

СВЯЗЬ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МИОКАРДА  
С РАСПРОСТРАНЕННОСТЬЮ НИЗКОАМПЛИТУДНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ  
ПО ДАННЫМ ВЫСОКОПЛОТНОГО ВОЛЬТАЖНОГО КАРТИРОВАНИЯ У ПАЦИЕНТОВ  
С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ

Т.В.Московских, Е.С.Ситкова, А.В.Сморгон, С.Ю.Усенков, Е.А.Арчаков, Р.Е.Баталов, М.А.Драгунова  
*НИИ кардиологии, филиал ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр  
Российской академии наук», Россия, Томск, ул. Киевская, д. 111а.*

**Цель.** Оценить связь структурных и функциональных показателей сердца с наличием и распространенностью зон низкоамплитудной активности (НА) по данным высокоплотного вольтажного картирования левого предсердия (ЛП) у пациентов с фибрилляцией предсердий (ФП).

**Материал и методы исследования.** В исследование включено 57 пациентов (23 женщины и 34 мужчины) со средним возрастом  $55,4 \pm 9,8$  лет с пароксизмальной ( $n=40$ , 70%) и персистирующей ( $n=17$ , 30%) формами ФП. Всем пациентам проводилась стандартная трансторакальная эхокардиография, оценка деформации обоих предсердий с помощью 2D Strain STE. Интраоперационно перед процедурой катетерной абляции (КА) выполнялось высокоплотное вольтажное картирование ЛП.

**Результаты.** Зоны НА по данным высокоплотного вольтажного картирования зарегистрированы у 33% пациентов. Наиболее сильными предикторами выявления зон НА в ЛП стали персистирующая форма ФП, индекс жесткости ЛП, резервуарная и сократительная функции ЛП, отношения  $E/A$  и  $E/e'$ . Построена прогностическая модель с использованием показателей индекса жесткости ЛП и отношения  $E/A$ , которая определяет высокую вероятность выявления зон НА в ЛП с чувствительностью и специфичностью 74 и 74% соответственно.

**Заключение.** Дооперационная оценка индекса жесткости, резервуарной и сократительной функции ЛП, отношения  $E/A$  и  $E/e'$  обладает предиктивной ценностью в оценке распространенности фиброза по данным высокоплотного вольтажного картирования ЛП. Дальнейшее изучение неинвазивных ультразвуковых параметров в совокупности с известными предикторами эффективности позволит сформировать алгоритмы отбора пациентов для КА, чтобы избежать прогнозируемо неэффективных вмешательств.

**Ключевые слова:** фибрилляция предсердий; фиброз предсердий; высокоплотное картирование; деформация предсердий; левое предсердие

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Финансирование:** отсутствует.

**Рукопись получена:** 28.08.2025 **Исправленная версия получена:** 11.12.2025 **Принята к публикации:** 18.12.2025

**Ответственный за переписку:** Московских Татьяна Валерьевна, E-mail: moskovskih\_tanya@mail.ru

Т.В.Московских - ORCID ID 0000-0002-8689-8493, Е.С.Ситкова - ORCID ID 0000-0002-0988-3642, А.В.Сморгон - ORCID ID 0000-0002-6531-7223, С.Ю.Усенков - ORCID ID 0000-0001-9553-9647, Е.А.Арчаков - ORCID ID 0000-0002-2530-361X, Р.Е.Баталов - ORCID ID 0000-0003-1415-3932, М.А.Драгунова - ORCID ID 0000-0002-7264-9904

**Для цитирования:** Московских ТВ, Ситкова ЕС, Сморгон АВ, Усенков СЮ, Арчаков ЕА, Баталов РЕ, Драгунова МА. Связь структурно-функциональных изменений миокарда с распространенностью низкоамплитудной активности левого предсердия по данным высокоплотного вольтажного картирования у пациентов с фибрилляцией предсердий. *Вестник аритмологии*. 2026;33(1): 5-11. <https://doi.org/10.35336/VA-1553>.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MYOCARDIUM CHANGES DUE TO THE PREVALENCE  
OF LOW-AMPLITUDE ACTIVITY IN THE LEFT ATRIUM ACCORDING TO HIGH-DENSITY VOLTAGE  
MAPPING IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION

T.V.Moskovskih, E.S.Sitkova, A.V.Smorgon, S.Yu.Usenkov, E.A.Archakov, R.E.Batalov, M.A.Dragunova  
*Cardiology research institute, branch of the FSBSI «Tomsk National research medical center of the Russian  
academy of sciences», Russia, Tomsk, 111a Kievskaya str.*

**Aim.** To assess the relationship between structural and functional parameters of the heart and the presence and prevalence of low-amplitude activity (LAA) zones according to high-density voltage mapping of the left atrium (LA) in patients with atrial fibrillation (AF).

**Methods.** The study included 57 patients (23 women and 34 men)  $55.4 \pm 9.8$  years with paroxysmal ( $n=40$ , 70%) and persistent AF ( $n=17$ , 30%). Transthoracic echocardiography, assessment of deformation of both atria - 2D Strain STE were performed in all patients. High-density voltage mapping of the LA was performed intraoperatively before the catheter ablation procedure.

**Results.** LAA zones were registered in 33% of patients. Persistent form of AF, LA stiffness index, reservoir and contractile functions of the LA, E/A and E/e' ratios became the strongest predictors of identifying LAA zones in the LA. A prognostic model was constructed using the LA stiffness index and E/A ratio, which determines a high probability of identifying LAA zones in the LA with a sensitivity and specificity of 74 and 74%, respectively.

**Conclusion.** Preoperative assessment of the stiffness index, reservoir and contractile function of the LA, E/A and E/e' ratios has predictive value in assessing the prevalence of fibrosis using high-density voltage mapping of the LA. Studying of noninvasive ultrasound parameters in combination with known predictors of effectiveness will allow us to create algorithms for selecting patient selection for catheter ablation and avoid predictably ineffective interventions.

**Key words:** atrial fibrillation; left atrium; atrial fibrosis; atrial deformation; high density mapping.

**Conflict of interest:** none.

**Funding:** none.

**Received:** 28.08.2025 **Revision received:** 11.12.2025 **Accepted:** 18.12.2025

**Corresponding author:** Moskovskih Tatiana, E-mail: moskovskih\_tanya@mail.ru

T.V.Moskovskih - ORCID ID 0000-0002-8689-8493, E.S.Sitkova - ORCID ID 0000-0002-0988-3642, A.V.Smorgon - ORCID ID 0000-0002-6531-7223, S.Yu.Usenkov - ORCID ID 0000-0001-9553-9647, E.A.Archakov - ORCID ID 0000-0002-2530-361X, R.E.Batalov - ORCID ID 0000-0003-1415-3932, M.A.Dragunova - ORCID ID 0000-0002-7264-9904

**For citation:** Moskovskih TV, Sitkova ES, Smorgon AV, Usenkov SYu, Archakov EA, Batalov RE, Dragunova MA. Structural and functional myocardium changes due to the prevalence of low-amplitude activity in the left atrium according to high-density voltage mapping in patients with atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology*. 2026;33(1): 5-11. <https://doi.org/10.35336/VA-1553>.

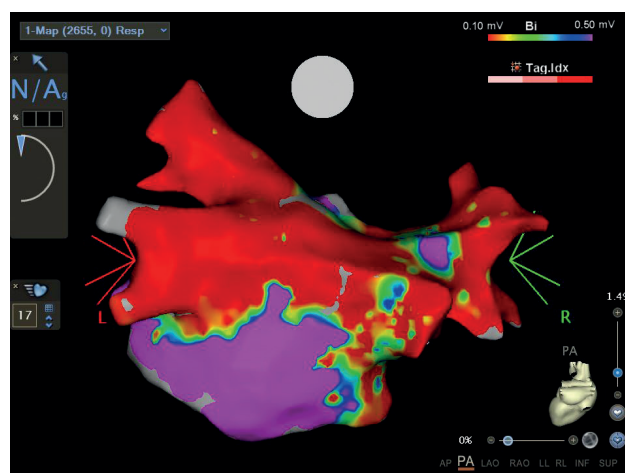
В генезе фибрилляции предсердий (ФП) важным звеном является структурное ремоделирование, приводящее к развитию фиброза миокарда предсердий различной степени выраженности. Изучению патофизиологических аспектов ремоделирования, способам визуализации и количественного измерения фиброзного субстрата аритмии уделяется большое внимание. Высокий интерес к этому вопросу обусловлен доказанной ролью распространенности фиброза предсердий в развитии послеоперационных рецидивов предсердных тахикардий [1].

Наибольшую информативность и клиническую значимость в изучении структурно-функционального состояния миокарда и его механики получили ультразвуковые и томографические методики. При этом большое внимание уделяется оценке распространенности фиброза, механике предсердий и желудочков как проявлению их ремоделирования. Применение магнитно-резонансной томографии с поздним усилением гадолинием продемонстрировало высокую информативность, что подтверждается результатами многих работ [2, 3]. Наряду с высокой разрешающей способностью, существенным ограничением является использование контраста при функциональных нарушениях почек, дороговизна, невозможность использования у пациентов с имплантированными устройствами, время обработки изображений и получения результатов.

Доступный, неинвазивный и широко используемый в практике метод трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ), в частности с применением технологии 2D Strain STE, позволяет провести детальный анализ механики предсердий и желудочков. Высокая ценность доказана для показателей резервуарной и проводниковой функций, индекса жесткости левого предсердия (ЛП), сагиттального размера и объема ЛП в прогнозировании риска рецидивов тахикардий после катетерной абляции (КА) [4, 5]. Среди инвазивных методов высокую диагностическую ценность продемонстрировало определение амплитудной актив-

сти миокарда непосредственно перед этапом катетерного лечения тахикардий путем внутрисердечного электрофизиологического вольтажного картирования.

В мировой литературе имеются работы, отражающие предикторную ценность распространенности низкоамплитудной активности (НА) в ЛП при оценке ожидаемой эффективности интервенционного лечения ФП [4, 6]. М. Masuda с соавт. проанализировали вольтажные карты ЛП у 147 пациентов с пароксизмальной ФП и доказали, что наличие зон НА в ЛП независимо связано с рецидивом ФП даже после поправки на другие факторы (ОШ 5,89; 95% ДИ 2,16-16,0,  $p=0,001$ ) [7]. Предоперационный анализ распространенности зон НА в ЛП хотя и обладает высокой ценностью, но не позволяет избежать инвазивного вмешательства, а значит, ограничивает использование методики в качестве метода отбора пациентов для КА.



**Рис. 1.** Электроанатомическая вольтажная карта левого предсердия, где низкоамплитудная зона (менее 0,1 мВ) обозначена красным цветом (область между легочными венами и по задней стенке ЛП).

Выявление связей между структурными и функциональными показателями миокарда, полученными с помощью неинвазивных и материально доступных исследований, с распространенностью зон НА в ЛП позволит оценить их значимость и повысить диагностическую ценность в прогнозировании эффективности КА и оптимизации отбора пациентов на инвазивное лечение.

Целью исследования являлась оценка связи структурных и функциональных показателей сердца с наличием зон низкоамплитудной активности по данным высокоплотного вольтажного картирования левого предсердия у пациентов с фибрилляцией предсердий.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование включено 57 пациентов (23 женщины и 34 мужчины) со средним возрастом  $55,4 \pm 9,8$  лет с пароксизмальной ( $n=40$ , 70%) и персистирующей ( $n=17$ , 30%) формами ФП. Основным заболеванием у 51 пациента была гипертоническая болезнь (ГБ), у 18 пациентов ГБ сочеталась с ишемической болезнью сердца, у 3 пациентов был диагностирован хронический миокардит и у 4 - ФП имела идиопатический характер. Не включались пациенты с клапанной патологией, нарушением сократимости левого

желудочка (ЛЖ) и сниженной фракцией выброса (ФВ) (менее 50%), а также пациенты, имеющие в анамнезе операции по поводу сердечно-сосудистых заболеваний. Все пациенты получали антиаритмическую и антикоагулянтную терапию, терапию основной и сопутствующей патологии согласно клиническим рекомендациям. Исследование проводилось в соответствии со стандартами клинических рекомендаций и принципами Хельсинкской Декларации. Протокол исследования № 205 был одобрен комитетом по биомедицинской этике 08.12.2020 г. Все пациенты подписали добровольное информированное согласие.

До операции пациенты проходили клинико-инструментальное обследование, в том числе стандартный протокол трансторакальной ЭхоКГ с оценкой структурных и функциональных показателей всех камер сердца, speckle tracking ЭхоКГ (STE). Перед проведением STE в группе с персистирующей формой ФП у 11 пациентов синусовый ритм был восстановлен электрической кардиоверсией за 48 часов до исследования, 6 пациентов имели синусовый ритм вследствие спонтанного или медикаментозного восстановления за  $18 \pm 6$  суток до госпитализации.

По данным корреляционного анализа между показателями резервуарной ( $r=-0,137$ ;  $p=0,311$ ) и сократи-

**Таблица 1.**

**Клиническая характеристика пациентов**

| Показатель                                    | Всего (n=57)    | Без зон НА (n=38) | С зонами НА (n=19) | P <sub>2-3</sub> |
|-----------------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Мужчины, n (%)                                | 34 (60)         | 23 (61)           | 11 (58)            | 0,261            |
| Женщины, n (%)                                | 23 (40)         | 15 (39)           | 8 (42)             |                  |
| Возраст, лет                                  | $55,4 \pm 9,75$ | $54,5 \pm 9,74$   | $57,2 \pm 9,78$    | 0,332            |
| Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>          | $29,9 \pm 5,47$ | $29,1 \pm 5,68$   | $31,4 \pm 4,80$    | 0,140            |
| Гипертоническая болезнь, n (%)                | 51 (89)         | 33 (87)           | 18 (95)            | 0,652            |
| ИБС, n (%)                                    | 18 (32)         | 9 (24)            | 9 (47)             | 0,129            |
| Миокардит, n (%)                              | 3 (5)           | 1 (2,5)           | 2 (10,5)           | 0,255            |
| Идиопатическая ФП, n (%)                      | 4 (7)           | 4 (10,5)          | 0 (0)              | 0,290            |
| Пароксизмальная ФП, n (%)                     | 40 (70)         | 32 (84)           | 8 (42)             | 0,002            |
| Персистирующая ФП, n (%)                      | 17 (30)         | 6 (16)            | 11 (58)            |                  |
| Длительность ФП, мес                          | 28 [12; 54]     | 36 [14; 50]       | 18 [9; 60]         | 0,260            |
| ХСН I, n (%)                                  | 8 (14)          | 4 (10,5)          | 4 (21)             | 0,218            |
| ХСН II, n (%)                                 | 7 (12)          | 4 (10,5)          | 3 (16)             | 0,381            |
| EHRA, баллы                                   | 2 [2; 2]        | 2 [2; 2]          | 2 [2; 2]           | 0,163            |
| CHA <sub>2</sub> DS <sub>2</sub> -VASC, баллы | 2 [1; 3]        | 2 [1; 2]          | 3 [1; 4]           | 0,068            |
| HAS-BLED, баллы                               | 0 [0; 1]        | 0 [0; 1]          | 1 [0; 2]           | 0,493            |
| Амиодарон, n (%)                              | 15 (26)         | 8 (21)            | 7 (37)             | 0,341            |
| Соталол, n (%)                                | 18 (32)         | 12 (32)           | 6 (31,5)           | 0,588            |
| ААП IС класса, n (%)                          | 24 (42)         | 18 (47)           | 6 (31,5)           | 0,198            |
| ИАПФ, n (%)                                   | 41 (72)         | 27 (71)           | 14 (74)            | 0,835            |

Примечания: ИБС - ишемическая болезнь сердца; ФП - фибрилляция предсердий; ХСН - хроническая сердечная недостаточность; CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASC - шкала оценки риска тромбоэмболий у пациентов с ФП; EHRA - количественная шкала симптомов, связанных с ФП; HAS-BLED - шкала оценки риска кровотечений у пациентов с ФП; ААП - антиаритмические препараты; ИАПФ - ингибиторы ангиотензин превращающего фактора.

тельной функций ЛП ( $r=-0,006$ ;  $p=0,964$ ), индексом жесткости ЛП ( $r=0,209$ ;  $p=0,119$ ), пиком Е ( $r=0,135$ ;  $p=0,459$ ), отношениями Е/А ( $r=0,120$ ;  $p=0,375$ ) и Е/е' ( $r=0,198$ ;  $p=0,204$ ), а также наличием зон НА в ЛП по данным высокоплотного картирования ( $r=0,143$ ;  $p=0,289$ ) и методом восстановления синусового ритма статистически значимой связи получено не было.

Оценка деформации обоих предсердий проводилась на ультразвуковом сканере Phillips Affinity (США) на синусовом ритме из четырехкамерной позиции, в качестве «нулевого» значения использовался зубец Р [8]. В программе Philips QLAB 15 (США) после исследования анализировались резервуарная, проводниковая и сократительная функции ЛП и резервуарная функция правого предсердия (ПП). На основании полученных данных рассчитывался индекс жесткости ЛП (left atrial stiffness index, LASI), который отражает повышение давления в левых камерах сердца и косвенно - степень фиброобразования миокарда ЛП (отношение Е/е' к резервуарной функции деформации ЛП) [8].

Внутрисердечное электрофизиологическое вольтажное картирование проводилось в условиях рентгенооперационной на синусовом ритме с электроанатомической реконструкцией ЛП на нефлюороскопической системе Carto 3 (Biosense Webster, США) с помощью 20 полюсного катетера PentaRay (Biosense Webster, США) перед основным этапом КА. Биполярные вольтажные карты записывались и фильтровались при частоте 30-300 Гц и содержали не менее 3000 точек. Зоны НА определялись как участки с 3 и более точками с амплитудой биполярного сигнала менее 0,1 мВ, участки амплитудой 0,1-0,5 мВ оценивались как «пограничные» области низкого вольтажа (рис. 1) [9].

Статистическая обработка выполнялась в программе SPSS Statistics 26 (IBM Corporation, США), проверка согласия с нормальным законом проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Данные описывались в виде средних значений с указанием стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ), медиан и квартильных размахов ( $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ ) или абсолютных значений и их долей, выраженных в процентах. Достоверность различий между несвязанными выборками оценивалась по критерию t-Стьюдента или непараметрических критериев U Манна-Уитни. Для сравнения зависимых выборок использовались парные критерии t-Стьюдента, а для сравнения номинальных показателей -  $\chi^2$  критерий Пирсона. Для оценки прогностической значимости методик применен метод логистической регрессии. Для сравнения диагностической эффективности исследуемых в работе методик проводился ROC-анализ. Показатель информативности диагностического теста получен путем определения площади под ROC-кривой (AUC) и нахождения оптимального порогового значения (the best cut-off value). Изменения считались статистически значимыми при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам анализа вольтажных карт ЛП у 19 (33%) пациентов были выявлены зоны НА в ЛП. Наиболее часто НА регистрировалась в область митрального истмуса и крыши ЛП. При сравнительном анализе пациенты с зарегистрированными зонами НА в ЛП и без были сопоставимы

по полу, возрасту, индексу массы тела, сердечно-сосудистой патологии и длительности анамнеза аритмии, но пациенты с зарегистрированными зонами НА в ЛП чаще имели персистирующую форму ФП ( $p=0,002$ ) (табл. 1).

Пациенты с зарегистрированными зонами НА в ЛП имели структурные и функциональные изменения миокарда по данным стандартной трансторакальной ЭхоКГ и 2D Strain STE: статистически значимо большие показатели индекса объема ЛП, диастолический дисфункции ЛЖ ( $E$ ,  $E/A$  и  $E/e'$ ), индекса жесткости ЛП и более низкие показатели резервуарной и сократительной функции ЛП (табл. 2).

Для оценки связей структурных и функциональных показателей миокарда с наличием зон НА в ЛП по данным высокоплотного вольтажного картирования проводился анализ методом однофакторной и многофакторной логистической регрессии, ROC-анализ (табл. 3). По данным однофакторного анализа статистически значимую связь продемонстрировали форма

Таблица 2.

Эхокардиографические характеристики пациентов

| Показатель               | Все пациенты (n=57) | Без зон НА (n=38) | С зонами НА (n=19) | $P_{2-3}$ |
|--------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| ФВ ЛЖ, %                 | 67,0 [64,0; 69,0]   | 67,0 [64,0; 69,0] | 67,0 [63,5; 70,5]  | 0,636     |
| КДО ЛЖ, мл               | 98,5 $\pm$ 18,0     | 99,1 $\pm$ 18,7   | 97,1 $\pm$ 16,8    | 0,705     |
| КСО ЛЖ, мл               | 33,0 [27,0; 38,0]   | 33,5 [28,0; 38,0] | 29 [25,0; 39,0]    | 0,898     |
| ПЗР ЛП, мм               | 39,7 $\pm$ 3,67     | 39,1 $\pm$ 3,84   | 41,1 $\pm$ 2,99    | 0,055     |
| ЛПО, мл                  | 68,8 $\pm$ 18,3     | 65,5 $\pm$ 18,0   | 75,4 $\pm$ 17,7    | 0,053     |
| ЛПИ, мл/м <sup>2</sup>   | 35,7 [30,2; 40,0]   | 33,3 [30,2; 39,2] | 38,3 [33,1; 41,9]  | 0,133     |
| ППО, мл                  | 65,6 $\pm$ 14,5     | 63,3 $\pm$ 13,7   | 70,1 $\pm$ 15,4    | 0,098     |
| ППИ, мл/м <sup>2</sup>   | 33,0 $\pm$ 5,75     | 31,9 $\pm$ 4,92   | 35,6 $\pm$ 6,68    | 0,031     |
| СДПЖ, мм рт.ст.          | 27,0 [25,0; 29,0]   | 27,0 [25,0; 29,0] | 27,0 [25,5; 28,0]  | 0,831     |
| ИММ ЛЖ, г/м <sup>2</sup> | 81,0 [75,0; 86,0]   | 81,0 [77,0; 86,0] | 77 [74,5; 88,5]    | 0,443     |
| $E$ , см/с               | 70,6 $\pm$ 15,1     | 67,3 $\pm$ 13,7   | 77,1 $\pm$ 16,0    | 0,019     |
| $A$ , см/с               | 70,7 $\pm$ 13,5     | 71,9 $\pm$ 15,3   | 68,2 $\pm$ 9,04    | 0,341     |
| $E/A$                    | 0,87 [0,80; 1,20]   | 0,84 [0,79; 1,19] | 1,09 [0,90; 1,32]  | 0,040     |
| $e'$ , см/с              | 10,9 [9,0; 12,0]    | 11,0 [9,00; 12,5] | 10,0 [9,00; 11,3]  | 0,474     |
| $E/e'$                   | 6,62 $\pm$ 1,44     | 6,16 $\pm$ 1,20   | 7,54 $\pm$ 1,48    | <0,001    |
| РФ ЛП, %                 | 26,1 $\pm$ 4,93     | 27,2 $\pm$ 4,73   | 24,1 $\pm$ 4,73    | 0,025     |
| ПФ ЛП, %                 | 17,0 $\pm$ 5,28     | 17,1 $\pm$ 5,49   | 16,7 $\pm$ 4,67    | 0,787     |
| СФ ЛП, %                 | 9,24 $\pm$ 3,83     | 10,0 $\pm$ 4,02   | 7,67 $\pm$ 2,94    | 0,028     |
| РФПП, %                  | 27,9 $\pm$ 6,0      | 27,6 $\pm$ 5,73   | 28,4 $\pm$ 6,54    | 0,652     |
| ИЖ ЛП, отн. ед.          | 0,267 $\pm$ 0,093   | 0,236 $\pm$ 0,068 | 0,329 $\pm$ 0,107  | 0,002     |

Примечания: здесь и далее ФВ - фракция выброса; ЛЖ - левый желудочек; КДО - конечный диастолический объем; КСО - конечный систолический объем; ПЗР - передне-задний размер; ЛП - левое предсердие; ЛПО - объем левого предсердия; ППО - объем правого предсердия; ЛПИ - индекс объема левого предсердия; ППИ - индекс объема правого предсердия; СДПЖ - систолическое давление в правом желудочке; ИММ - индекс массы миокарда; пик  $E$  - раннее диастолическое наполнение (пассивная фаза наполнения); пик  $A$  - позднее диастолическое наполнение (активная фаза наполнения);  $E/A$  - соотношение пассивной фазы к активной фазе наполнения  $e'$  - скорость движения латерального края фиброзного кольца митрального клапана (тканевый доплер),  $E/e'$  - отношение пассивной фазы наполнения к скорости движения латерального края фиброзного кольца митрального клапана; РФ - резервуарная функция; ПФ - проводниковая функция; СФ - сократительная функция; ПП - правое предсердие; ИЖ - индекс жесткости.

ФП, объем предсердий, индекс объема ЛП, Е, Е/А, Е/е', резервуарная и сократительная функция ЛП, индекс жесткости ЛП. Показателями, проявившими наиболее сильную связь с наличием зон НА по результатам многофакторной логистической регрессии, стали форма ФП, Е/е', резервуарная и сократительная функция ЛП, Е, Е/А и индекс жесткости ЛП.

Показатель диастолической функции ЛЖ - пик Е (раннее диастолическое наполнение ЛЖ) более 72 см/с обладает предикторной ценностью с чувствительностью 63% и специфичностью 74%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,670±0,077 (ДИ 95% 0,520-0,821);  $p=0,037$ . Отношение Е/е' (отношение пассивной фазы наполнения ЛЖ к скорости движения латерального края фиброзного кольца митрального клапана) более 6,78 предсказывает наличие НА в ЛП с чувствительностью 74% и специфичностью 74%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,766±0,067 (ДИ 95% 0,635-0,897),  $p=0,001$ . Показатель диастолической функции ЛЖ - Е/А (отношение раннего диастолического наполнения ЛЖ к позднему) более 0,9 отн. ед. предсказывает наличие НА в ЛП с чувствительностью 74% и специфичностью 63%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,668±0,073 (ДИ 95% 0,524-0,811);  $p=0,041$ .

Резервуарная функция ЛП менее 26% обладает предиктивностью с чувствительностью 63% и специфичностью 61%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,663±0,078 (ДИ 95% 0,510-0,815),  $p=0,047$ . Сократительная функция ЛП менее 8,55% предсказывает НА с чувствительностью 68% и специфичностью 66%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,688±0,072 (ДИ

95% 0,547-0,830);  $p=0,021$ . Индекс жесткости ЛП более 0,260 предсказывает наличие низкоамплитудной активности с чувствительностью 79% и специфичностью 68%, ROC-кривая характеризуется AUC 0,763±0,068 (ДИ 95% 0,629-0,897);  $p=0,001$ .

Для построения многофакторной прогностической модели был проведен анализ корреляций между факторами, имеющими наибольшую связь с наличием НА в ЛП. В результате показатели, между которыми была зарегистрирована статистически значимая связь (по шкале Чеддока), были исключены из анализа. В окончательный анализ включены индекс жесткости ЛП и отношение Е/А. Методом бинарной логистической регрессии была построена прогностическая модель, которую можно описать уравнением:

$$P = 1 / (1 + e^{-Z}),$$

$$Z = -6,98 + 14X_{лж} + 2,31X_{е/а},$$

где P - вероятность выявления зон НА в ЛП по данным высокоплотного вольтажного картирования;

e - число Эйлера, математическая константа ( $\approx 2,718$ );

Z - показатель степени в логистической функции;

X<sub>лж</sub> - индекс жесткости ЛП, рассчитанный как отношение показателя диастолической функции ЛЖ Е/е' (отн. ед.) к резервуарной функции ЛП;

X<sub>е/а</sub> - отношение раннего диастолического наполнения ЛЖ к позднему (отн. ед.)

Полученная прогностическая модель является статистически значимой ( $p < 0,001$ ). Факторами, включенными в модель, определяются 38% дисперсии вероятности выявления НА в ЛП по данным высокоплотного вольтажного картирования согласно коэффициенту детерминации Найджелкера. Исходя из значений регрессионных коэффициентов, показатели имеют прямую связь с наличием зон НА в ЛП: увеличение индекса жесткости ЛП на 0,1 отн. ед. увеличивает вероятность регистрации зон НА при проведении высокоплотного вольтажного картирования в 4,05 раза (95% ДИ 1,70-9,65), а увеличение отношения Е/А на 1 отн. ед. - в 9,91 раз (95% ДИ 1,06-92,8).

При пороговом значении вероятности выявления зон НА в ЛП ( $P=0,25$ ) для данной модели чувствительность и специфичность составили 74 и 74% соответственно. При значении  $P > 0,25$  определяется высокая вероятность выявления зон НА при проведении высокоплотного вольтажного картирования ЛП, отражающая фиброзирование миокарда предсердий. По данным ROC анализа площадь под кривой AUC составила 0,803±0,064 (ДИ 95% 0,678-0,929) (рис. 2).

**Таблица 3.**

**Связь показателей с наличием зон низкоамплитудной активности в ЛП**

| Показатель           | Однофакторный анализ |       | Многофакторный анализ |       |
|----------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------|
|                      | ОШ; 95% ДИ           | p     | ОШ; 95% ДИ            | p     |
| Возраст              | 1,03; 0,971-1,09     | 0,327 |                       |       |
| Индекс массы тела    | 1,08; 0,974-1,02     | 0,144 |                       |       |
| Форма ФП             | 7,33; 2,08-25,9      | 0,002 | 8,41; 2,18-32,5       | 0,002 |
| Длительность аритмии | 0,995; 0,980-1,01    | 0,499 |                       |       |
| ПЗР ЛП               | 1,18; 0,993-1,39     | 0,061 |                       |       |
| ЛПИ                  | 1,04; 0,972-1,12     | 0,241 |                       |       |
| ЛПО                  | 1,04; 1,00-1,08      | 0,031 |                       |       |
| ППО                  | 1,05; 1,00-1,10      | 0,039 |                       |       |
| ППИ                  | 1,16; 1,03-1,30      | 0,014 |                       |       |
| Е                    | 1,05; 1,01-1,09      | 0,028 | 1,05; 1,01-1,10       | 0,019 |
| А                    | 0,979; 0,938-1,02    | 0,336 |                       |       |
| Е/А                  | 6,72; 1,00-46,3      | 0,050 | 9,91; 1,06-92,8       | 0,045 |
| е'                   | 0,871; 0,684-1,11    | 0,260 |                       |       |
| Е/е'                 | 2,24; 1,33-3,77      | 0,002 | 2,35; 1,39-4,12       | 0,003 |
| СДПЖ                 | 0,952; 0,795-1,21    | 0,687 |                       |       |
| РФ ЛП                | 0,873; 0,771-0,988   | 0,031 | 0,856; 0,749-0,973    | 0,023 |
| ПФ ЛП                | 0,985; 0,886-1,10    | 0,783 |                       |       |
| СФ ЛП                | 0,828 0,696-0,986    | 0,034 | 0,808; 0,664-0,983    | 0,033 |
| ИЖ ЛП                | 3,79; 1,63-8,80      | 0,002 | 4,05; 1,70-9,65       | 0,002 |
| РФ ПП                | 1,02; 0,931-1,12     | 0,645 |                       |       |

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффективность катетерного лечения ФП по-прежнему остается предметом дискуссий, а поиск предикторов эффективности с течением лет не утрачивает своей актуальности. Определяется это высокой потребностью пациентов в повторных вмешательствах, достигающей 40% [10]. Несмотря на имеющиеся диагностические инвазивные и неинвазивные подходы к поиску структурно-функциональных изменений миокарда, способных прогнозировать рецидив тахикардий, однозначных алгоритмов отбора пациентов для катетерного лечения ФП по-прежнему нет.

Формирование электрического ремоделирования, реализующегося посредством сокращения продолжительности потенциала действия и увеличения эффективного рефрактерного периода, способствует развитию повторного входа-выхода волн возбуждения. Снижение предсердного вклада в формирование сердечного выброса утрачивается в условиях ФП, что обуславливает развитие как систолической, так и диастолической дисфункции с прогрессирующей дилатацией предсердий. Активация системных нейрогуморальных сигнальных путей способствует экспрессии профибротических маркеров (коллаген-1а, фибронектин, периостин), концентрация которых превышает таковую у пациентов с синусовым ритмом [11]. При этом в ряде исследований продемонстрировано, что участки фиброза ЛП соответствуют зонам низкоамплитудного сигнала при вольтажном картировании, а их распространенность связана с риском рецидивов тахикардий после катетерного лечения.

Ранее неоднократно предпринимались попытки проанализировать связь структурно-функциональных изменений миокарда с наличием и распространенностью зон НА в ЛП. Так в исследовании S.Ammar-Busch с соавт. (2022 г.) возраст, женский пол и площадь поверхности ЛП являлись независимыми предикторами, связанными с зонами НА в ЛП, диагностированными с помощью высокоплотного вольтажного картирования [12]. В работе S.Chang (2024 г.) было обнаружено влияние резервуарной функции ЛП, индекса жесткости ЛП, индекса объема ЛП, отношения  $E/e'$ , возраста и персистирующей формы ФП на степень распространенности НА. Но при поправке на другие факторы независимыми предикторами остались резервуарная функция ЛП (ОШ 0,85; 95% ДИ 0,80-0,90,  $p<0,001$ ) и индекс объема ЛП (ОШ 1,15; 95% ДИ 1,02-1,29,  $p=0,021$ ) [13]. В проведенном нами исследовании, помимо персистирующей формы ФП и отношения  $E/e'$ , статистически значимую связь с наличием зон НА в ЛП дополнительно проявили такие показатели диастолической дисфункции ЛЖ, как пик Е (пассивное диастолическое наполнение ЛЖ), и отношение пассивного наполнения к активному ( $E/A$ ), отражающие диастолическую функцию и перегрузку ЛП давлением, что не встречалось в ранее проведенных работах [14].

В исследованиях S.C.Marchandise (2022 г.) и H.Kishima (2019 г.) наиболее сильным предиктором распространенности НА в ЛП, помимо возраста паци-

ентов и индекса объема ЛП, стал индекс жесткости ЛП (ОШ 4,97; ДИ 95% 1,34-18,4,  $p=0,016$  и 10,0; ДИ 95% 1,26-19,9,  $p=0,014$  соответственно) [15, 16]. В нашей работе получены схожие результаты: индекс жесткости ЛП, отражающий степень ригидности и податливости стенки предсердия, стал одним из наиболее сильных предикторов выявления НА в том числе после поправки на другие факторы.

Возможность установления тесной связи легко воспроизводимых эхокардиографических параметров с данными вольтажного картирования позволяет с опережением инвазивного вмешательства прогнозировать выявление зон НА в ЛП. В работе 2022 года E.Pilichowska-Paszkiet с соавт., руководствуясь значимой корреляционной связью площади НА с резервуарной функцией ( $r=-0,544$ ,  $p<0,001$ ) и индексом жесткости ЛП ( $r=0,655$ ,  $p<0,001$ ), предложили использовать показатели 2D Strain STE для неинвазивной оценки фиброза ЛП и отбора кандидатов на КА [17]. Полученные нами результаты согласуются с исследованиями, представленными в мировой литературе, и подтверждают, что показатели деформации ЛП и диастолической функции ЛЖ отражают основные процессы ремоделирования предсердий и имеют потенциал в качестве предикторов выявления зон НА в ЛП у пациентов с ФП. Сформированная по полученным данным прогностическая модель с использованием индекса жесткости ЛП и отношения раннего диастолического наполнения ЛЖ к позднему позволяет определять вероятность регистрации зон НА в ЛП при проведении высокоплотного вольтажного картирования, что даст возможность формировать ожидание эффективности КА без применения дополнительных инвазивных методик.

### Ограничения исследования

Исследование имеет одноцентровый характер с малым количеством пациентов в группах наблюдения. Не включались пациенты с рецидивами предсердных тахикардий, которым требовалось повторное проведение катетерной абляции. В рамках представленных результатов не освещается влияние выявленного фи-

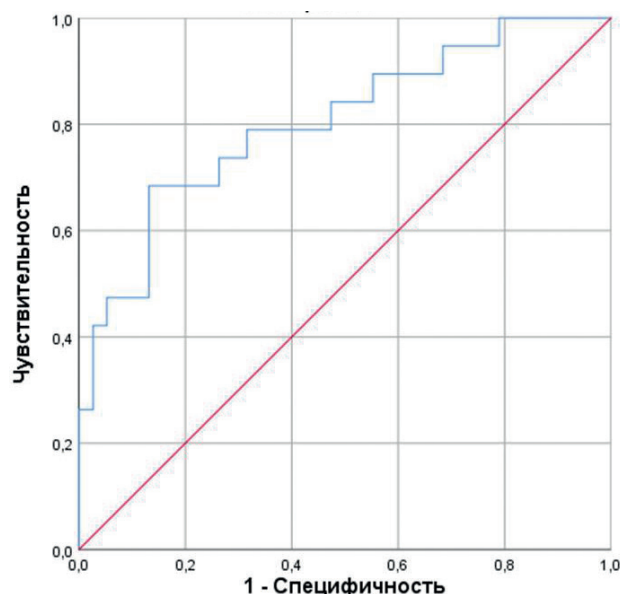


Рис. 2. Связь прогностической модели с вероятностью выявления зон низкоамплитудной активности.

броза на эффективность катетерного лечения. Кроме того, нами не оценивались показатели деформации ЛЖ, как критерии диастолической функции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования зоны НА в ЛП по данным высокоплотного вольтажного картирования зарегистрированы у 33% пациентов. Наиболее сильными предикторами выявления зон НА в ЛП стали персистирующая форма ФП, индекс жесткости ЛП, резервуарная и сократительная функции ЛП, отношения Е/А и Е/е'. Построена прогностическая модель с использованием показателей индекса жесткости ЛП и от-

ношения Е/А, которая определяет высокую вероятность выявления зон НА в ЛП с чувствительностью и специфичностью 74 и 74% соответственно. Таким образом, дооперационная неинвазивная и доступная ультразвуковая оценка индекса жесткости, резервуарной и сократительной функции ЛП, отношения Е/А и Е/е' обладает предиктивной ценностью в оценке распространенности фиброза по данным высокоплотного вольтажного картирования ЛП. Дальнейшее изучение неинвазивных ультразвуковых параметров в совокупности с известными предикторами эффективности позволит сформировать алгоритмы отбора пациентов для КА, чтобы избежать прогнозируемо неэффективных вмешательств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дедух ЕВ, Артюхина ЕА. Роль высокоплотного картирования в лечении фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии*. 2021;28(1): 33-37. [Dedukh EV, Artyukhina EA. The role of high-density mapping in atrial fibrillation ablation. *Journal of Arrhythmology*. 2021;28(1): 33-37. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.35336/VA-2021-1-33-37>.
2. 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(5): 498-506. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>.
3. Ghafouri K, Franke KB, Foo FS, Stiles MK. Clinical utility of cardiac magnetic resonance imaging to assess the left atrium before catheter ablation for atrial fibrillation - A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*. 2021;15(339): 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2021.07.030>.
4. Московских ТВ, Сморгон АВ, Усенков СЮ, и др. Предикторы ранних рецидивов предсердных тахикардий после катетерной абляции фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии*. 2024;31(4): 38-46. [Moskovskih TV, Smorgon AV, Usenkov SYu, et al. Predictors of early arrhythmia recurrence after atrial fibrillation catheter ablation. *Journal of Arrhythmology*. 2024;31(4): 38-46. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.35336/VA-1392>.
5. Bajraktari G, Bytyci I, Henein MY, et al. Left atrial structure and function predictors of recurrent fibrillation after catheter ablation: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2020;20(1): 1-13. <https://doi.org/10.1111/cpf.12595>.
6. Дедух ЕВ, Яшков МВ, Таймасова ИА, и др. Алгоритм определения степени фиброза при картировании высокой плотности. *Вестник аритмологии*. 2022;29(109): 29-36. [Dedukh EV, Yashkov MV, Taymasova IA, et al. Algorithm for determining the fibrosis stage using high-density mapping. *Journal of Arrhythmology*. 2022;29(109): 29-36. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.35336/VA-2022-3-04>.
7. Masuda M, Fujita M, Iida O, et al. Left atrial low-voltage areas predict atrial fibrillation recurrence after catheter ablation in patients with paroxysmal atrial fibrillation. *Int J Cardiol*. 2018; 15(257): 97-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.12.089>.
8. Badano LP, Kolias TJ, Muraru D, et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(6):591-600. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jej042>.
9. 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(10): 1455-1490. <https://doi.org/10.1093/europace/euw161>.
10. Эшматов ОР, Баталов РЕ, Арчаков ЕА, и др. Эффективность и безопасность антикоагулянтной терапии у пациентов с различными формами фибрилляции предсердий после интервенционного лечения. Результаты трехлетнего наблюдения. *Кардиология*. 2022;62(8): 19-26. [Eshmatov OR, Batalov RE, Archakov EA, et al. Efficacy and safety of anticoagulant therapy in patients with various forms of atrial fibrillation after interventional treatment. results of a three-year follow-up. *Kardiologiya*. 2022;62(8): 19-26. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18087/cardio.2022.8.n2046>.
11. Molina CE, Abu-Taha IH, Wang Q, et al. Profibrotic, Electrical, and calcium-handling remodeling of the atria in heart failure patients with and without atrial fibrillation. *Front Physiol*. 2018;9: 1383. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01383>.
12. Ammar-Busch S, Buiatti A, Tatzber A, et al. Predictors of low voltage areas in persistent atrial fibrillation: is it really a matter of time? *J Interv Card Electrophysiol*. 2020;57(3): 345-352. <https://doi.org/10.1007/s10840-018-0471-7>.
13. Chang S, Zhang X, Ge C, et al. Automatic echocardiographic assessment of left atrial function for prediction of low-voltage areas in non-valvular atrial fibrillation. *Int J Gen Med*. 2024; 17:4493-4506. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S477499>.
14. Masuda M, Fujita M, Iida O, et al. An E/e' ratio on echocardiography predicts the existence of left atrial low-voltage areas and poor outcomes after catheter ablation for atrial fibrillation. *Europace*. 2018;20(5): e60-e68. <https://doi.org/10.1093/europace/eux119>.
15. Marchandise S, Garnir Q, Scavée C, et al. Prediction of left atrial fibrosis and success of catheter ablation by speckle tracking echocardiography in patients imaged in persistent atrial fibrillation. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9: 856796. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.856796>.
16. Kishima H, Mine T, Fukuhara E, et al. The association between left atrial stiffness and low-voltage areas of left atrium in patients with atrial fibrillation. *Heart Vessels*. 2019;34(11): 1830-1838. <https://doi.org/10.1007/s00380-019-01423-z>.
17. Pilichowska-Paszkiel E, Baran J, Sygitowicz G, et al. Noninvasive assessment of left atrial fibrosis. Correlation between echocardiography, biomarkers, and electroanatomical mapping. *Echocardiography*. 2018;35(9): 1326-1334. <https://doi.org/10.1111/echo.14043>.