются между двумя главными осями [8]. Мышцы ЛП лучше развиты вокруг устьев легочных вен в виде циркулярных пучков, препятствующих обратному току крови. Протяженность муфт на стенках вен может быть значительной, и, как было показано некоторыми авторами, именно эти зоны могут являться источником аритмий [3,9].

Ушко левого предсердия представляет обособленное от предсердия образование. Располагается интраперикардially, устье ушка лежит в непосредственной близости к устью левой верхней легочной вены.

Основным осложнением ФП является инсульт тромбоэмболического генеза, источником которого чаще всего являются тромбы ушка ЛП. Описаны четыре формы ушка: «кактус», «куриное крыло», «ветроуказатель» и «цветная капуста». Морфология ушка ЛП по типу «цветной капусты» ассоциирована с высоким

риском развития тромбоэмболических событий [10]. Левое предсердие у здорового человека выполняет нейрогормональную, регуляторную и механическую функции.

Нейрогормональная функция обусловлена секрецией натрийуретического пептидного гормона, регулирующего водный баланс. Наиболее выражено данная функция проявляется в момент дилатации и при перерастяжении стенки предсердия.

Регуляторная функция основана на действии механорецепторов, расположенных в венозно-предсердных соединениях. Эти предсердные рецепторы очень чувствительны, и реагируют на колебание венозного объема <1%, что крайне важно при гиперволемии, кровоизлиянии и сердечной недостаточности.

Механическая функция левого предсердия обычно определяется тремя фазами сердечного цикла. В момент систолы желудочков предсердия выполняют резервуарную функцию (I фаза), оба атриовентрикулярных клапана закрыты. В левое предсердие кровь поступает по легочным венам. На заполнение предсердий влияет сокращение желудочков, смещение основания желудочков, системное и легочное венозное сопротивление.

Конduitная функция (II фаза) предсердий начинается с ранней диастолы, кровь пассивно течет из предсердия в желудочек. Основные факторы данной фазы: комплаентность миокарда желудочка и его конечно диастолический объем.

Насосная функция (III фаза), обеспечивающая 25-40% ударного объема левого желудочка в позднюю диастолу последнего, что согласуется с законом Франка-Старлинга.

Зависимость между давлением в предсердии и его объемом состоит из двух контуров: петли А (Aloop), представляющего насосную функцию предсердий, и петли В (Vloop), представляющего функцию предсердного резервуара (рис. 1).

Факторы, влияющие на каждую фазу левого предсердия, представлены в таблице 1 [7].

Данные о вариабельности анатомического и функционального строения левого предсердия в типологическом, возрастном и половом аспектах немногочисленны и зачастую носят противоречивый характер. В связи с чем необходимо комплексное всестороннее изучение соматотипологических закономерностей морфофункционального состояния левого предсердия при различных сердечных патологиях [2,3].

#### Трансторакальная эхокардиография

Трансторакальная эхокардиография является первой линией диагностики анатомического и функционального состояния левого предсердия. Для оценки ЛП описывается множество методов от М-режима до новейших трехмерных (3D) технологий [11].

На рисунке 2 представлена пятисегментная модель ЛП при трансторакальной двухмерной (2D) эхокардио-

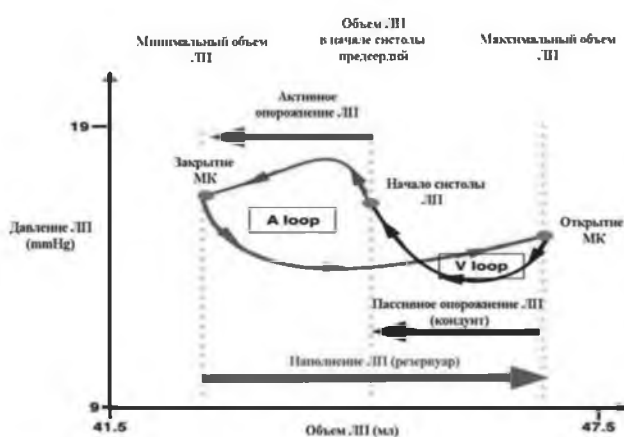


Рис. 1. Кривая зависимости давления в левом предсердии (mmHg) от его объема (мл) [7].



Рис. 2. Пяти сегментная модель левого предсердия при двухмерной трансторакальной эхокардиографии (пояснения к рисунку в тексте) [12].

Таблица 1.

Факторы, влияющие на функцию левого предсердия

Функция предсердия	Факторы, влияющие на функцию
Резервуарная (Reservoir)	Комплаентность предсердия в момент систолы желудочков Сокращение и расслабление предсердий Опущение основания ЛЖ КСО желудочков
Конduitная (Conduit)	Комплаентность предсердия Комплаентность желудочков Расслабление желудочков
Насосная (Booster Pump)	Сократимость предсердия Преднагрузка на предсердие (венозный возврат) Постнагрузка на предсердия (КДД желудочков) Систолический резерв желудочков

графии: из апикальной четырехкамерной позиции сердца. Сердце разделено косо от верхушки левого желудочка. Обычно межпредсердная перегородка (septum) располагается медиально, а латеральная стенка (lateral) - на противоположной стороне, снизу - митральное кольцо, сверху - крыша (roof) левого предсердия [12].

В апикальной двухкамерной проекции можно визуализировать - переднюю (anterior) и ниже-заднюю (infero-posterior) стенку. В трехкамерной проекции можно вывести только ниже-заднюю стенку, обращенную к аорте. Зеленые и синие точки соответствуют проекциям легочных вен.

Передне-задний размер левого предсердия является одним из основных параметров, рассчитывающийся как в М-режиме, так и в В-режиме. Передне-задний диаметр ЛП измеряют в парастернальной проекции по длинной оси сердца в конце систолы.

Увеличенный размер ЛП является маркером диастолической дисфункции левого желудочка [13] и раннего ремоделирования левого предсердия. Дилатация ЛП является прогностическим фактором развития ФП. При передне-заднем размере ЛП более 55 мм

увеличивается вероятность развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов с митральной регургитацией [14].

Площадь левого предсердия рассчитывается из апикальной проекции в 4-х и 2-х камерной проекции, но также с обязательной оценкой объема. Нормальные показатели передне-заднего размера и площади ЛП представлены в **таблице 2** [11].

В настоящее время рекомендуется проводить измерение площади и/или объема предсердий, вследствие их асимметричности, в 2D и 3D режимах [15,16].

Для достоверного измерения объема ЛП достаточно получить три основных пассивных показателя: (1) максимальный объем ЛП ( $V_{max}$ ) сразу перед открытием митрального клапана; (2) минимальный объем ЛП ( $V_{min}$ ) после закрытия митрального клапана и (3) объем предпредсердных сокращений ( $V_{preA}$ ), измеренный в начале зубца Р на электрокардиограмме. Формулы для расчета трех предсердных объемных фаз представлены в **таблице 2** [11]. Однако, учитывая большую вариабельность приведенных параметров между пациентом и патологией, данные расчеты применяются исключительно в научных целях.

Таблица 2.

**Референтные показатели левого предсердия при двух- и трехмерной эхокардиографии**

Параметр	Формула	Референтное значение (2D Эхо-КГ)	Референтное значение (3D Эхо-КГ)
<b>Размер левого предсердия</b>			
Передне-задний размер, мм (mean±SD)	Парастернальная проекция по длинной оси	муж: 30-40 жен: 27-38	
Максимальная площадь, см <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> (mean±SD)	Апикальная четырехкамерная проекция	муж: 8,9±1,5 жен: 9,3±1,7	
<b>Функциональные параметры левого предсердия</b>			
Vmax (мл/м <sup>2</sup> ) (mean±SD)	до начала открытия митрального клапана, четырехкамерная проекция	25,7±7,9	28,1±6,9
Vmin (мл/м <sup>2</sup> ) (mean±SD)	в начале зубца P, четырехкамерная проекция	8±3	10,7±3,7
VpreA (мл/м <sup>2</sup> ) (mean±SD)	после закрытия митрального клапана в четырехкамерной проекции	15±5	17,8±5,5
Общий объем опорожнения, мл (mean±SD)	Vmax-Vmin	29±7	30,9±9,0
Пассивный объем опорожнения, мл (mean±SD)	Vmax-VpreA	17±6	18,4±6,4
Активный объем опорожнения, мл (mean±SD)	VpreA-Vmin	12±4	14±6
Общая ФВ, % (mean±SD)	$[Vmax-Vmin/Vmax] \times 100\%$	69±9	62,2±7,7
Пассивная ФВ, % (mean±SD)	$[Vmax-VpreA/Vmax] \times 100\%$	41±10	37,7±11,0
Активная ФВ, мл (mean±SD)	$[VpreA-Vmin/VpreA] \times 100\%$	47±10	39,5±9,5
Индексированный Me (25%0 и 75%0), % <sup>2</sup>	$[Vmax-Vmin/Vmin] \times 100\%$	204(165;289)	208(171;250)
<b>Фазы левого предсердия</b>			
Резервуарная фаза, %	референс зубец R	39,4% (95%ДИ, 38,0-40,8%)	
Конduitная, %	референс зубец R	23,0% (95%ДИ, 38,0-40,8%)	
Насосная, %	референс зубец R	17,4% (95%ДИ, 38,0-40,8%)	

**Примечание:** ДИ- доверительный интервал (объяснение в тексте).

Активные объемные показатели ЛП включают: (1) объем резервуара ЛП (Vmax-Vmin); (2) объем кондуита ЛП (общий ударный объем ЛЖ - резервуарный объем ЛП); (3) объем пассивного опорожнения ЛП (Vmax-VpreA); (4) сократительный объем ЛП (VpreA-Vmin) (табл. 2) [11].

Объем левого предсердия напрямую зависит от пола, поэтому всегда необходимо рассчитывать индексированный объем левого предсердия к площади поверхности тела (LAVI). Согласно Американским и Европейским клиническим рекомендациям по данным 2D эхокардиографии нормой считается LAVI не более 34 мл/м<sup>2</sup> (табл. 3) [16,17]. LAVI показал наибольшую связь с сердечно-сосудистой заболеваемостью при стратификации риска [18,19].

Трехмерная эхокардиография в реальном времени, не зависящая от геометрии и деформации, может стать альтернативным методом для оценки объема левого

предсердия. Объемы ЛП, измеренные с помощью трехмерной эхокардиографии сопоставимы с данными МРТ и КТ [20]. Нормальные показатели LAVI при 3D эхокардиографии составляют от 15 до 42 мл/м<sup>2</sup> у мужчин и от 15 до 39 мл/м<sup>2</sup> у женщин [16].

Также, для оценки функции левого предсердия широко применяется метод тканевой доплерографии и режим цветового доплеровского сканирования (Tissue Doppler Imaging, **TDI**).

Преимущество импульсной тканевой доплерографии [16] и режима цветового доплеровского сканирования заключается в том, что в режиме off-line возможно одновременно получать данные от нескольких участков миокарда. Доплеровская эхокардиография позволяет регистрировать высокоамплитудные низкочастотные скорости стенки предсердия. Исследование проводится в конце выдоха за основу принимается

Таблица 3.

### Нормальные значения LAVI (мл/м<sup>2</sup>) при двухмерной эхокардиографии, для обоих полов

Норма	Незначительное увеличение	Умеренное увеличение	Значительное увеличение
16-34	35-41	42-48	более 48

**Примечание:** LAVI - индексированный объем левого предсердия к площади поверхности тела.

Таблица 4. Референтные значения доплеровских скоростей в зависимости от возраста

	Возраст		
	20-40	40-60	60
Перегородка E', см/с	12,1 (2,5)	9,8 (2,6)	7,6 (2,3)
Перегородка A', см/с	8,5 (1,7)	9,8 (2,0)	10,5 (1,7)
Латеральная E', см/с	16,4 (3,4)	12,5 (3,0)	9,6 (2,8)
Латеральная A', см/с	8,2 (2,2)	9,4 (2, 6)	10,6 (2,9)

**Примечание:** Среднее значение (стандартное отклонение) (пояснение в тексте).

объем ЛП со стороны митрального клапана у базальной межпредсердной перегородки с апикальной четырехкамерной позиции. В данной позиции регистрируется пиковая систолическая скорость (S'), пиковая ранняя диастолическая скорость (E') и пиковая сократимость предсердий (A').

Скорость E' снижается с возрастом, в отличие от показателя A'. Скорость имеет прямую связь с функцией предсердий [21]. У пациентов при наличии сопутствующих сердечных заболеваниях при A' менее 4 см/с отмечается высокий риск смерти. В таблице 4 приведены референтные значения доплеровских скоростей [22]. Несмотря на определенные преимущества данных технологий, имеется и ряд недостатков: (1) необходимость направления ультразвукового луча параллельно исследуемым структурам; (2) движение сердца имеет сложную траекторию, что приводит к погрешностям оценки скоростей движения, в зону интереса неизбежно попадают соседние зоны.

Двухмерная speckle-tracking эхокардиография - количественная ультразвуковая методика точной оценки функции миокарда путем анализа движения спеклов. Двухмерная speckle-tracking эхокардиография является углом независимым методом и не подвержена эффекту «привязки», когда движение здорового сегмента тянет за собой пораженный и создает иллюзию его нормального сокращения [23-26].

Оценка деформации (strain, S) и скорости деформации (strain rate, SR), отражает скорость укорочения или утолщения миокардиальных волокон во времени. Деформация ЛП представляет собой изменение длины стенки ЛП относительно его исходной величины, выраженное в процентах, и может иметь положительные или отрицательные значения, которые отражают его удлинение (в диастолу) или сокращение (в систолу), соответственно.

Важно отметить, что в изображении кривых деформации ЛП большое значение имеет точка, принятая за референтную, а именно - зубец P или комплекс QRS, поскольку это существенно меняет графическую картину (рис. 3) [27].

Если за начало отсчета принимается зубец P (рис. 3), конец предсердной диастолы, и первый отрицательный пик продольной деформации ( $\epsilon_{neg}$ ) представляет насосную фазу ЛП, тогда как положительный пик  $\epsilon$  ( $\epsilon_{pos}$ ) соответствует кондуктивной фазе, а их абсолютная сумма ( $\epsilon_{total}$ ) отражает фазу наполнения [27].

При использовании комплекса QRS нулевой точкой (рис. 3) является конец диастолы левого желудочка, и пиковая положительная продольная деформация ( $\epsilon_s$ ) соответствует резервуарной фазе левого предсердия, тогда как деформация во время ранней и поздней диастолы ( $\epsilon_e$  и  $\epsilon_a$ ) соответствует кондуктивной и насосной фазам, соответственно.

Согласно рисунку 4 в процессе постобработки в области интереса устанавливаются метки, для каждой области интереса строятся графики скорости движения миокарда (V), S и SR, по которым возможно количественно оценить данные параметры в любую фазу сердечного цикла. При оценке скорости деформации (SR) во время систолы ЛЖ (SR-S), ранней (SR-E) и поздней диастолы (SR-A), может быть получена дополнительная информация относительно резервуарной, кондуктивной и насосной фазы ЛП. Независимо от того, что является референтной точкой (зубец P или комплекс QRS), кривая скорости деформации является трехфазной, что вносит определенную путаницу, когда механика ЛП определяется согласно ЛЖ (от начала QRS), а не от ЛП (от начала зубца P), поскольку показатель скорости деформации в систолу предсердий (SR-A) всегда носит отрицательные значения [27].

В связи с чем, оценка деформации ЛП, рассчитанная к

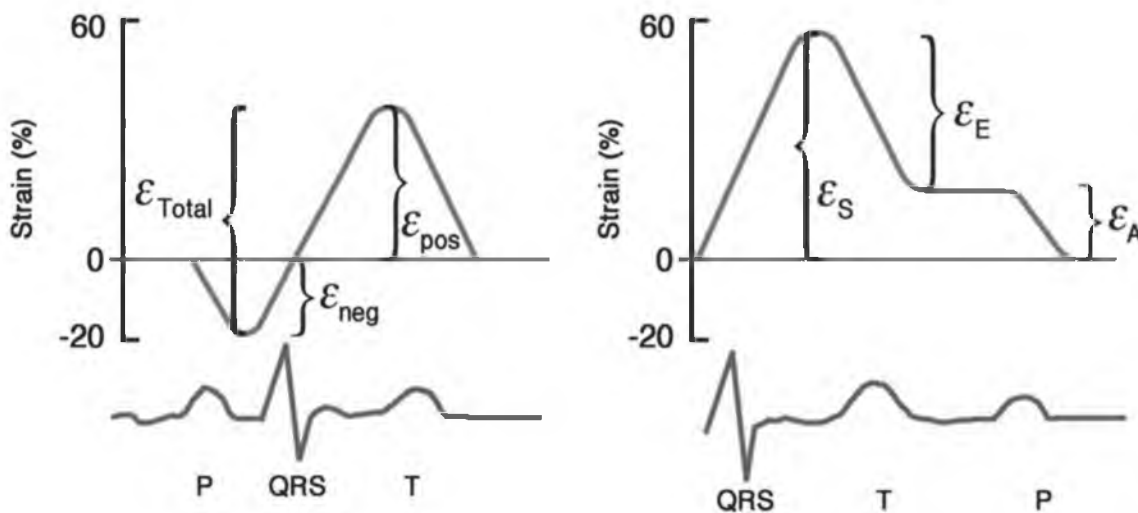


Рис. 3. Номенклатура деформаций основана на выборе нулевой точки отсчета. Электрокардиографическая волна P используется справа, комплекс QRS - слева (пояснение в тексте) [27].

зубцу P, считается предпочтительной для изучения механики ЛП, но для пациентов с фибрилляцией предсердий утрачивает актуальность.

Нормальные значения деформации и скорости деформации, полученные при 2D эхокардиографии для фазы I, II и III (референтная точка - зубец P) составляют  $37,9 \pm 7,6\%$  и  $2,0 \pm 0,6$  с<sup>-1</sup>,  $23,2 \pm 6,7\%$  и  $-2,0 \pm 0,6$  с<sup>-1</sup>,  $-14,6 \pm 3,5\%$  и  $-2,3 \pm 0,5$  с<sup>-1</sup>, соответственно [28]. Согласно данным метаанализа, референтное значение для strain ЛП в резервуарную фазу составляет  $39,4\%$  (95% ДИ,  $38,0-40,8\%$ ), в фазу бустерного насоса -  $17,4\%$  (95% ДИ  $16,0-19,0\%$ ) [29].

Liao J.N. и соавт. показали, что strain левого предсердия в резервуарную фазу уменьшается с возрастом, а в насосную фазу увеличивается [30].

Технология 2D speckle-tracking эхокардиографии подтвердила свою информативность при сравнении с МРТ [31]. Несмотря на высокие достижения двухмерной speckle-tracking imaging эхокардиографии в оценке функционального состояния левого предсердия, данный метод имеет ряд недостатков. Strain левого предсердия, измеренный в 2D режиме, зависит от качества изображения и имеет значительную погрешность вследствие выхода областей исследования из плоскости изображения, данный метод визуализации практически невозможен при предсердных тахикардиях [23]. Волокна миокарда ЛП имеют как продольное, так и циркулярное направление, а по данным МРТ фиброз левого предсердия имеет неоднородное распространение при фибрилляции предсердий.

Как отмечалось в группе ESCVI/ASE/Industry одной из причин сложностей визуализации является близкое расположение передней стенки ЛП с восходящим отделом грудной аорты. Другой проблемой, является снижение strain ЛП в переднесептальной и заднесептальной обла-

стях, что коррелирует с зонами низкого напряжения стенки левого предсердия при пароксизмальной ФП [32,33]. В связи с чем при 2D визуализации возможно упущение истинной дисфункции левого предсердия.

С 2013 года стали появляться публикации о применении трехмерной Speckle-tracking эхокардиографии [34]. Tsujiuchi M. и соавт. [35] в своей работе показали, что снижение strain ЛП в момент систолы левого желудочка при 3D Speckle-tracking эхокардиографии, в дополнении к фракции опорожнения ЛП, предсказывает нежелательные события у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Таким образом, трехмерная Speckle-tracking Imaging эхокардиография является более информативной с меньшей частотой погрешности при измерении основных показателей, ответственных за дисфункцию левого предсердия по сравнению с двухмерной Speckle-tracking Imaging эхокардиографией [36].

#### Чреспищеводная эхокардиография

Чреспищеводная эхокардиография обычно выполняется для изучения некоторых морфологических характеристик ЛП. Основными показаниями к применению методики являются оценка внутрисердечного тромбоза (особенно в ушке левого предсердия), оценка митрального клапана и выполнение структурных вмешательств, особенно в аритмологических и кардиохирургических операционных, где целью лечения является левое предсердие [37].

Кроме того, чреспищеводная эхокардиография продемонстрировала хорошую корреляцию с трансторакальной эхокардиографией при оценке функции и размера предсердий, хотя обычно недооценивает параметры по отношению к размеру полости. Тем не менее, поскольку датчик находится очень близко к ЛП, во многих случаях трудно получить всю полость в

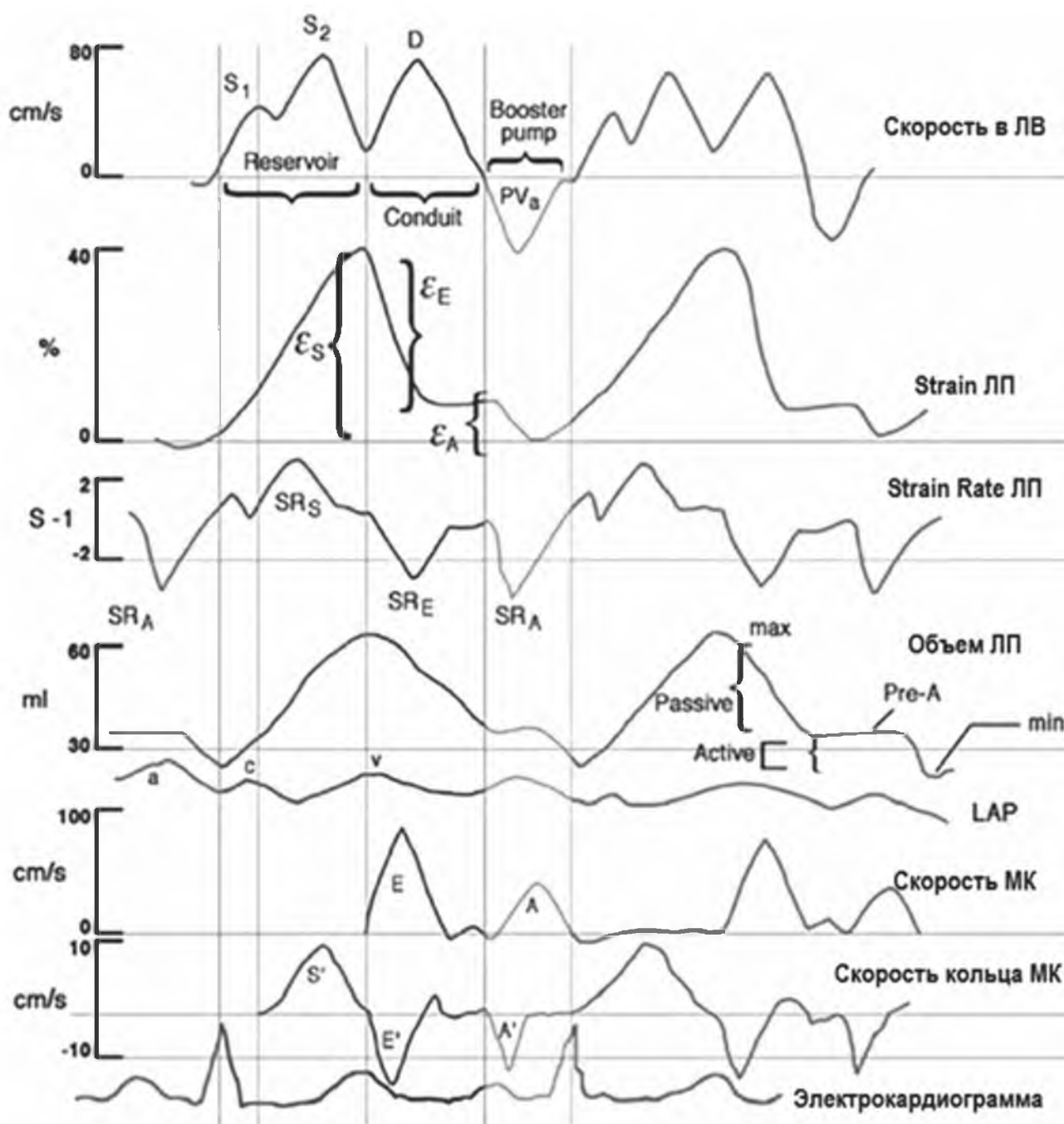


Рис. 4. Взаимосвязь функциональных параметров левого предсердия с сердечным циклом (пояснение в тексте) [27].

одной плоскости, что не позволяет провести полную оценку.

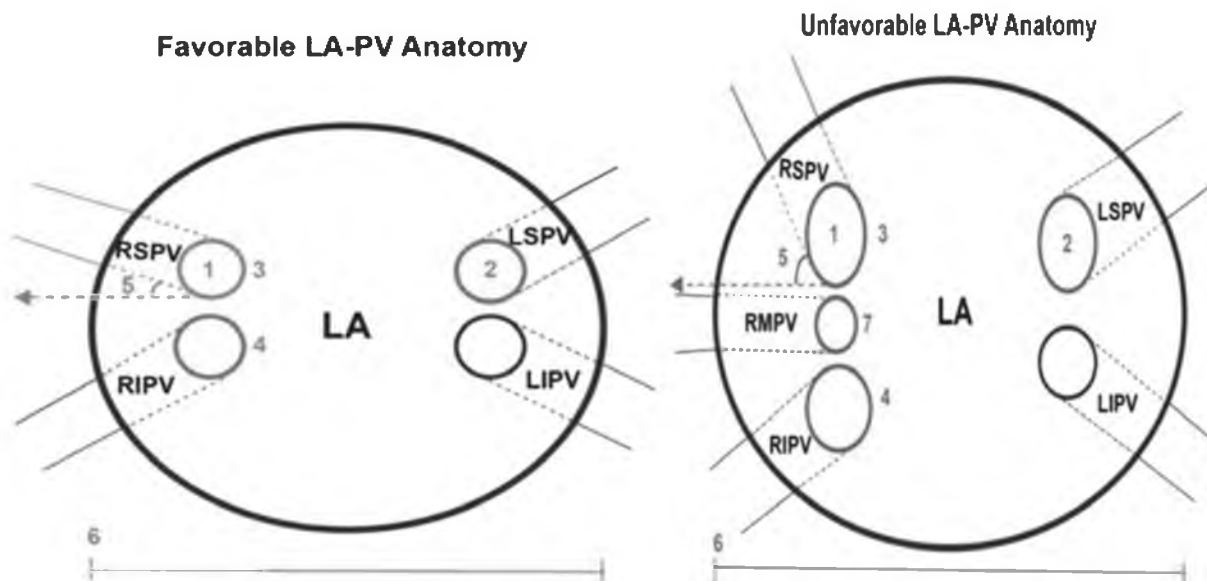
В настоящее время чреспищеводная эхокардиография считается золотым стандартом для выявления внутрисердечных тромбов. Основные преимущества чреспищеводной Эхо-КГ связаны с его высоким временным и пространственным разрешением, а также отсутствием воздействия нефротоксичных контрастных веществ. Тем не менее, чреспищеводная Эхо-КГ является полунвазивным методом, который у большинства пациентов должен выполняться с седацией и, что еще более

важно, существенно зависит от опыта специалиста [38].

#### Мультиспиральная компьютерная томография

Примерно 70 % населения в целом имеет классическую конфигурацию из четырех легочных вен: левой верхней и нижней легочных вен, правой верхней и нижней легочных вен с четырьмя независимыми устьями (рис. 5) [39]. Изменение анатомии легочных вен связано со сложным развитием венозной системы в течение первых недель беременности. Наиболее частыми аномалиями являются левосторонние легочные вены с общим устьем и третья правосторонняя легочная вена.





**Рис. 5.** Схематичное изображение вариантов топографии легочных вен по данным мультиспиральной компьютерной томографии [39]:

- LA (*left atrium*) - левое предсердие;
- PV (*Pulmonary vein*) - легочные вены (ЛВ);
- RSPV (*Right superior pulmonary vein*) - правая верхняя ЛВ;
- RIPV (*Right inferior pulmonary vein*) - правая нижняя ЛВ;
- RMPV (*Right middle pulmonary vein*) - правая промежуточная ЛВ;
- LSPV (*Left superior pulmonary vein*) - левая верхняя ЛВ;
- LIPV (*Left inferior pulmonary vein*) - левая нижняя ЛВ;
- LCPV (*Left common pulmonary vein*) - левый общий коллектор (единый коллектор) ЛВ.

Устья легочных вен имеют переменный диаметр, обычно от 9 до 13 мм у пациентов без ФП и от 12 до 24 мм при ФП (рис. 5).

Во многих исследованиях показано, что вены с большим диаметром или единым коллектором являются потенциально аритмогенными. Знание анатомии легочных вен позволяет выполнить эпи- и эндокардиальную абляцию наиболее эффективно, в частности при использовании систем электроанатомического картирования [39].

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) сердца является альтернативным методом исследования чреспищеводной эхокардиографии, демонстрируя высокую информативность в визуализации источников и потенциальных механизмов кардиогенного эмболизма. Чувствительность данного метода в диагностике тромбоза ушка ЛП достигает 64-100%, специфичность 67-99%, положительная прогностическая ценность составляет 80-84%, а отрицательная прогностическая ценность - 29-100% [38].

Wu X. и соавт. провели метаанализ для изучения потенциальной диагностической ценности МСКТ в выявлении тромбоза ЛП или его ушка. В этот метаанализ было включено в общей сложности 9 исследований с участием 1646 пациентов. Средняя чувствительность МСКТ для выявления тромба в ЛП составила 81%, а средняя специфичность - 90%. Авторы этого метаанализа при-

шли к выводу, что КТ следует считать лучшей неинвазивной альтернативой чреспищеводной Эхо-КГ для диагностики тромбоза [40].

Своевременная диагностика тромбоза ушка ЛП позволяет начать проведение адекватной антикоагулянтной терапии и минимизировать риски развития ишемического инсульта у пациентов со скрытым течением фибрилляции предсердий.

Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография (МРТ) с отсроченным введением гадолиния обладает такой же высокой точностью оценки трехмерной анатомии левого предсердия, ушка и легочных вен, как и МСКТ с контрастированием.

В 2007 году Petersen S.E. и соавт. [41] впервые применили данный метод для оценки фиброзных изменений левого предсердия и устьев легочных вен после катетерной абляции.

Наиболее используемая система классификации фиброза левого предсердия, основанная на данных МРТ с гадолинием. По классификации Utah пациенты делятся на четыре группы в зависимости от степени фиброза: Utah I (<5%), Utah II (5%-20% отсроченного усиления стенки ЛП), Utah III (20%-35% отсроченного усиления стенки ЛП) и Utah IV (>35%). Эта же классификация имеет решающее значение для прогнозирования вероятного успеха катетерной абляции при ФП [42].

Согласно крупному исследованию McGann С. J. и соавт. [43] была предложена классификация распространенности фиброза левого предсердия, включающая IV степени: I - менее 10% от объема ЛП, II - более 10% и менее 20%, III - менее 30%, IV - более 30%. Степень фиброза левого предсердия и легочных вен влияет на результаты катетерной абляции. Установлено, что при фиброзе левого предсердия более 30% эффективность радиочастотной абляции будет крайне низкой.

Исследование MESA продемонстрировало, что дилатация и снижение функции левого предсердия предшествуют развитию сердечной недостаточности. Глобальное пиковое продольное напряжение предсердий и более высокий минимальный объем ЛП являются независимыми маркерами сердечной недостаточности в многонациональной популяции [44].

Снижение резервуарной функции ЛП коррелирует с фиброзом ЛП по данным МРТ при фибрилляции предсердий. Для пациентов, после катетерной абляции по поводу ФП, резервуарная функция левого предсердия является прогностическим фактором сохранения синусового ритма и независимым предиктором обратного ремоделирования левого предсердия [45].

Впервые в 2014 году было опубликовано многоцентровое проспективное исследование DECAAF, в котором также была продемонстрирована обратная связь между степенью распространенности фиброза левого предсердия и эффектом от радиочастотной абляции устьев легочных вен при ФП [43].

В проспективном одноцентровом когортном исследовании FIBRO-RISK [46] изучалось влияние опосредованного воспаления и фиброза миокарда на риски возврата ФП после катетерных абляций. В исследовании проанализировали биомаркеры воспаления, эпикардальный жир, ремоделирование желудочков или фиброз миокарда, как предикторы рецидива ФП. Все вышеописанные факторы могут являться базовыми критериями при прогнозировании рисков развития ФП в послеоперационном периоде, отражая влияние воспалительного фиброза миокарда на риск аритмии.

Существуют значительные технические проблемы, которые ограничивают широкое применение МРТ: пациенты могут получать изображения во время ФП, хотя нерегулярная и быстрая частота сердечных сокращений может снизить качество изображения или сделать оценку фиброза недостоверной. Тонкостенная структура левого предсердия является основной проблемой при интерпретации изображений МРТ с гадолинием, которая варьирует в разных центрах, а оптимальный алгоритм обработки данных до сих пор не описан.

#### Электроанатомическое картирование

Инвазивные методы основаны на нефлюороскопическом электрофизиологическом подходе с целью выявления областей с низким напряжением и аномаль-

ными электрограммами, которые являются возможными участками фиброза миокарда предсердий. Современные системы высокоплотного картирования способны регистрировать сигнал с множества эндокардиальных электродов одновременно. Интраоперационно производится построение электроанатомической карты за счет регистрации множества точек. Программное обеспечение каждой системы картирования обрабатывает полученные данные, систематизирует их, сохраняя все данные о напряжении и активности в каждой зарегистрированной точке, в связи с чем на экран выводится трехмерная анатомическая модель исследуемой сердечной камеры с фронтом распространения возбуждения (вольтажная карта) [47].

Как отмечает Sim I. и соавт., [48] основной проблемой при оценке диагностической эффективности вольтажного картирования является отсутствие четкого консенсуса относительно формы субстрата. Гистологическое подтверждение между низковольтными участками и нативным фиброзом предсердий в настоящее время является недостаточным: МРТ сердца с гадолинием коррелировало с фиброзом предсердий при гистологической оценке у небольшого числа пациентов и несколько исследований сравнивали биполярное напряжение с МРТ [49].

Области ремоделирования или фиброза будут демонстрировать фракционированную электрограмму из-за лежащих в основе нарушений проводимости. В соответствии с этим предполагается, что фиброз предсердий связан не только с более медленной и организованной электрической активностью, но и с более низким напряжением по сравнению со здоровыми участками предсердий. Тем не менее, у пациентов с пароксизмальной и персистирующей ФП может наблюдаться различная степень фиброза и широкая вариация распределения напряжения [50].

Развитие навигационных систем и катетерных технологий позволило эффективно диагностировать и лечить аритмии различного генеза. Системное обеспечение дает возможность безопасно и точно реконструировать как трехмерную анатомические структуры сердца, так и электрофизиологические особенности при конкретной аритмии. Данные системы значительно снижают время флюороскопии, повышая безопасность процедуры для медицинского персонала и пациента [51].

Важно помнить, что электроанатомическое картирование - это инвазивная процедура, выполняемая во время катетерной абляции. В связи с чем электроанатомическое картирование не может быть использовано ни для отбора пациентов, ни для предпроцедурной прогностической оценки. Более того, создание электроанатомических карт занимает много времени, а измеряемое напряжение зависит от различных факторов, таких как частота сердечных сокращений, электрическая активация, контакт между электродом и тканью предсердия, а также толщины миокарда.

## Заключение

Фибрилляция предсердий является наиболее частым из устойчивых нарушений ритма сердца. Частота ее проявления в популяции достигает 2%, а у лиц преклонного и старческого возраста составляет до 10% [52]. Хроническое течение ФП приводит к увеличению риска летальности примерно в 1,5-2 раза [53].

Фибрилляция предсердий рассматривается как один из наиболее значимых факторов риска развития инсульта и транзиторных ишемических атак. По некоторым данным от 12 до 31% всех ишемических инсультов встречаются у пациентов с фибрилляцией предсердий в анамнезе, также существует большая группа пациентов с криптогенными инсультами, патогенез которых также объясняется скрытым течением предсердной аритмии [54].

Взаимосвязь между фибрилляцией предсердий и развитием механической дисфункции левого предсердия была установлена в 1998 году. Учеными доказана прямая связь линейного размера ЛП с вероятностью прогрессирования ФП и тромбоэмболических осложнений.

Длительное время основным параметром функционального состояния ЛП считался его передне-задний размер. На сегодняшний день рекомендуемым количественным показателем ЛП считается LAVI. При его увеличении более 34 мл/м<sup>2</sup> повышается риск развития сердечно-сосудистых событий, в частности фибрилляции предсердий [55].

Левое предсердие обладает тремя основными функциями: резервуарной, кондуктивной и сократительной, которые можно оценить с точки зрения скорости деформации (strainrate) и продольной деформации (strain) в двухмерной эхокардиографии.

В течение последнего времени растет доказательная база в отношении применения speckle-tracking imaging эхокардиографии для оценки функционального состояния сердца, которая показывает хорошее технико-экономическое обоснование, воспроизводимость и точность. Тем не менее, все еще не опубликовано проспективное клиническое испытание для оценки этого метода в больших популяциях.

Недавно разработанная speckle-tracking imaging 3D эхокардиография показала многообещающие предварительные результаты. Это еще одно технологическое направление, которое, предположительно, обеспечит более объемный и подробный анализ сердечной динамики, в результате чего эхокардиография приблизится к самому новационному методу визуализации, при этом сохранив возможность ее выполнения у постели больного.

До введения speckle-tracking, только МРТ с мечеными молекулами позволяла выполнить точный анализ деформации миокарда. МРТ с гадолинием считается золотым стандартом в этой области исследования, но

его повседневное использование ограничено высокой стоимостью, малой доступностью, относительной сложностью получения изображений и длительным анализом данных.

Таким образом, анализ функциональных показателей ЛП с применением speckle-tracking эхокардиографии может помочь выявить пациентов с высоким риском развития инсульта, которые ранее могли бы не войти в эту группу в связи с отсутствием качественной диагностики функции ЛП, вне зависимости от формы ФП. Интересным фактором является то, что у многих пациентов с ишемическим инсультом неустановленной этиологии, регистрируется нарушение функции ЛП, что может указывать на субклиническое течение ФП. Функциональные показатели ЛП превосходят по своей ценности LAVI, намного достовернее прогнозируя риск развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. В связи с чем в дальнейшем смогут иметь клиническое значение для прогнозирования ФП у пациентов с нормальными размерами ЛП.

Следует отметить, что в настоящее время лучевые методы визуализации являются доступными для применения в клинической практике и предоставляют дополнительные возможности в оценке функции левого предсердия у больных ФП.

Морфо-функциональные изменения левого предсердия могут оказывать большое влияние на глобальную гемодинамическую функцию левого предсердия, и как следствие эти изменения могут стать существенным предиктором риска прогрессирования фибрилляции предсердий и развития инсультов.

Объем левого предсердия и функциональные параметры могут использоваться для определения бессимптомного течения ФП с хорошей точностью, определяя стратегию скрининга ФП в клинической практике. Поскольку насосная функция левого предсердия утрачивается у пациентов с ритмом ФП, параметры, характеризующие резервуарную функцию левого предсердия, имеют наибольшую ценность.

Современные методы визуализации левого предсердия дают детальную информацию о состоянии левого предсердия, что является крайне важным для кардиохирургов, аритмологов и специалистов лучевой диагностики.

Большое количество представленных в работе исследований обеспечивают доказательную базу для потенциального применения всех методов визуализации левого предсердия. Однако данные технологии до сих пор используются изолированно, некоторые из них не рекомендованы для рутинного применения у большинства пациентов. Возможно, после того как будет достигнута единая система оценки значений деформации левого предсердия у больных с фибрилляцией предсердий при синхронизированном анализе с помощью магнитно-резонансной томографии, мультиспи-

ральной компьютерной томографии, эхокардиографии и высокоплотного картирования, будет точно установлена диагностическая значимость различных параметров деформации и их воспроизводимость при различ-

ных формах ФП, лучевые методы визуализации и высокоплотное картирование с построением вольтаж-ных карт займут значимую роль при выборе оптимальной тактики лечения фибрилляции предсердий. ■

## Список литературы/Reference

- Goette A, Kalman JM, Aguinaga L, et al. EHRA/HRS/APHRS/SOLAECE expert consensus on atrial cardiomyopathies: Definition, characterization, and clinical implication. *Europace*. 2016; 18: 1455-1490. <https://doi.org/10.1093/europace/euw161>
- Еремеева М.В., Сухачева Т.В., Васковский В.А. и др. Участие mir208a/b в структурном ремоделировании миокарда при фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии*. 2017; 87: 7-15.  
Eremeeva MV, Sukhacheva TV, Vaskovsky VA, et al. Role of mir208a/b in structural myocardial remodeling in atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology*. 2017; 87: 7-15 [In Russ].
- Ревিশвили А.Ш., Макаренко В.Н., Александрова С.А. Оценка морфологии легочных вен у пациентов с фибрилляцией предсердий с использованием компьютерной ангиографии. *Вестник аритмологии*. 2006; 45: 42-47.  
Revishvili AS, Makarenko VN, Aleksandrova SA, et al. Assessment of morphology of pulmonary veins in patients with atrial fibrillation using the computed angiography. *Journal of Arrhythmology*. 2006; 45: 42-47 [In Russ].
- Kislitsina ON, Revishvili AS, Cox JL. Unlocking the secrets to regenerating cardiac tissue: an update. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2018; 26(1): 146-153. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx264>
- Апарина О.П., Стукалова О.В., Пархоменко Д.В. и др. Характеристика структуры миокарда левого предсердия у больных мерцательной аритмией и здоровых лиц по данным магнитнорезонансной томографии с отсроченным контрастированием. *Вестник аритмологии*. 2014; 77: 5-12.  
Aparina OP, Stukalova OV, Parkhomenko DV, et al. Characteristics of the left atrium myocardium structure in patients with atrial fibrillation and healthy volunteers according to the data of late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance imaging. *Journal of Arrhythmology*. 2014; 77: 5-12 [In Russ].
- Longobardo L, Zito C, Carerj S. Left atrium in heart failure with preserved ejection fraction: the importance of function before anatomy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2017; 18(7): 730-731. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jex059>
- Baysan O, Ezgi PO, Tuğba KA, et al. Atria: A comprehensive evaluation with echocardiography. *Heart Vessels and Transplantation*. 2017; 1(1): 170-184. <https://doi.org/10.24969/hvt.2017.8>
- Мамчур И.Н., Чичкова Т.Ю., Каретникова В.Н. и др. Механическая функция левого предсердия и ее нарушения после антральной изоляции легочных вен. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018; 7(2): 137-145.  
Mamchur IN, Chichkova TY, Karetnikova VN, et al. Left atrial mechanical function and its disorders after pulmonary vein antrum isolation. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2018; 7(2): 137-145 [In Russ]. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-2-137-145>
- Ревিশвили А.Ш., Таймасова И.А., Артюхина Е.А. и др. Среднесрочные результаты торакоскопического и гибридного лечения фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии*. 2021; 28(3): 5-12.  
Revishvili AS, Taimasova IA, Artyukhina EA, et al. Mid-term outcomes of thoracoscopic and hybrid therapy of atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology*. 2021; 28(3): 5-12 [In Russ]. <https://doi.org/10.35336/VA-2021-3-5-12>
- Di Biase L, Santangeli P, Anselmino M, et al. Does the left atrial appendage morphology correlate with the risk of stroke in patients with atrial fibrillation? Results from a multicenter study. *J Am Coll Cardiol*. 2012; 60(6): 531-8. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.04.032>
- Moral S, Abuln M, Vilardell P, et al. Multimodality Imaging in the Study of the Left Atrium. *J Clin Med*. 2022; 11(10): 28-54. <https://doi.org/10.3390/jcm1110285>
- Todaro MC, Choudhuri I, Belohlavek M, et al. New echocardiographic techniques for evaluation of left atrial mechanics. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012; 13(12): 973-984. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jes174>

13. Thomas L, Abhayaratna WP. Left atrial reverse remodeling: mechanisms, evaluation, and clinical significance. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017; 10: 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.11.003>
14. Flaker GC, Fletcher KA, Rothbart RM, et al. Clinical and echocardiographic features of intermittent atrial fibrillation that predict recurrent atrial fibrillation. Stroke Prevention in Atrial Fibrillation (SPAF) Investigators. *Am J Cardiol*. 1995; 76: 355-8. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(99\)80100-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(99)80100-3)
15. van de Vegte YJ, Siland JE, Rienstra M, et al. Atrial fibrillation and left atrial size and function: a Mendelian randomization study. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 84-31. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87859-8>
16. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16: 233-270. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev014>
17. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, et al. ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J*. 2021; 42(5): 373-498. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612>
18. Lim DJ, Ambale-Ventakesh B, Ostovaneh MR, et al. Change in left atrial function predicts incident atrial fibrillation: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019; 20(9): 979-987. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez176>
19. Linden K, Goldschmidt F, Laser KT, et al. Left atrial volumes and phasic function in healthy children: reference values using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019; 32(8): 1036-1045. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.03.018>
20. Donal E, Galli E, Lederlin M, et al. Multimodality Imaging for Best Dealing With Patients in Atrial Arrhythmias. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019; 12: 2245-2261. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.06.031>
21. Zhang Q, Yip GW, Yu CM. Approaching regional left atrial function by tissue Doppler velocity and strain imaging. *Europace*. 2008; 10: 62-9. <https://doi.org/10.1093/europace/eun237>
22. Caballero L, Kou S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal cardiac Doppler data: results from the NORRE Study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16: 1031-41. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev083>
23. Yuda S. Current clinical applications of speckle tracking echocardiography for assessment of left atrial function. *J Echocardiogr*. 2021; 19(3): 129-140. <https://doi.org/10.1007/s12574-021-00519-8>
24. Сморгон А.В., Лебедев Д.И., Усенков С.Ю. и др. Применение speckle-tracking внутрисердечной эхокардиографии у пациентов с фибрилляцией предсердий во время радиочастотной изоляции легочных вен. *Российский кардиологический журнал*. 2017; 7(147): 117-120. Smorgon AV, Lebedev DI, Usenkov SYu, et al. Speckle-tracking intracardiac echocardiography in atrial fibrillation patients during radiofrequency isolation of pulmonary veins. *Russian Journal of Cardiology*. 2017; 7(147): 117-120 [In Russ]. <http://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-7-117-120>
25. Мусин Т.И., Багманова З.А., Гареев Д.А. и др. Прогнозирование контроля синусового ритма после радиочастотной абляции у больных с фибрилляцией предсердий с помощью технологии спекл-трекинг и динамика структурно-функциональных показателей левого предсердия. *Российский кардиологический журнал*. 2021; 26(2S): 42-56. Musin TI, Bagmanova ZA, Gareev DA, et al. Prediction of sinus rhythm maintenance after radiofrequency ablation in patients with atrial fibrillation using speckle tracking echocardiography and dynamics of left atrial structural and functional parameters. *Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26(2S): 42-56 [In Russ]. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4256>
26. Kislitsina ON, Cox JL, Shah SJ, et al. Preoperative left atrial strain abnormalities are associated with the development of postoperative atrial fibrillation following isolated coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2022; 164(3): 917-924. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.09.130>
27. Hoit BD. Left atrial size and function: role in prognosis. *J Am Coll Cardiol*. 2014; 63(6): 493-505. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.10.055>
28. Ma XX, Boldt LH, Zhang YL, et al. Clinical relevance of left atrial strain to predict recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation: a meta-analysis. *Echocardiography*. 2016; 33(5): 724-733. <https://doi.org/10.1111/echo.13184>
29. Pathan F, D'Elia N, Nolan MT, et al. Normal ranges of left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: a systematic review and meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017; 30: 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.09.007>
30. Liao JN, Chao TF, Kuo JY, et al. Age, sex, and blood pressure related influences on reference values of left atrial deformation and mechanics from a large-scale Asian population. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017; 10(10): e006077. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.116.006077>
31. Никифоров В.С., Никищенкова Ю.В. Современные возможности speckle tracking эхокардиографии в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2017; 13(2): 248-255.

- Nikiforov VS, Nikishchenkova IV. Modern Possibilities of Speckle Tracking Echocardiography in Clinical Practice. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2017; 13(2): 248-255 [In Russ].  
<https://doi.org/10.20996/1819-6446-2017-13-2-248-255>
32. Kuraoka A, Ishizu T, Sato M, et al. Left atrial regional strain assessed by novel dedicated three-dimensional speckle tracking echocardiography. *J Cardiol*. 2021; 78(6): 517-523.  
<https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2021.07.002>
33. Chen Y, Li Z, Shen X, et al. Assessment of left atrial remodeling in paroxysmal atrial fibrillation with speckle tracking echocardiography: a study with an electrophysiological mapping system. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019; 35(3): 451-459.  
<https://doi.org/10.1007/s10554-018-1470-6>
34. Dogdus M, Yenercag M, Akhan O, et al. Assessment of left atrial mechanics and left ventricular functions using 3D speckle-tracking echocardiography in patients with inappropriate sinus tachycardia. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020; 36(8): 1489-1495.  
<https://doi.org/10.1007/s10554-020-01858-w>
35. Tsujiuchi M, Ebato M, Maezawa H, et al. The prognostic value of left atrial reservoir functional indices measured by three-dimensional speckle-tracking echocardiography for major cardiovascular events. *Circ J*. 2021; 85(5): 631-639.  
<https://doi.org/10.1253/circj.CJ-20-0617>
36. Bao L, Cheng L, Gao X, et al. Left atrial morpho-functional remodeling in atrial fibrillation assessed by three dimensional speckle tracking echocardiography and its value in atrial fibrillation screening. *Cardiovasc Ultrasound*. 2022; 20(1): 13.  
<https://doi.org/10.1186/s12947-022-00282-5>
37. Deferm S, Bertrand PB, Verbrugge FH, et al. Atrial Functional Mitral Regurgitation: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*. 2019; 73(19): 2465-2476.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.02.061>
38. Park JJ, Park JH, Hwang IC, et al. Left Atrial Strain as a Predictor of New-Onset Atrial Fibrillation in Patients With Heart Failure. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020; 13(10): 2071-2081.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.04.031>
39. Vaishnav AS, Alderwish E, Coleman KM, et al. Anatomic predictors of recurrence after cryoablation for atrial fibrillation: a computed tomography based composite score. *J Interv Card Electrophysiol*. 2021; 61(2): 293-302.  
<https://doi.org/10.1007/s10840-020-00799-7>
40. Wu X, Wang C, Zhang C, et al. Computed tomography for detecting left atrial thrombus: a meta-analysis. *Arch Med Sci*. 2012; 8(6): 943-51.  
<https://doi.org/10.5114/aoms.2012.32400>
41. Petersen SE, Aung N, Sanghvi MM, et al. Reference ranges for cardiac structure and function using cardiovascular magnetic resonance (CMR) in Caucasians from the UK Biobank population cohort. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2017; 19(1): 18.  
<https://doi.org/10.1186/s12968-017-0327-9>
42. Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAAF study. *JAMA*. 2014; 311: 498-506.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>
43. McGann CJ, Kholmovski EG, Oakes RS, et al. New magnetic resonance imaging-based method for defining the extent of left atrial wall injury after the ablation of atrial fibrillation. *Journal of the American College of Cardiology*. 2008; 52(15): 1263-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.05.062>
44. Doria de Vasconcellos H, Win TT, Chamera E, et al. Reference Values for Left Atrial Volumes, Emptying Fractions, Strains, and Strain Rates and Their Determinants by Age, Gender, and Ethnicity: The Multiethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Acad Radiol*. 2021; 28(3): 356-363.  
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.02.010>
45. Delgado V, Di Biase L, Leung M, et al. Structure and Function of the Left Atrium and Left Atrial Appendage: AF and Stroke Implications. *J Am Coll Cardiol*. 2017; 70(25): 3157-3172.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.10.063>
46. Korodi S, Toganel R, Benedek T, et al. Impact of inflammation-mediated myocardial fibrosis on the risk of recurrence after successful ablation of atrial fibrillation - the FIBRO-RISK study: Protocol for a non-randomized clinical trial. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(9): e14504.  
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014504>
47. Laish-Farkash A, Perelshtein Brezinov O, Valdman A, et al. Evaluation of left atrial remodeling by 2D-speckle-tracking echocardiography versus by high-density voltage mapping in patients with atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2021; 32(2): 305-315.  
<https://doi.org/10.1111/jce.14837>
48. Sim I, Bishop M, O'Neill M, et al. Left atrial voltage mapping: Defining and targeting the atrial fibrillation substrate. *J Interv Card Electrophysiol*. 2019; 56: 213-27.  
<https://doi.org/10.1007/s10840-019-00537-8>
49. Caixal G, Alarcyn F, Althoff TF, et al. Accuracy of left atrial fibrosis detection with cardiac magnetic resonance: Correlation of late gadolinium enhancement with endocardial voltage and conduction velocity. *Europace*. 2021; 23: 380-388.  
<https://doi.org/10.1093/europace/euaa313>
50. Borlich M, Sommer P. Cardiac Mapping Systems: Rhythmia, Topera, EnSite Precision, and CARTO. *Card Electrophysiol Clin*. 2019; 11(3): 449-458.  
<https://doi.org/10.1016/j.ccep.2019.05.006>
51. Barletta V, Mazzocchetti L, Parollo M, et al. Multimodality Imaging for Atrial Fibrosis Detection in the Era of Precision Medicine. *J Cardiovasc Echogr*. 2021; 31(4): 189-197.  
[https://doi.org/10.4103/icecho.icecho\\_61\\_21](https://doi.org/10.4103/icecho.icecho_61_21)

52. Kannel WB, Benjamin EJ. Current perceptions of the epidemiology of atrial fibrillation. *CardiolClin*. 2009; 27(1): 13-24.

<https://doi.org/10.1016/j.ccl.2008.09.015>

53. Lee SE, Lee HY, Cho HJ, et al. Clinical characteristics and outcome of acute heart failure in Korea: results from the Korean Acute Heart Failure Registry (KorAHF). *Korean Circ J*. 2017; 47: 341-353.

<https://doi.org/10.4070/kcj.2016.0419>

54. Marwick TH, Shah SJ, Thomas JD. Myocardial strain in the assessment of patients with heart failure: a review. *JAMA Cardiol*. 2019;4: 287-294.

<https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.0052>

55. Sohns C, Marrouche NF. Atrial fibrillation and cardiac fibrosis. *Eur Heart J*. 2020; 41(10): 1123-1131.

<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz786>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**КАДЫРОВА МАДИНА ВАЛЕРЬЕВНА** - [ORCID: 0000-0001-8231-6866]

к.м.н., заведующая отделением ультразвуковой диагностики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

**РЕВИШВИЛИ АМИРАН ШОТАЕВИЧ** - [ORCID: 0000-0003-1791-9163]

академик РАН, профессор, д.м.н., директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

**СТРЕБКОВА ЕЛИЗАВЕТА ДМИТРИЕВНА** - [ORCID: 0000-0001-5837-7255]

аспирант кафедры, ФГБУОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» МЗ РФ

**ШИРОКОВ ВАДИМ СЕРГЕЕВИЧ** - [ORCID: 0000-0001-7683-3672]

врач-рентгенолог отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

**ЯЛОВА ЕВГЕНИЯ ВЛАДИСЛАВОВНА** - [ORCID: 0000-0001-9409-5156]

врач ультразвуковой диагностики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

**КАРМАЗАНОВСКИЙ ГРИГОРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ** - [ORCID: 0000-0002-9357-0998]

академик РАН, профессор, д.м.н., заведующий отделом рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» МЗ РФ

**Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании**

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.