



Вайханская Т.Г. ✉, Геворкян Т.Т., Козлов И.Д., Цыганов А.Д., Фролов А.В.
Республиканский научно-практический центр «Кардиология», Минск, Беларусь

Влияние межпредсердной блокады и деформации левого предсердия на прогноз возвратной фибрилляции предсердий у пациентов после катетерной абляции

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Вайханская Т.Г. – идея, концепция и дизайн исследования, статистическая обработка материала, литературный обзор, подготовка и структурирование статьи, формирование результатов и выводов; Геворкян Т.Т. – набор материала, анализ данных; Козлов И.Д. – проверка гипотез, анализ данных, набор материала; Цыганов А.Д. – набор материала, анализ данных; Фролов А.В. – формирование задач исследования, редактирование текста статьи.

Этическое заявление: исследование выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации.

Информированное согласие: на проведение исследования и анонимную публикацию результатов у всех пациентов получено письменное информированное согласие.

Подана: 31.03.2025

Принята: 08.08.2025

Контакты: tat_vaikh@mail.ru

Резюме

Цель. Изучить взаимосвязи деформации левого предсердия (LAS) и далеко зашедшей межпредсердной блокады (дзМПБ) с рецидивами фибрилляции предсердий (ФП) после катетерной процедуры изоляции легочных вен (ИЛВ).

Материалы и методы. В исследование включили 60 пациентов (средний возраст составил 56 ± 9 лет, 32 (53,3%) мужчины, фракция выброса ЛЖ – $57 \pm 8\%$) с интервенционным лечением ФП и проспективным анализом возвратной ФП в период наблюдения 355 [300–396] дней после ИЛВ. Исследования ЭКГ и ЭхоКГ выполняли во время синусового ритма. Нарушения межпредсердной проводимости (МПП) и дзМПБ определяли на основе критериев Bayes de Luna 2017 г. Оценку морфологии и амплитудно-временных параметров Р-волны проводили с помощью 12-канальной цифровой компьютерной системы «Интекард-8.1» (BY) согласно алгоритмам автоматического ЭКГ-анализа. По степени нарушения МПП выделены 2 группы пациентов: 1) с нормальной МПП и частичной МПБ ($n=30$) и 2) с дзМПБ ($n=30$, МПБ типичной и атипичной формы с бифазной морфологией зубца Р минимум в 2 из 3 нижних отведений ЭКГ – II, III, aVF). ЭхоКГ проводили со стандартной оценкой всех камер сердца, дополнительно анализировали пиковую глобальную продольную деформацию предсердий в фазах резервуара (LASr), проводника (LAScd) и сокращения (LASct). В качестве первичной конечной точки приняты рецидивы ФП в период от 3 до 12 месяцев наблюдения.

Результаты. Рецидивы ФП зарегистрированы у 24 (40%) пациентов в период от 128 до 359 дней (медиана 213 дней). Деформация ЛП в резервуарной (LASr: $r=-0,79$; $p=0,0001$) и контрактильной (LASct: $r=0,71$; $p=0,0001$) фазах, дзМПБ ($r=0,48$; $p=0,001$) были ассоциированы с более высокой частотой возвратной ФП. Пороговые значения деформации согласно ROC-анализу составили для LASr $\leq 21\%$ (AUC=0,870; 95%

ДИ: 0,776–0,963; $p=0,000$) и для LASct $\geq -5,5\%$ ($AUC=-0,803$; 95% ДИ: $-0,713... -0,942$; $p=0,001$). С-статистика для дзМПБ была несколько ниже ($AUC=0,743$; 95% ДИ: $0,613-0,873$; $p=0,002$). В результате анализа постпроцедурных рецидивов ФП при оценке кумулятивных событийных кривых Каплана – Майера, исключая 3-месячный период выжидания, высокая предиктивная значимость подтверждена для дзМПБ, LASr и LASct (log-rank: $p=0,0001$). В многофакторных регрессионных моделях (линейные, логистические) связь деформации ЛП с рецидивирующей ФП не зависела от возраста, геометрии и размеров ЛЖ и ЛП, ФВЛЖ. Скорректированные согласно регрессионной многофакторной модели Кокса отношения рисков составили: HR 3,77 (95% ДИ 1,05–13,5; $p=0,042$) для далеко зашедшей МПБ; HR 7,63 (95% ДИ 1,37–42,4; $p=0,020$) для резервуарной дисфункции LASr; и HR 3,24 (95% ДИ 1,06–14,5; $p=0,044$) для контрактильной дисфункции LASct.

Заключение. Показатели электромеханической дисфункции ЛП (дзМПБ, $\downarrow$ LASr и $\downarrow$ LASct) ассоциированы с рецидивами ФП после ИЛВ. Параметры деформации ЛП в резервуарную и контрактильную фазы не зависели от клинических и популяционных факторов риска, что определяет их прогностический потенциал в оценке возвратной ФП у пациентов после катетерной абляции.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий, катетерная абляция, рецидив, межпредсердная блокада, спекл-трекинг, деформация левого предсердия, резервуарная дисфункция

Vaikhanskaya T. ✉, Gevorkyan T., Kozlov I., Tsyhanou A., Frolov A.
Republican Scientific and Practical Centre "Cardiology", Minsk, Belarus

Impact of Interatrial Block and Left Atrial Deformation on the Prognosis of Recurrent Atrial Fibrillation in Patients after Catheter Ablation

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Vaikhanskaya T. – study idea, concept and design, material collecting and processing, editing, literature review, article drafting and structuring, results and conclusions generating; Gevorkyan T. – materials collection and data analysis; Kozlov I. – hypothesis testing, data analysis, material collection; Tsyhanou A. – material collection and data analysis; Frolov A. – research tasks formulating, editing.

Ethics statement: the study was carried out in accordance with the Good Clinical Practice and the principles of the Declaration of Helsinki.

Informed consent: written informed consent was obtained from all patients for their participation in the study and anonymous publication of their results.

Submitted: 31.03.2025

Accepted: 08.08.2025

Contacts: tat_vaikh@mail.ru

Abstract

Purpose. To study the relationship between left atrial strain (LAS) and advanced interatrial block (aIAB) with atrial fibrillation (AF) recurrence after catheter pulmonary vein isolation (PVI) procedure.

Materials and methods. The study included 60 patients (mean age 56 ± 9 years, 32 (53.3%) male, LV ejection fraction $57\pm 8\%$) with interventional treatment of AF and



prospective analysis of recurrent AF during the follow-up period of 355 [300–396] days in average after PVI. ECG and echocardiography (Echo) were performed during sinus rhythm. Interatrial conduction (IAC) disturbances and aIAB were determined based on the Bayes de Luna criteria (2017). The P wave morphology-voltage-duration parameters were assessed using the 12-channel digital computer system Intecard-8.1 (BY) according to the algorithms of automatic ECG analysis. According to the degree of IAC impairment, 2 groups of patients were distinguished: 1) with normal IAC and partial IAB ($n=30$), and 2) with aIAB ($n=30$, typical and atypical aIAB variants with biphasic P wave morphology in at least 2 of the three inferior ECG leads – II, III, aVF). The Echo was performed with a standard assessment of all heart chambers; additionally peak global longitudinal LAS in the phases of reservoir (LASr), conduit (LAScd) and contraction (LASct) of the atrial cycle was analyzed. The primary endpoint was AF recurrence event in the period from 3 to 12 months of follow-up.

Results. AF recurrences were identified in 24 patients (40%) in the period from 128 to 359 days (median 213 days). LAS in the reservoir (LASr: $r=-0.79$; $p=0.0001$) and contractile (LASct: $r=0.71$; $p=0.0001$) phases, aIAB ($r=0.48$; $p=0.001$) were associated with high incidence rate of AF recurrence. The optimal cut-off values of LAS parameters according to ROC analysis were for LASr $\leq 21\%$ (AUC=0.870; 95% CI: 0.776–0.963; $p=0.000$), and for LASct $\geq -5.5\%$ (AUC=0.803; 95% CI: -0.713... -0.942; $p=0.001$). The C-statistic for aIAB was slightly lower (AUC=0.743; 95% CI: 0.613–0.873; $p=0.002$). As a result of the analysis of postprocedural AF recurrences in the assessment of Kaplan – Meier cumulative event curves, excluding the 3-month blanking period, the high predictive significance was confirmed for aIAB, LASr, and LASct (log-rank: $p=0.0001$). In multivariate regression models (linear, logistic), the correlation between LAS and recurrent AF did not depend on age, LA/LV geometry and volume and LVEF. The adjusted hazard ratios according to the multivariable Cox regression model were as follows: HR 3.77 (95% CI: 1.05–13.5, $p=0.042$) for advanced IAB; HR 7.63 (95% CI: 1.37–42.4, $p=0.020$) for reservoir function LASr; and HR 3.24 (95% CI: 1.06–14.5, $p=0.044$) for contractile function LASct.

Conclusion. Indicators of electromechanical dysfunction of the left atrium (aIAB, $\downarrow$ LASr and $\downarrow$ LASct) were associated with recurrent AF after PVI. LAS parameters in the reservoir and contractile phases did not depend on clinical and population risk factors, thus determining their prognostic potential in assessing recurrent AF in patients after catheter ablation.

Keywords: atrial fibrillation, catheter ablation, recurrence, interatrial block, speckle tracking, left atrial strain, reservoir dysfunction

■ ВВЕДЕНИЕ

Фибрилляция предсердий (ФП) является одной из наиболее распространенных наджелудочковых тахикардий и представляет значительную клиническую проблему. ФП не только ухудшает качество жизни (тягостными симптомами сердцебиения, головокружения и одышки), но связана со снижением выживаемости, так как является причиной множества сердечно-сосудистых и цереброваскулярных осложнений, включая сердечную недостаточность, инсульт и периферические тромбоэмболии [1, 2]. С учетом неуклонного роста числа пациентов с ФП выбор оптимального метода

лечения становится особенно важным. Поэтому более глубокое изучение основных механизмов патогенеза ремоделирования предсердий и ФП, методов терапии и отбора пациентов для инвазивного лечения является актуальным.

На ранних стадиях развития ФП устья легочных вен представляют собой структурный источник аритмии и являются основными триггерами ФП, поэтому основной целью катетерной абляции (КА) является изоляция легочных вен (ИЛВ). Это интервенционное вмешательство как альтернатива терапии антиаритмическим препаратами (ААП) для поддержания синусового ритма и улучшения симптомов является безопасной и успешной процедурой [3–6]. Несколько рандомизированных контролируемых исследований продемонстрировали значительное улучшение качества жизни пациентов после КА по сравнению со стандартной медикаментозной терапией, что указывает на ее эффективность как при пароксизмальной, так и при персистирующей ФП [4–7].

В текущих рекомендациях Американской кардиологической ассоциации и Европейского общества кардиологов выполнение КА с процедурой ИЛВ является рекомендуемым вариантом лечения ФП (класс I) при неэффективности ААП или отказе пациентов от ААП при пароксизмальной или персистирующей ФП, независимо от наличия основных факторов риска рецидива аритмии. Более того, КА становится стратегией первой линии при дисфункции левого желудочка (ЛЖ), когда развивается тахи-индуцированная кардиомиопатия, обусловленная тахисистолией при ФП [4, 5].

Однако ФП нередко рецидивирует (с частотой от 11% до 41%) в течение первого года после КА [7, 8], эффективность ИЛВ у пациентов различается в зависимости от формы ФП. Так, при пароксизмальной ФП эффективность КА достигает 60–70%, тогда как при персистирующей ФП успешные результаты ИЛВ ниже – до 50%. В целом около 30–40% пациентов, перенесших КА с процедурой ИЛВ, нуждаются в повторной КА [4–10]. Таким образом, у части пациентов для достижения стойкой ИЛВ требуется выполнение нескольких абляций, что несет дополнительный процедурный риск и увеличивает расходы на здравоохранение. Поэтому поиск предикторов, позволяющих прогнозировать эффективность КА, является важной задачей. Оптимальный выбор кандидатов для ИЛВ имеет важное значение для снижения рисков, связанных с повторными процедурами КА [4, 5, 8, 10].

Выявление и количественная оценка жесткости и сниженной податливости предсердий, обусловленной фиброзом предсердий, являются ключевыми позициями в риск-стратификации лиц с ФП, однако крайне сложными для магнитно-резонансной визуализации зон отсроченного контрастирования из-за анатомически тонких стенок предсердий. Эхокардиография (ЭхоКГ) с применением техники спекл-трекинга позволяет лучше определить тканевые характеристики предсердий, когда другие методы визуализации не являются точными или осуществимыми. Так, использование передовых методов спекл-трекинга повышает точность определения размеров и функций камер сердца, расширяет информативность анализа деформации миокарда; эти методы подходят для анализа тканевой деформации всех сердечных полостей, включая предсердия [11]. Несколько исследований показали, что двумерная спекл-трекинговая ЭхоКГ может быть полезна для идентификации предсердной миопатии с высоким риском рецидивирования ФП после КА. Результаты метаанализа 8 исследований с включением 686 пациентов с пароксизмальной ФП показали, что глобальная деформация ЛП (пиковая продольная деформация ЛП в фазу резервуара



≤22,8% с чувствительностью 78% и специфичностью 75%) является независимым предиктором возвратной ФП после КА [12].

В серии исследований предпроцедурной поверхностной электрокардиографии (ЭКГ) расширение Р-волны определили в качестве независимого предиктора рецидивирования ФП после ИЛВ [13, 14]. Так, у пациентов с расширенным зубцом Р >160 мс частота рецидивов ФП была в 3 раза выше по сравнению с лицами, имеющими меньшую продолжительность Р-волны <145 мс. Z. Moreno-Weidmann et al. (2021) предложили пороговое значение длительности Р ≥150 мс для выявления пациентов с высоким риском рецидива ФП после КА [14]. Однако связи бифазной морфологии Р-волны и далеко зашедшей межпредсердной блокады (дзМПБ) с постпроцедурными рецидивами ФП мало изучены.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение взаимосвязи деформации левого предсердия (LAS) и далеко зашедшей межпредсердной блокады с рецидивами фибрилляции предсердий после катетерного лечения с изоляцией легочных вен.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В проспективное одноцентровое исследование включили 60 пациентов с ФП (средний возраст составил 56±9 лет, 32 (53,3%) мужчины, индекс массы тела – 28±4 кг/м², фракция выброса ЛЖ – 57±8%), для которых была избрана инвазивная стратегия контроля ритма в виде КА с процедурой ИЛВ в период с октября 2023 г. по август 2024 г. Протокол был одобрен местным этическим комитетом, от всех пациентов было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании. Всем пациентам проведены ЭКГ и ЭхоКГ при синусовом ритме. Нарушения межпредсердной проводимости (МПП) и дзМПБ определяли на основе критериев Bayes de Luna, et al. (2017) [15]. Оценку морфологии и амплитудно-временных параметров Р-волны проводили с помощью 12-канальной цифровой компьютерной системы «Интекард-8.1» (BY) согласно алгоритмам автоматического ЭКГ-анализа. По степени нарушения МПП всех участников исследования разделили на лиц с нормальной МПП или частичной МПБ (МПБ 1-й ст., n=30) и пациентов с дзМПБ (n=30, МПБ 3-й ст. типичной и атипичной формы с бифазной морфологией Р минимум в 2 из 3 нижних отведений ЭКГ – II, III, aVF). ЭхоКГ проводили со стандартной оценкой всех камер сердца, дополнительно проводили оценку деформации ЛП (LAS, left atrial strain) за один день до КА или в день проведения КА и анализировали пиковую глобальную продольную деформацию предсердий в фазах резервуара (LASr, %), проводника (LAScd – функцию кондуита оценивали в отрицательных значениях, –%) и контрактильности при активном сокращении предсердий (LASct, –%).

При формировании когортной выборки применяли следующие критерии включения: 1) возраст старше 20 лет; 2) пароксизмальная и персистирующая формы ФП; 3) симптомное проявление ФП (EHRA score >2); 4) фракция выброса ЛЖ >45%; 5) отсутствие противопоказаний к хирургическому лечению ФП; 6) подписанное информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Критерии невключения: 1) врожденные либо приобретенные пороки сердца; 2) противопоказания к приему антикоагулянтной терапии; 3) тромбоз ушка ЛП, несмотря на проводимую антикоагулянтную терапию; 4) цереброваскулярные события с давностью менее

6 месяцев; 5) предшествующие кардиохирургические операции; 6) предшествующие КА по поводу ФП; 7) имплантированные устройства для лечения брадиаритмий; 8) хронические заболевания в стадии обострения; 9) активная фаза инфекционного процесса. Критерии исключения: 1) отказ от динамического контроля; 2) выявление сопутствующих онкологических заболеваний торакальной локализации, требующих хирургического или химиотерапевтического лечения.

Медианное время последующего наблюдения составило 355 дней [межквартильный размах [300–396]]. В соответствии с текущими рекомендациями принят период выжидания, обусловленный повышенным перипроцедурным аритмогенезом, – 90 дней с момента проведения ИЛВ [4, 5]. Первичной конечной точкой считали возвратные пароксизмы ФП или новое событие персистирующей/постоянной ФП через 3 месяца после процедуры КА. Конечная точка считалась достигнутой в случае обнаружения устойчивой ФП >30 сек. или трепетания предсердий на ЭКГ-12 или при суточном мониторингировании ЭКГ, при Apple Watch записи или при интеррогировании имплантированного кардиоустройства.

Статистический анализ

Анализ результатов исследования проводили с использованием компьютерной программы SPSS для Windows (версия 23.0) в соответствии с правилами вариационной статистики для парных и непарных величин, дискриминантного анализа, однофакторного и многофакторного регрессионного анализа, непараметрического метода определения доверительных интервалов, ROC-анализа, линейной и нелинейной корреляции. Количественные параметры представлены в виде среднего арифметического значения (M) $\pm$ среднеквадратичное отклонение среднего (sd) при правильном распределении, непараметрические (при асимметричном распределении) – в виде Me [$LQ-UQ$], где Me – медиана, LQ и UQ – нижний (0–25%) и верхний (75–100%) квартили. Категориальные переменные представлены в виде чисел и процентов.

Для статистического анализа количественных данных использовался парный коэффициент Стьюдента (t) и применялся корреляционный анализ. В случае заметных отклонений изучаемых распределений от нормального применяли U-тест Манна – Уитни. Для проверки статистических гипотез о виде распределения был применен критерий Шапиро – Уилка. Для анализа зависимости количественных признаков выборочных данных из совокупностей применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r). При сравнении двух независимых групп по одному качественному признаку были использованы методы непараметрической статистики (точный критерий Фишера, критерий χ^2 Пирсона). Результаты считали значимыми, если двустороннее значение составляло $p < 0,05$.

Взаимосвязи клинических, ЭхоКГ и ЭКГ-параметров с зарегистрированными ФП событиями во время наблюдения проверялись с помощью линейного, логистического и регрессионного анализа Кокса. Результаты инкрементального значения проверялись с помощью многофакторной регрессии. Для оценки качества регрессионной модели анализировали С-статистику – коэффициенты детерминации, отношения лог-правдоподобия (хи-квадрат логарифма). Для определения пороговых значений проводился ROC-анализ с построением характеристических экспоненциальных ROC-кривых. Для анализа частоты постпроцедурных ФП событий использовался метод Каплана – Майера с построением кумулятивных событийных кривых.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Рецидивы ФП зарегистрированы у 24 (40%) пациентов в период от 128 до 359 дней (медиана 213 дней) при общем периоде наблюдения 355 [300–396] дней. У пациентов с рецидивирующей ФП (по сравнению с лицами с устойчивым постпроцедурным синусовым ритмом) морфоструктурные показатели ЛП (диаметр ЛП, индекс объема ЛП) имели более значительные размеры ($p \leq 0,03$), тогда как функциональные параметры предсердной деформации LAS были значительно снижены во всех фазах: в резервуарную фазу медианы LASr составляли 29,8% против 15,4%; в проводниковую фазу – –16,7% против –10,8% для LAScd и в сократительную фазу – –11,7% против –3,9% для LASct ($p < 0,0001$). Результаты медианного теста при сравнении параметров деформации ЛП представлены на рис. 1А–С.

У пациентов с дзМПБ наблюдались более значимое нарушение резервуарной функции ЛП ($p = 0,027$) и сократительная дисфункция ЛП ($p = 0,014$) по сравнению с лицами, имеющими исходно нормальную МПП или частичную МПБ 1-й ст. (рис. 1D).

Систолическая функция ЛЖ значимо не различалась в группах, тогда как исходная диастолическая дисфункция была характерна для пациентов с возвратной ФП ($E/e' = 13$ [11–19,7] против 8,9 [7,1–11,5]; $p < 0,001$). Влияние расширенной полости ЛЖ на частоту возвратной ФП имело незначительную тенденцию (критерий хи-квадрат с поправкой Йейтса: $\chi^2 = 3,164$; $p = 0,076$), тогда как митральная регургитация

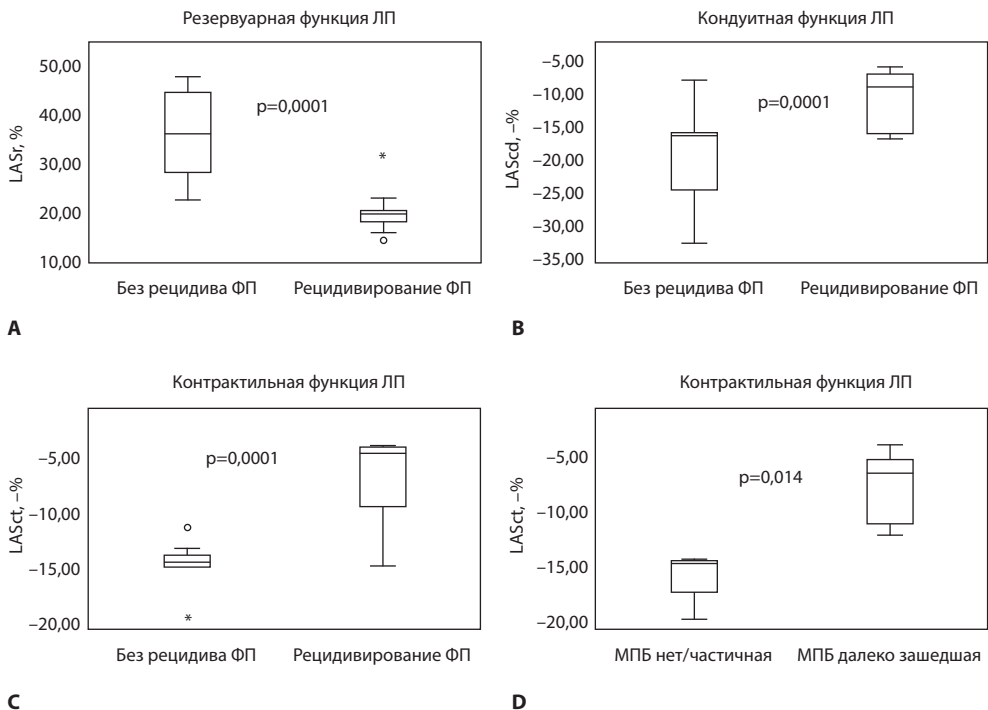


Рис. 1. Графики сравнения параметров деформации ЛП у пациентов с эффективной ИЛВ и возвратной ФП

Fig. 1. Graphs comparing the left atrial strain parameters in patients with effective PVI and recurrent AF

2–3-й ст. ($\chi^2=28,9$; $p<0,001$) и дзМПБ ($\chi^2=25,1$; $p<0,001$) показали сильную связь с рецидивами ФП по всем трем критериям (ф, Крамера, Чупрова). Для дзМПБ нормированное значение коэффициента Пирсона (C') составило 0,796.

Старший возраст ожидаемо различался в группах с возвратной ФП и с устойчивым синусовым ритмом (60 ± 6 против 52 ± 10 лет, $p<0,001$), однако обнаружен

Таблица 1
Клиническая характеристика и электромеханические параметры предсердной функции у пациентов в зависимости от эффективности катетерной ИЛВ
Table 1
Clinical characteristics and electromechanical parameters of atrial function in patients depending on the PVI effectiveness

Параметр	Все пациенты (n=60)	Без рецидива ФП (n=36)	Возвратная ФП (n=24)	Значение p
Возраст, лет (M±sd)	56±9	52±10	60±6	<0,001
Мужской пол, n (%)	32 (53,3)	20 (55,5)	12 (50)	0,875
Индекс массы тела, кг/м ² (M±sd)	28±4	29±4	26±3	0,011
Функциональный класс NYHA (Me [LQ–UQ])	2 [2–3]	2 [2–3]	2 [2–2]	0,581
Артериальная гипертензия, n (%)	48 (80)	26 (72,2)	22 (91,7)	0,130
Сахарный диабет, n (%)	6 (10)	3 (8,33)	3 (12,5)	0,931
Ишемическая болезнь сердца, n (%)	10 (16,7)	5 (13,9)	5 (20,8)	0,724
Шкала CHA ₂ DS ₂ VASc, баллы (Me [LQ–UQ])	2 [1–3]	2 [1–3]	3 [2–4]	0,004
Предшествующая терапия антиаритмиками, n (%)	49 (82)	28 (77,8)	21 (87,5)	0,540
Амиодарон, n (%)	24 (40)	14 (38,9)	10 (41,7)	0,958
Соталол, n (%)	6 (10)	4 (11,1)	2 (8,33)	0,931
Пропафенон, n (%)	1 (2)	1 (2,78)	0 (0)	0,660
Другие, n (%)	18 (30)	9 (25)	9 (37,5)	0,455
Межпредсердная блокада 3-й ст., n (%)	30 (50)	8 (22,2)	22 (83,3)	<0,001
Диаметр ЛП, мм (M±sd)	46±6	44±5	47±6	0,019
Индекс объема ЛП, мл/м ² (M±sd)	49±14	45±12	53±15	0,030
Функция резервуара ЛП – LASr, % (Me [LQ–UQ])	24 [15–30]	30 [27–36]	15 [12–22]	<0,001
Функция проводника ЛП – LAScd, –% (Me [LQ–UQ])	–14 [–10... –18]	–17 [–14... –21]	–11 [–7... –15]	<0,001
Контракtilьная функция ЛП – LASct, –% (Me [LQ–UQ])	–8 [–4... –13]	–12 [–7... –18]	–4 [–2... –8]	<0,001
Фракция выброса ЛЖ, % (M±sd)	57±8	58±8	56±8	0,552
Дисфункция ЛЖ (ФВ <50%), n (%)	6 (10)	4 (11,1)	2 (8,33)	0,931
Конечно-диастолический диаметр ЛЖ, мм (M±sd)	54±5	54±5	53±6	0,593
Расширение полости ЛЖ, n (%)	12 (20)	4 (11,1)	8 (33,3)	0,076
Деформация ЛЖ, GLS % (M±sd)	18±3	19±4	17±3	0,097
Среднее давление в легочной артерии, мм рт. ст. (Me [LQ–UQ])	33 [27–38]	29 [25–34]	34 [29–42]	0,028
Трансмитральный индекс E/A	1,5 [1,0–2,3]	1,18 [0,8–1,5]	2,2 [1,4–2,9]	0,001
Трансмитральный индекс E/e', (Me [LQ–UQ])	11 [8,4–14]	8,9 [7,1–11,5]	13 [11–19,7]	0,001
Митральная регургитация 3-й степени, n (%)	4 (7)	1 (2,78)	3 (12,5)	0,342
Митральная регургитация 2-й степени, n (%)	21 (35)	4 (11,1)	17 (70,8)	0,001

Таблица 2
Операционные характеристики ROC-кривых
Table 2
ROC curve operating characteristics

Переменная	Область под кривой	Стандартная ошибка	Асимптотическая значимость р	Доверительный интервал 95%	
				Нижний	Верхний
МПБ 3-й степени	0,743	0,066	0,002	0,613	0,873
Деформация LASr в фазу резервуара ЛП	0,870	0,048	0,000	0,776	0,963
Деформация LASct в фазу сокращения ЛП	-0,803	-0,051	0,001	-0,713	-0,905

парадоксальный факт – меньший индекс массы тела (26 ± 3 против 29 ± 4 кг/м², $p=0,011$), несмотря на такие общепризнанные популяционные факторы риска ФП, как избыточный вес и ожирение, был ассоциирован с возвратом ФП (табл. 1).

В результате корреляционного анализа Спирмена обнаружены ассоциации между рецидивами ФП и параметрами продольной деформации ЛП при отслеживании спеклов в фазах резервуара LASr ($r=0,79$; $p=0,0001$) и сокращения LASct ($r=0,71$; $p=0,0001$). Корреляции возвратной ФП с дзМПБ и кондуктивной фазой LAScd были несколько ниже (МПБ: $r=0,48$; $p=0,001$; LAScd: $r=0,62$; $p=0,001$). Проведенный ROC-анализ продемонстрировал высоко детерминирующую C-статистику ($C\text{-index} \geq 0,803$) для параметров LASr и LASct как независимых предикторов возвратной ФП с самой высокой информативностью резервуарной функции ЛП (табл. 2).

Соответствующие пороговые значения составили для LASr $\leq 21\%$ ($C\text{-index}$ 0,870), для LAScd $\geq -12,5\%$ ($C\text{-index}$ 0,787) и для LASct $\geq -5,5\%$ ($C\text{-index}$ 0,803). Так, в результате ROC-анализа дзМПБ с площадью под кривой (AUC) 0,743 (чувствительность 73%, специфичность 73%), равно как и снижение резервуарной функции ЛП: LASr $< 21\%$ (AUC 0,823; чувствительность 87%, специфичность 85%) продемонстрировали самую высокую прогностическую информативность при оценке возвратной ФП (рис. 2).

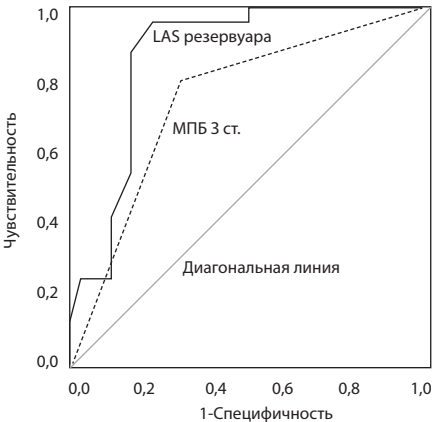


Рис. 2. ROC-кривые экспоненциального распределения электромеханических предикторов рецидива ФП
Fig. 2. ROC curves of exponential distribution of electromechanical predictors of AF recurrence

Применение выявленных пороговых значений к анализируемой когорте позволило достаточно точно дифференцировать пациентов с рецидивами ФП после КА и без возвратной ФП. Так, согласно детерминирующей классификации возвратная ФП была установлена у 76% пациентов при МПБ 3-й ст. (положительная прогностическая ценность (ППЦ) 87%, отрицательная прогностическая ценность (ОПЦ) 73%) и у 78% пациентов с $LASr < 21\%$ (ППЦ 93%, ОПЦ 75%), а также у 65% пациентов при $LAScd \geq -12,5\%$ (ППЦ 92%, ОПЦ 62%) и у 65% пациентов при $LASct \geq -5,5\%$ (ППЦ 92%, ОПЦ 65%).

Иллюстративные результаты предоперационной оценки продольной деформации ЛП при спекл-трекинге на примере двух репрезентативных пациентов (А) с устойчивым синусовым ритмом (СР) после ИЛВ и с возвратной ФП (В) представлены на рис. 3.

Нормальные предоперационные значения деформации LAS в фазах резервуара ($LASr$: 36,4%), проводника ($LAScd$: -16,9%) и сокращения ($LASct$: -19,5%), представленные на рис. 3А, наблюдались у пациента с эффективной процедурой ИЛВ, у которого сохранился устойчивый синусовый ритм в течение 387 дней после КА. Результаты исходной продольной деформации ЛП у пациента с возвратной ФП через 103 дня после КА со сниженными значениями деформации ($LASr$: 10,3%, $LAScd$: -5,8% и $LASct$: -4,5%) представлены на рис. 3В.

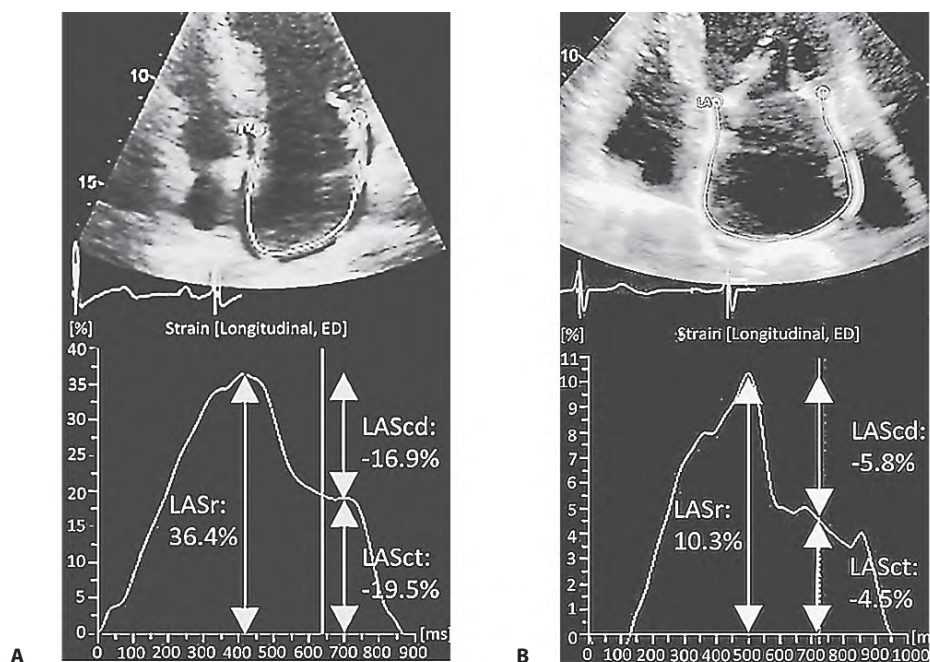


Рис. 3. Результаты оценки продольной деформации ЛП: А – у пациента с эффективной ИЛВ; В – у пациента с постпроцедурным рецидивированием ФП при исходно нарушенной деформации ЛП во всех фазах предсердного цикла
Fig. 3. Results of assessment of longitudinal LA strain: A – in patient with effective PVI; B – in patient with post-procedural recurrent AF with initially impaired LA strain in all phases of the atrial cycle

В результате анализа первичной конечной точки и построения кумулятивных событийных кривых Каплана – Майера (достижение постпроцедурного ФП события в период до 12 мес., исключая ранний 3-месячный бланкинг-период) высокая предиктивная значимость подтверждена для дзМПБ, резервуарной и сократительной предсердной дисфункции. Так, дзМПБ, механическая дисфункция ЛП в фазах резервуара ($LASr \leq 21\%$) и контрактильности ($LASct \geq -5,5\%$) были связаны с более высокой частотой рецидива ФП в периоде от 3 до 12 месяцев (логарифмический ранг: $p=0,000$). Кумулятивные событийные кривые Каплана – Майера представлены на рис. 4–6.

Для поиска предикторов посткатетерного рецидивирования ФП проведен однофакторный и многофакторный логистический регрессионный анализ. В математическую модель включили все клинические параметры и электромеханические показатели со значимостью различий $p < 0,05$. Отношения шансов для развития рецидивирующей ФП в однофакторной модели составили: OR 14,1 (95% ДИ: 3,3–65,7) для МПБ 3-й степени; OR 42,5 (95% ДИ: 7,8–175,1) для $LASr$; OR 7,2 (95% ДИ: 4,7–17,4) для $LAScd$; и OR 15,5 (95% ДИ: 3,81–63,4) для $LASct$ (табл. 3).

Все факторы риска, которые были связаны с конечной точкой при однофакторном регрессионном анализе (параметры LAS , дзМПБ, возраст, ИМТ, шкала CHA_2DS_2 -VASc, диаметр и индекс объема ЛП, митральная регургитация) были включены в многофакторный логистический анализ с пошаговым исключением переменных. Скорректированные согласно многофакторной модели отношения шансов составили: OR 5,95 (95% ДИ 1,83–43,9) для дзМПБ ($p=0,041$); OR 17,1 (95% ДИ 2,12–126,3) для $LASr$ ($p=0,011$) и OR 14,5 (95% ДИ 1,72–121,7) для $LASct$ ($p=0,014$). Логистическая модель продемонстрировала хорошую C-статистику детерминации ($C\text{-index}=0,95$; $-2LL=28,3$;

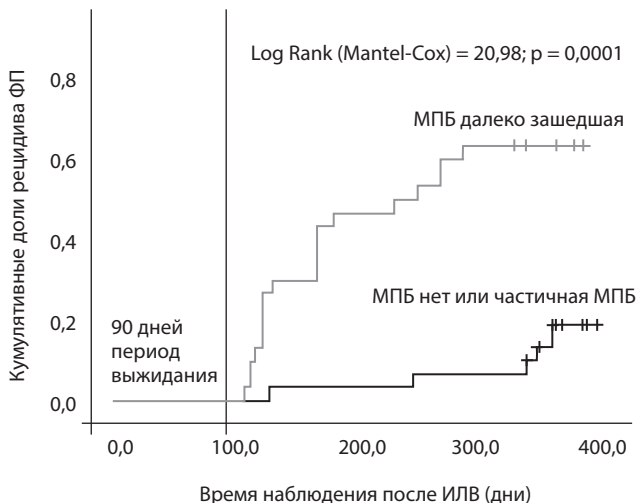


Рис. 4. Кривые Каплана – Майера инцидентности рецидивов ФП у пациентов без МПБ 3-й ст. (нормальное проведение или МПБ 1-й ст.) по сравнению с пациентами, имеющими дзМПБ (3-й ст.)
Fig. 4. Kaplan – Meier curves of the incidence recurrent AF in patients without grade 3 interatrial block (normal conduction or partial IAB) compared with patients with advanced IAB (grade 3)

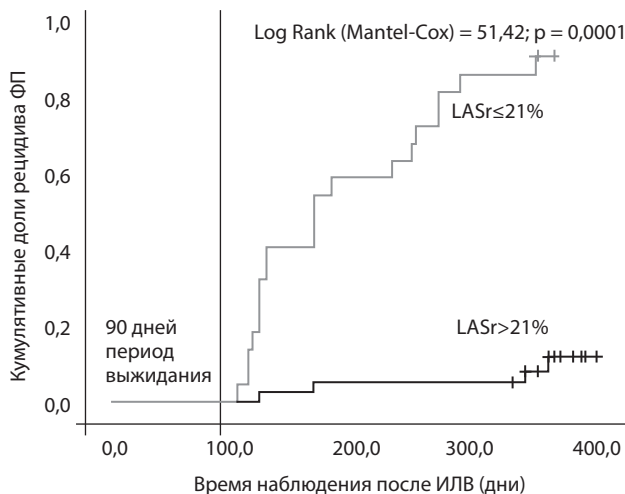


Рис. 5. Кривые Каплана – Майера инцидентальности рецидивов ФП у пациентов со сниженной резервуарной функцией левого предсердия ($LASr < 21\%$) по сравнению с нормальной функцией резервуара

Fig. 5. Kaplan – Meier curves of the incidence of AF recurrence in patients with reduced left atrial reservoir function ($LASr < 21\%$) compared with normal reservoir function

Найджелкерка $R^2=0,799$; $p<0,001$). Таким образом была подтверждена гипотеза, что исходно выявленные отклонения предсердной электрической активности и признаки механической дисфункции ЛП, сопряженные с более значительным атриальным ремоделированием, ассоциированы с повышенным риском возвратной ФП.

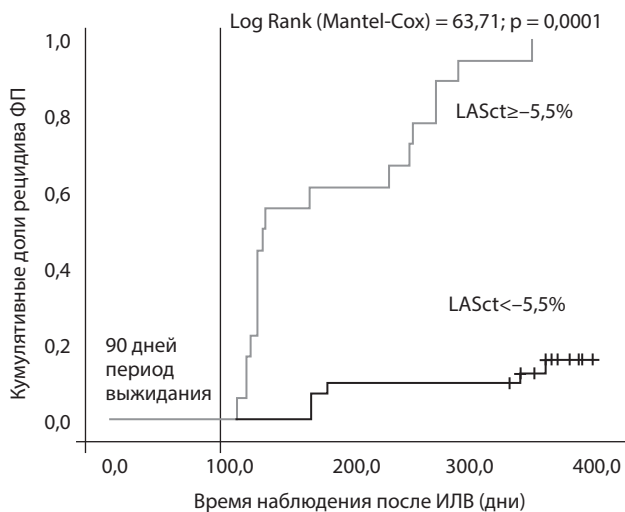


Рис. 6. Кривые Каплана – Майера инцидентальности рецидивов ФП у пациентов с сократительной дисфункцией левого предсердия ($LASct \geq -5,5\%$) по сравнению с нормальной контрактильностью

Fig. 6. Kaplan – Meier curves of the incidence of AF recurrence in patients with left atrial contractility dysfunction ($LASct \geq -5.5\%$) compared with normal contractility

Таблица 3
Результаты логистического регрессионного анализа
Table 3
Results of logistic regression analysis

Предиктор возвратной ФП	Однофакторный регрессионный анализ		Многофакторный регрессионный анализ	
	Отношение шансов (95% ДИ)	Значение p	Отношение шансов (95% ДИ)	Значение p
Далеко зашедшая МПБ (3-й ст.)	14,1 (3,26–65,7)	0,0001	5,95 (1,83–43,9)	0,041
Снижение функции резервуара ЛП (LASr ≤21%)	42,5 (7,82–175,1)	0,0001	17,1 (2,12–126,3)	0,011
Конduitная дисфункция ЛП (LAScd ≥–12,5%)	7,2 (4,70–17,4)	0,003	–	–
Сократительная дисфункция ЛП (LASct ≥–5,5%)	15,5 (3,81–63,4)	0,0001	14,5 (1,72–121,7)	0,014
Возраст, лет	1,14 (1,05–1,23)	0,001	–	–
Индекс массы тела, кг/м²	0,83 (0,71–0,97)	0,016	–	–
Шкала CHA ₂ DS ₂ -VASc	1,79 (1,19–2,69)	0,005	–	–
Диаметр ЛП, мм	1,12 (1,01–1,23)	0,026	–	–
Индекс объема ЛП, мл/м²	1,05 (1,00–1,09)	0,037	–	–
Митральная регургитация ≥2-й ст.	8,50 (2,37–30,47)	0,001	–	–

Для разработки прогностической математической модели, позволяющей оценить вероятность развития ФП в любом временном интервале (период от 3 до 12 мес.) после КА, проведен многофакторный регрессионный анализ пропорциональных рисков Кокса. Процедура многофакторной Кокс-регрессии выполнена с помощью обратного метода Вальда с пошаговым исключением факторов риска, определенных с помощью однофакторного Кокс-регрессионного анализа. Результаты многофакторной Кокс-регрессии подтвердили прогностическую значимость маркера электрической дисфункции предсердий – дзМПБ и высокую предиктивную информативность механической дисфункции ЛП – снижения пиковой деформации в фазу резервуара ЛП (LASr) и пиковой продольной деформации в фазу сокращения (LASct). Скорректированные согласно регрессионной многофакторной модели Кокса отношения рисков составили: HR 3,77 (95% ДИ 1,05–13,5; p=0,042) для дзМПБ; HR 7,63 (95% ДИ 1,37–42,4; p=0,020) для резервуарной дисфункции LASr; и HR 3,24 (95% ДИ 1,06–14,5; p=0,044) для сократительной дисфункции LASct (табл. 4).

Таблица 4
Результаты многофакторного Кокс-регрессионного анализа пропорциональных рисков
Table 4
Results of multivariate Cox proportional hazards regression analysis

Предиктор рецидива ФП	В-коэффициент	Станд. ошибка	Вальд	Значимость p	Exp (B) – HR	ДИ 95,0% для HR – Exp (B)	
						Нижний	Верхний
Контракtilьная дисфункция ЛП (LASct ≥–5,5%)	1,176	0,765	2,363	0,044	3,241	1,061	14,516
МПБ 3-й ст.	1,326	0,652	4,137	0,042	3,767	1,049	13,522
Снижение функции резервуара (LASr ≤21%)	2,032	0,876	5,386	0,020	7,629	1,371	42,438
Оценка Кокс-модели		–2 Log-правдоподобие 131,7; $\chi^2=66,97$; p=0,0001					

Так, согласно данным многофакторной Кокс-регрессионной модели, риск рецидива ФП при наличии исходной дзМПБ возрастал почти 4-кратно (HR 3,77), а дисфункция ЛП в фазу сокращения ($LA_{Sct} \geq -5,5\%$) ассоциировалось с 3-кратным повышением риска раннего рецидива ФП (HR 3,24). При снижении деформации ЛП в резервуарную фазу ($LA_{Sr} \leq 21\%$) риск рецидива возрастал в 7,6 раза (HR 7,63).

Таким образом, при наличии у пациентов сопоставимой функции ЛП по данным оценки деформации в фазах резервуара и сокращения вероятность более раннего развития возвратной ФП повышается на 79% у лиц, имеющих исходную дзМПБ в предпроцедурном периоде. В то же время при наличии дзМПБ снижение резервуарной функции $LA_{Sr} \leq 21\%$ повышает вероятность более раннего рецидива ФП на 88%, а контрактильная дисфункция ЛП ($LA_{Sct} \geq -5,5\%$) на 76% увеличивает шансы более раннего развития ФП у лиц с дзМПБ.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования последних лет и результаты метаанализов продемонстрировали превосходство КА над медикаментозным лечением ФП в отношении снижения смертности, госпитализации, инсульта, рецидива ФП, а также улучшения фракции выброса ЛЖ и задержки прогрессирования ФП [16]. ИЛВ представляет собой эффективный метод лечения ФП, однако значительная доля рецидивов ФП после КА остается все еще серьезной проблемой. При этом клинические, ЭКГ- и ЭхоКГ-параметры играют решающую роль в прогнозировании рецидивов ФП. Ранние рецидивы (1–3 мес. после КА) часто являются результатом временных перипроцедурных эффектов, тогда как поздние рецидивы ФП (3–12 мес. после ИЛВ) более характерны для структурного ремоделирования и восстановления проводимости в области изолированных устьев легочных вен. Отдаленные рецидивы (>12 мес. после ИЛВ) чаще всего связывают с другими (внелегочными) триггерами ФП. В 2024 г. эксперты HRS/EHRA предложили консенсусные рекомендации по сокращению периода выжидания с 90 дней до 8 недель после КА [5] для оценки эффективности ИЛВ, что в большей степени является отражением патофизиологических процессов, происходящих сразу после термической абляции, и позволяет раньше распознавать пациентов, нуждающихся в дополнительной терапии или повторной КА при неэффективной ИЛВ. Исходя из этого принципа, ожидается, что сокращение продолжительности бланкинг-периода приведет к реклассификации до 3,4% процедур ИЛВ как неэффективных. Однако важно и на предпроцедурном этапе оценивать соотношение рисков и преимуществ с применением индивидуального подхода к пациенту. Ранее широко изучались клинические и популяционные факторы риска, морфоструктурные параметры ЛП (геометрия, размеры) для оценки пред- и постпроцедурных особенностей, которые могут помочь клиницистам в отборе пациентов с высоким риском неблагоприятного исхода после КА. Так, в результате метаанализа, включавшего 3850 пациентов из 20 рандомизированных исследований, индексированный объем ЛП был идентифицирован как независимый предиктор рецидивов ФП после КА (OR 1,032; 95% ДИ 1,012–1,052) с порогом отсечения >34 мл/м² (чувствительность 70%; специфичность 91%) в прогнозировании возвратной ФП [17]. В нескольких исследованиях была доказана связь диастолической дисфункции ($E/e' > 13,5$) с более высоким риском рецидива ФП и продемонстрированы взаимосвязи между более высоким индексом E/e' и низковольтными областями в ЛП при электроанатомическом картировании [18, 19].



В нашем исследовании указанные неинвазивные параметры показали различную прогностическую информативность в оценке результатов абляции ФП, но, к сожалению, ни один из них при многофакторном анализе не подтвердил свою значимость.

В представленном исследовании изучены потенциальные прогностические возможности новых параметров механической функции ЛП, таких как деформация в фазу резервуара, проводника и сокращения ЛП, для прогнозирования рецидива ФП. Фазы механики ЛП, представленные резервуарной, проводящей и насосной функциями, являются отражением предсердной податливости и сократимости [20, 21], поэтому нарушение деформации ЛП может служить неинвазивным маркером remodelирования предсердий. В результате обнаружено, что нарушение деформации миокарда в фазу резервуара и сокращения ЛП приобретает существенное клиническое значение у пациентов с ФП при сопутствующей дзМПБ и предоставляет важную предпроцедурную информацию о риске рецидива ФП после ИЛВ. Пороговые значения резервуарной и сократительной деформации ЛП (соответственно $LA_{Sr} \leq 21\%$ и $LA_{Sct} \geq -5,5\%$) были связаны с более высокой частотой рецидива ФП после КА. Таким образом, пациентам с нарушенной деформацией ЛП может потребоваться более тщательный мониторинг и потенциально более агрессивное лечение после абляции для снижения риска рецидива ФП. Полученные нами результаты исследования согласуются с данными метаанализа восьми исследований (686 пациентов) с изучением предикторов рецидива ФП после процедуры ИЛВ: пороговое значение резервуарной деформации ЛП $< 22,8\%$ (AUC 0,798; $p < 0,01$) в прогнозировании рецидивов ФП показало хорошую детерминирующую функцию с чувствительностью 78% и специфичностью 75% [12]. В системном обзоре и метаанализе 10 исследований авторы сравнили значения резервуарной деформации ЛП с параметрами геометрии – диаметром и объемом ЛП и определили пороговое значение $LA_{Sr} < 21,9\%$, ассоциированное с более высоким риском рецидива ФП; параметры «размер/объем» ЛП уступали показателям резервуарной деформации ЛП в прогнозировании рецидива ФП, что подчеркивает преимущество предоперационной спекл-трекинг-оценки функции ЛП для риск-стратификации [22].

Согласно метаанализу, опубликованному в 2023 г., длительность зубца Р определена в качестве независимого предиктора рецидива ФП после КА [23]. Традиционно параметры Р-волны измеряют в отведении II ЭКГ, где зубец Р считается наиболее визуализированным. Однако отведения с максимальной длительностью зубца Р широко варьируют у пациентов, что может приводить к погрешностям при мануальных измерениях. В норме ширина Р не превышает 120 мс, в то время как длительность $P > 120$ мс указывает на частичную МПБ (или МПБ 1-й ст.), при которой пролонгируется активация ЛП через пучок Бахмана. При дзМПБ (или МПБ 3-й ст.) происходит ретроградная активация ЛП через мышечные пучки вблизи атриовентрикулярного соединения, что изменяет морфологию зубца Р в нижних отведениях (II, III, aVF), которая приобретает двухфазную форму с поздним отрицательным компонентом [15]. В нашем исследовании дзМПБ была зарегистрирована у 50% пациентов, из которых больше половины имели атипичный вариант МПБ 3-й ст., также отражающий полную блокаду пучка Бахмана с ретроградным проведением импульса к ЛП. По данным многофакторного Кокс-регрессионного анализа риск рецидива ФП возрастал в 3,8 раза при наличии исходной дзМПБ (HR 3,77; 95% ДИ 1,05–13,5; $p = 0,042$), однако экспоненциального роста рецидивирующей ФП при прогрессивном удлинении

Р-волны мы не обнаружили. Так, при наличии у пациентов сопоставимой функции ЛП по данным оценки деформации в фазах резервуара и сокращения вероятность более раннего развития возвратной ФП составляла 79% для лиц, имеющих дзМПБ в предпроцедурном периоде.

И хотя ни один из изучаемых факторов риска не показал уникальную или универсальную информативность в качестве самостоятельного и прецизионного предиктора, интегральная оценка клинических факторов, ЭКГ-параметров предсердной активации и ЭхоКГ-индексов деформации ЛП демонстрирует потенциально многообещающий инструмент для повышения точности прогнозирования и выбора стратегии лечения.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механическая функция ЛП, определенная с помощью спекл-трекинговой ЭхоКГ при синусовом ритме у пациентов с ФП, связана с разной степенью ремоделирования предсердий и различным ответом на интервенционное лечение. Далеко зашедшая МПБ ассоциирована с дисфункцией миокарда ЛП в резервуарную и насосную фазы пиковой продольной деформации. Предпроцедурная диагностика электромеханического ремоделирования предсердий с оценкой межпредсердной проводимости по данным ЭКГ, резервуарной и контрактильной функции ЛП по данным ЭхоКГ спекл-трекинга имеет важное клиническое значение и высокий прогностический потенциал в стратификации риска рецидивирования ФП после процедуры ИЛВ. Применение персонифицированной технологии в оценке электромеханической предсердной дисфункции при создании цифрового инструмента для отбора пациентов для КА поможет улучшить показатели эффективности лечения пациентов с ФП и позволит более объективно подходить к каждому пациенту, которому показан катетерный метод лечения.

Ограничения исследования:

1. Небольшая когорта пациентов, одноцентровой и нерандомизированный характер исследования не позволяют исключить влияние эффекта конфаундинга.
2. В исследование включены пациенты с проведенной ИЛВ двумя методами термической КА – радиочастотной и криоабляцией, но из-за малочисленности выборки сравнительный анализ методов не проведен.
3. Необходимы многоцентровые исследования для улучшения прогнозирования эффективности КА.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kornej J, Börschel CS, Benjamin EJ, et al. Epidemiology of Atrial Fibrillation in the 21st Century: Novel Methods and New Insights. *Circ Res.* 2020;127:4–20. doi: 10.1161/circresaha.120.316340
2. Hindrick G, Potpara T, Dagres N, et al. 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. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa612
3. Kalarus Z, Mairesse GH, Sokal A, et al. Searching for atrial fibrillation: Looking harder, looking longer, and in increasingly sophisticated ways. An EHRA position paper. *EP Eur.* 2023;25(1):185–198. doi: 10.1093/europace/euac144
4. Calkins H, Hindricks G, Cappato R, et al. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHRS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: Executive summary. *EP Eur.* 2018;20(1):157–208. doi: 10.1093/europace/eux275

5. Tzeis S, Gerstenfeld EP, Kalman J, et al. 2024 European Heart Rhythm Association / Heart Rhythm Society / Asia Pacific Heart Rhythm Society / Latin American Heart Rhythm Society expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation. *Europace*. 2024;26(4):euae043. doi: 10.1093/europace/euae043. Corrected and republished in: *Heart Rhythm*. 2024;21(9):e31–e149. doi: 10.1016/j.hrthm.2024.03.017
6. Fabritz L, Crijns HJ, Guasch E, et al. Dynamic risk assessment to improve quality of care in patients with atrial fibrillation: The 7th AFNET/EHRA Consensus Conference. *EP Eur*. 2021;23(3):329–344. doi: 10.1093/europace/euaa279
7. Blomström-Lundqvist C, Gizurarson S, Schwieler J, et al. Effect of Catheter Ablation vs Antiarrhythmic Medication on Quality of Life in Patients with Atrial Fibrillation: The CAPTAF Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(11):1059–1068. doi: 10.1001/jama.2019.0335
8. Kosich F, Schumacher K, Potpara T, et al. Clinical scores used for the prediction of negative events in patients undergoing catheter ablation for atrial fibrillation. *Clin Cardiol*. 2019;42(2):320–329. doi: 10.1002/clc.23139
9. Amuthan R, Curtis AB. What clinical trials of ablation for atrial fibrillation tell us – And what they do not. *Heart Rhythm*. 2021;2(2):174–186. doi: 10.1016/j.hroo.2021.02.001
10. Kahle AK, Jungen C, Scherschel K, et al. Relationship Between Early and Late Recurrences After Catheter Ablation for Atrial Tachycardia in Patients with a History of Atrial Fibrillation. *Circ Arrhythmia Electrophysiol*. 2022;15(6):e010727. doi: 10.1161/CIRCEP.121.010727
11. Esposito G, Piras P, Evangelista A, et al. Improving performance of 3D speckle tracking in arterial hypertension and paroxysmal atrial fibrillation by using novel strain parameters. *Sci Rep*. 2019;9(1):7382. doi: 10.1038/s41598-019-43855-7
12. 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. doi: 10.1007/s1205380612x
13. Jadidi A, Muller-Edenborn B, Chen J, et al. The duration of the amplified sinus-P-wave identifies presence of left atrial low voltage substrate and predicts outcome after pulmonary vein isolation in patients with persistent atrial fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol*. 2018;4:531–543. doi: 10.1016/j.jacep.2017.12.001
14. Moreno-Weidmann Z, Muller-Edenborn B, Jadidi AS, et al. Easily available ECG and echocardiographic parameters for prediction of left atrial remodeling and atrial fibrillation recurrence after pulmonary vein isolation: A multicenter study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2021;32:1584–1593. doi: 10.1111/jce.15013
15. Bayés de Luna A, Baranchuk A, Alberto Escobar Robledo L, et al. Diagnosis of interatrial block. *J Geriatr Cardiol*. 2017;14(3):161–165. doi: 10.11909/j.issn.1671-5411.2017.03.007
16. Kheshti F, Abdollahifard S, Hosseinpour A, Bazrafshan M, Attar A. Ablation versus medical therapy for patients with atrial fibrillation: an updated meta-analysis. *Clin Cardiol*. 2024;47:e24184. doi: 10.1002/clc.24184
17. Njoku A, Kannabhiran M, Arora R, et al. Left atrial volume predicts atrial fibrillation recurrence after radiofrequency ablation: A meta-analysis. *EP Eur*. 2018;20:33–42.
18. Hirai T, Cotseones G, Makki N, et al. Usefulness of Left Ventricular Diastolic Function to Predict Recurrence of Atrial Fibrillation in Patients with Preserved Left Ventricular Systolic Function. *Am J Cardiol*. 2014;114(1):65–69. doi: 10.1016/j.amjcard.2014.03.061
19. 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. *EP Eur*. 2018;20(5):e60–e68. doi: 10.1093/europace/eux119
20. Hauser R, Nielsen AB, Skaarup KG, et al. Left atrial strain predicts incident atrial fibrillation in the general population: The Copenhagen City Heart Study. *Eur Heart J – Cardiovasc Imaging*. 2021;23:52–60. doi: 10.1093/ehjci/jeab202
21. Montserrat S, Gabrielli L, Borràs R, et al. Percutaneous or mini-invasive surgical radiofrequency re-ablation of atrial fibrillation: Impact on atrial function and echocardiographic predictors of short and long-term success. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:928090. doi: 10.3389/fcvm.2022.928090
22. Mouselimis D, Tsarouchas AS, Pagourelas ED, et al. Left atrial strain, intervencor variability, and atrial fibrillation recurrence after catheter ablation: A systematic review and meta-analysis. *Hell J Cardiol*. 2020;61(3):154–164. doi: 10.1016/j.hjc.2020.04.008
23. Intzes S, Zagoridis K, Symeonidou M, et al. P-wave duration and atrial fibrillation recurrence after catheter ablation: A systematic review and meta-analysis. *EP Eur*. 2023;25(2):450–459. doi: 10.1093/europace/eaac210