

## РОТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПЕРСИСТИРУЮЩЕЙ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ У БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА



© И.А. Булавина<sup>1,2\*</sup>, И.А. Хамнагадаев<sup>1,3</sup>, Н.И. Тюрин<sup>1,2</sup>, Е.К. Мелкозёрова<sup>3</sup>, Л.А. Белоусов<sup>1</sup>, И.З. Бондаренко<sup>1</sup>, О.А. Шацкая<sup>1</sup>, И.Л. Ильич<sup>2</sup>, В.Ю. Калашников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии им. академика И.И. Дедова», Москва

<sup>2</sup>Городская клиническая больница им. В.М. Буянова, Москва

<sup>3</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва

**ОБОСНОВАНИЕ.** Лечение персистирующей фибрилляции предсердий (ФП) является нерешенной проблемой современного здравоохранения, связанной с высоким риском инвалидизации и смертности. В связи с низкой эффективностью фармакологической терапии, краеугольным камнем лечения больных с ФП является интервенционное лечение (катетерная абляция), направленная на хирургическое устранение влияния триггерной активности из муфт легочных вен на миокард предсердий. Частота рецидивирования ФП у больных с сахарным диабетом (СД) после хирургического лечения выше по сравнению с пациентами, не страдающими нарушениями углеводного обмена, что может объясняться наличием внелегочных триггеров ФП, таких как роторная активность в предсердиях и фиброз задней стенки левого предсердия (ЛП). В настоящее время протоколы персонализации катетерной абляции, основанные на предоперационной диагностике внелегочных триггеров ФП у больных СД, не разработаны.

**ЦЕЛЬ.** Оценить возможность предоперационной диагностики роторной активности для персонализации протокола интервенционного лечения персистирующей ФП у больных СД 2 типа (СД2).

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** В исследование включено 25 пациентов с персистирующей формой ФП. Группа 1: больные с диагностированным СД2 в возрасте 58–77 лет. Группа 2: больные без нарушений углеводного обмена в возрасте 38–76 лет. С целью решения вопроса о тактике ведения всем пациентам проведено неинвазивное электрофизиологическое картирование с построением персонализированного виртуального фантома сердца. Всем пациентам проведено интервенционное лечение.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** С учетом выявленных типов роторной активности оптимизирован протокол интервенционного лечения: радиочастотная катетерная изоляция ЛВ дополнена фокусными (33%), линейными (20%), сочетанными (фокусные+линейные; 4%) радиочастотными воздействиями. При оценке частоты встречаемости роторной активности в ЛП было выявлено, что у больных ФП, страдающих СД, внелегочная роторная активность встречалась чаще, чем у больных ФП без СД.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Неинвазивное электрофизиологическое картирование с построением виртуального фантома сердца позволяет верифицировать роторную активность в ЛП. У больных СД2, страдающих персистирующей ФП, частота встречаемости роторной активности превышает таковую у больных без нарушений углеводного обмена ( $p < 0,001$ ). Персонализация протокола катетерной абляции в ЛП с учетом роторной активности, выявленной по данным предоперационного обследования, позволяет улучшить отдаленные результаты длительного удержания синусового ритма.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиочастотная абляция; фибрилляция предсердий; роторная активность; сахарный диабет.

## ROTARY ACTIVITY AS THE MAIN ELECTROPHYSIOLOGY MECHANISM OF THE PERSISTENT FORM OF ATRIAL FIBRILLATION OF PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS

© Irina A. Bulavina<sup>1,2\*</sup>, Igor A. Khamnagadaev<sup>1,3</sup>, Nikolay I. Tyurin<sup>1,2</sup>, Ekaterina K. Melkozerova<sup>3</sup>, Leonid A. Belousov<sup>1</sup>, Irina Z. Bondarenko<sup>1</sup>, Olga A. Shatskaya<sup>1</sup>, Ilya L. Ilyich<sup>2</sup>, Viktor Y. Kalashnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Buyanov City Clinical Hospital, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

**BACKGROUND:** treatment of patients with the persistent form of atrial fibrillation (AF) is an unsolved problem of the health-care system due to a high risk of disability and mortality. Considering a low effectiveness of drug treatment for AF, intervention treatment (catheter ablation) is the main technology for eliminating trigger activity of pulmonary veins. The frequency of AF recurrence of patients with diabetes mellitus (DM) after surgery is higher than of patients without disorders of carbohydrate metabolism what could be explained with non-pulmonary vein triggers on the posterior wall of the left atrial (LA). Opportunities of preoperative diagnostic of non-pulmonary vein triggers of AF and personalization of catheter ablation reports of patients with DM has not been determined yet.



**AIM:** to estimate an opportunity of preoperative diagnostic of rotor activities for personalization of catheter ablation reports of patients with the persistent form of AF and DM.

**MATERIALS AND METHODS:** the study included 25 patients with persistent form of AF. Group 1: patients with DM aged 58–77. Group 2: patients without DM aged 38–76. To determine treatment tactics, all patients were made noninvasive electrophysiological mapping with the construction of a personalized virtual cardiac phantom. All patients were undergone interventional treatment.

**RESULTS:** taking into account the identified localizations of rotor activity, the interventional treatment protocol was optimized: radiofrequency catheter isolation of PV was supplemented with focal (32%), linear (20%), and combined (focal+linear; 4%) radiofrequency effects.

Extrapulmonary rotor activity was more common in patients with DM than in patients without diabetes.

**CONCLUSION:** non-invasive electrophysiological mapping of the heart with the construction of a virtual heart phantom allows to verify rotor activity in the LA.

In patients with diabetes type 2 and persistent AF rotor activity is more common than in patients without carbohydrate metabolism disorders ( $p < 0.001$ ). Personalization of the catheter ablation protocol in the left atrium based on rotor activity marked during pre-surgery examination helps to improve long-term results of maintaining sinus rhythm. Individual microRNAs involved in myocardial remodeling processes in young patients with type 1 diabetes mellitus.

**KEYWORDS:** radiofrequency ablation; atrial fibrillation; rotor activity, diabetes mellitus.

## ОБОСНОВАНИЕ

Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее часто встречающимся нарушением сердечного ритма. Ее распространенность неуклонно растет, что объясняется глобальным старением и коморбидностью населения [1]. Эти факторы способствуют структурным и функциональным изменениям в миокарде, предрасполагающим к развитию ФП [2]. Ожидается, что к 2060 г. количество пациентов с ФП удвоится. Это повлечет за собой значительный рост финансовой нагрузки на систему здравоохранения, связанной с повторными госпитализациями, декомпенсацией хронической сердечной недостаточности (ХСН) и инсультом [1]. У пациентов, страдающих сахарным диабетом (СД), возникновение ФП, характеризующейся тенденцией к длительной персистенции, приводит к значительному утяжелению состояния. Данное состояние вносит существенный вклад в формирование коморбидного фона и ассоциировано с повышением риска сердечно-сосудистой летальности на 25–66% [2]. В лечении данной категории пациентов применяют две стратегии: «контроль частоты» и «контроль ритма». В связи с низкой эффективностью изолированных фармакологических подходов к лечению ФП активное развитие получили хирургические технологии [3]. Так, для «контроля ритма» при ФП в настоящее время применяют интервенционные вмешательства. Краеугольным камнем данных операций является катетерная изоляция легочных вен (ЛВ) с применением различных источников энергии [3, 4]. Данное лечение основано на гипотезе о том, что триггеры ФП находятся в устьях ЛВ [5]. В случае персистирующего течения ФП, характерного для больных с СД [6], рассматривается возможность выполнения дополнительных воздействий, направленных на внелегочные триггеры ФП [7]. Персонализацию данного лечения целесообразно проводить с учетом данных неинвазивного картирования сердца [7, 8]. У больных СД частота рецидивирования после интервенционного лечения превышает таковую у больных без нарушений углеводного обмена. При этом вышеописанные подходы не валидизированы для пациентов с нарушением углеводного обмена [3]. Согласно общепринятой парадигме, интервенционное

лечение ФП у больных СД сопряжены с более высокой частотой рецидивирования [9]. В связи с вышеизложенным разработка оптимальной стратегии лечения ФП у больных СД является актуальной задачей современного здравоохранения.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить возможность предоперационной диагностики роторной активности для персонализации протокола интервенционного лечения персистирующей ФП у больных СД 2 типа (СД2).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Место и время проведения исследования

В период с 2023 по 2025 гг. оперативные вмешательства выполнялись на базе ГНЦ РФ ФГБУ «НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова» Минздрава РФ.

### Критерии соответствия

**Критерии включения:** СД2 при наличии персистирующей формы ФП в случае выбора стратегии длительного удержания синусового ритма при помощи нефармакологических подходов.

**Критерии исключения:** выбор стратегии «контроль частоты» при постоянной форме ФП; тяжелая экстракардиальная патология; тромбоз полостей сердца; врожденные и приобретенные пороки сердца; миокардиты, дилатационная, гипертрофическая и рестриктивная кардиомиопатии; ранее перенесенные операции на открытом сердце, наличие противопоказаний к введению рентгенконтрастных средств, некомпенсированная патология щитовидных и околощитовидных желез.

### Дизайн исследования

Одноцентровое пилотное исследование. Проведен анализ результатов интервенционного лечения персистирующей формы ФП у 25 пациентов в возрасте 38–77 лет. Пациенты распределены на две группы. Группа 1 (пациенты с СД2,  $n=12$ ): лица женского пола — 9 (75%) человек (чел.), лица мужского пола — 3 (25%) чел., возраст 58–77 лет, медиана возраста составила 71 год,

Таблица 1. Клиническая характеристика больных

Параметр	Значение
Пациенты с диабетической полинейропатией, n (%)	5 (42)
Пациенты с диабетической ретинопатией, n (%)	1 (8)
Пациенты с диабетической нефропатией, n (%)	4 (33)
Длительность СД (месяцы), Min–Max: Me [Q1; Q3]	1–180: 72 [24; 120]
HbA <sub>1c</sub> (%), Min–Max: Me [Q1; Q3]	5,4–11,2: 6,3 [5,6–7,7]
<b>Структура сахароснижающей терапии</b>	
Инсулин, n (%)	0 (0)
Таблетированная, n (%)	8 (67)
Комбинированная, n (%)	2 (17)
Диета, n (%)	2 (17)

**Примечание.** HbA<sub>1c</sub> — гликированный гемоглобин; Me — медиана; Min–Max — минимальное и максимальное значение; n — количество пациентов; Q1 — первый (нижний) квартиль; Q3 — третий (верхний) квартиль; СД — сахарный диабет; ФП — фибрилляция предсердий.

нижний квартиль — 64 года, верхний квартиль — 75 лет. Группа 2 (пациенты без СД, n=13): лица женского пола — 5 (38%) чел., лица мужского пола — 8 (62%) чел., возраст 38–76 лет, медиана возраста составила 62 года, нижний квартиль — 56 лет, верхний квартиль — 65 лет.

Антиаритмическая терапия назначалась после завершения вмешательства на 3 месяца, в течение которых возникновение предсердных тахикардий не расценивалось как рецидивирование заболевания — «слепой период». Рецидивом ФП считали наличие зарегистриро-

ванных соответствующих нарушений ритма сердца длительностью более 30 секунд на электрокардиограмме (ЭКГ) покоя в 12 отведениях или при 24-часовом мониторинге ЭКГ по окончании «слепого периода».

Клиническая характеристика больных с СД, страдающих ФП, представлена в таблице 1.

Для выбора оптимальной тактики лечения всем (n=25; 100%) (рис. 1) пациентам проведено предоперационное изучение электрофизиологических свойств миокарда по следующей схеме:



Рисунок 1. Дизайн исследования.

**Примечание.** Один больной исключен из исследования: по данным внутрисердечной эхокардиографии диагностирован тромбоз ушка левого предсердия. ИЛВ — изоляция легочных вен; СД — сахарный диабет; ФП — фибрилляция предсердий.

- 1) регистрация многоканальной поверхностной ЭКГ на фоне аритмии;
- 2) выполнение компьютерной томографии сердца с контрастированием (КТ) с наложенными отведениями многоканальной ЭКГ;
- 3) выполнение на комплексе «Амикард» синхронизации многоканальной ЭКГ (во время ФП) и КТ с построением воксельной и полигональной моделей предсердий, определением участков стабилизации роторной активности.

При помощи неинвазивного электрофизиологического картирования сердца определялась зона стабилизации роторной активности в предсердиях по ранее описанному методу [10].

С целью медикаментозного удержания синусового ритма применялись антиаритмические препараты классов IC (лаппаконитина гидробромид) и III (соталол). При выполнении вмешательства использовалась система электроанатомического картирования Carto 3 (Biosense Webster, США) с применением навигационного катетера SmartTouch (Biosense Webster, США). Для верификации двунаправленного блока проведения в области антральной части ЛВ применялись многополюсные катетеры с построением трехмерной реконструкции соответствующей камеры сердца. При выполнении изоляции ЛВ проводили эндотрахеальный наркоз. При выполнении оперативных вмешательств применялся единый ранее описанный протокол [11].

В нашем исследовании пациентам была выполнена изоляция ЛВ, дополненная линейными ( $n=5$ ; 21%), фокусными ( $n=8$ ; 33%) или комбинированными (линейные+фокусные) радиочастотными воздействиями ( $n=1$ ; 4%).

### Статистический анализ

Статистическая обработка выполнялась при помощи программы Statistica. Количественные признаки представлены в виде Min–Max (Me [Q1; Q3]), где Min — минимальное значение, Max — максимальное значение; Me — медиана, [Q1; Q3] — межквартильный интервал (25-й и 75-й квартили). При описании возраста пациентов показатели округлялись до целого значения. При описании других непрерывных признаков показатели округлялись до десятых долей. При описании процентных величин значение округлялось до целого значения. Расчет статистической значимости различий непрерывных признаков проводился с использованием критерия Манна-Уитни. При проверке статистических гипотез принимался 5% уровень значимости.

### Этическая экспертиза

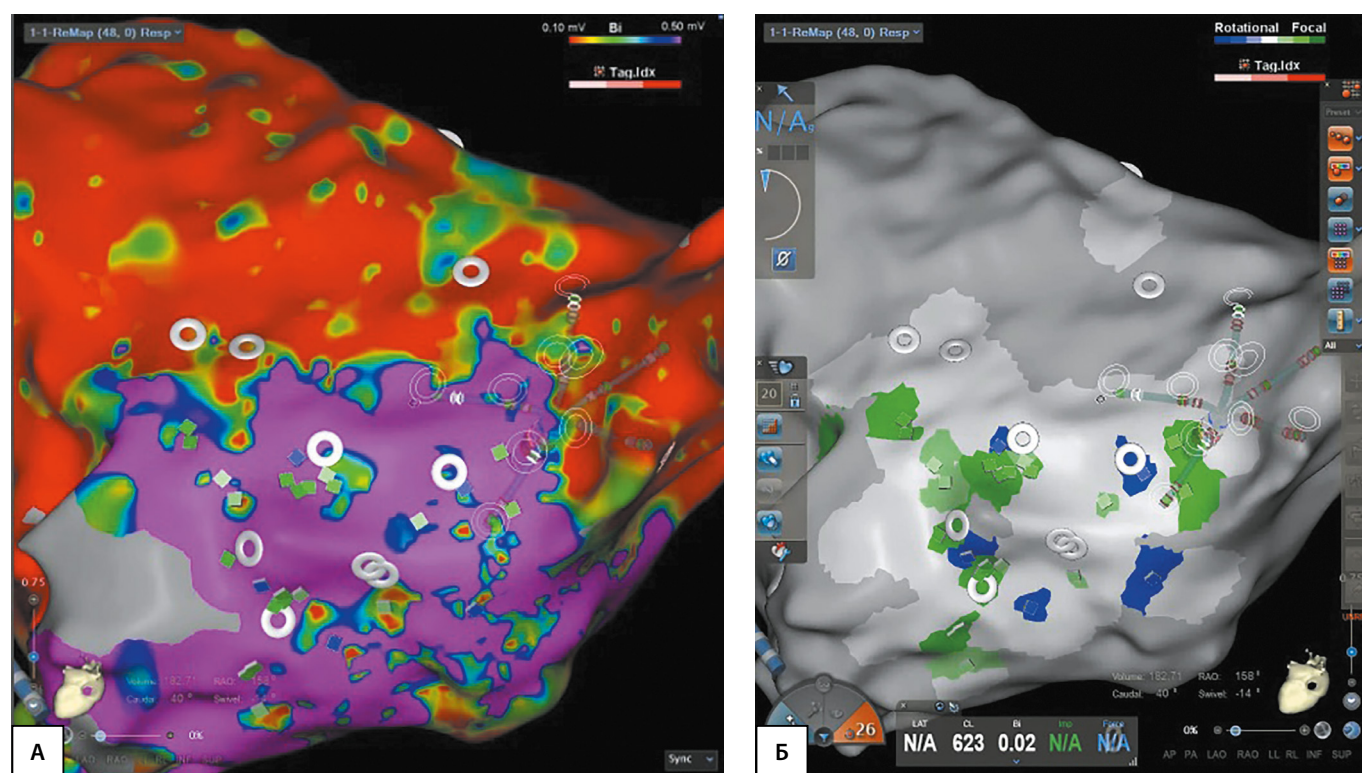
Исследование одобрено локальным этическим комитетом (Протокол №7 от 28.04.2021).

Пациенты подписали информированное согласие для участия в исследовании.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Период наблюдения составил 1–18 (12 [1; 12] мес). Длительное удержание синусового ритма за период наблюдения было отмечено у 23 (96%) больных из 24 пациентов.

У 22 из 25 чел. (88%) в левом предсердии (ЛП) выявлена роторная активность. У 3 из 25 чел. (12%) роторная активность выявлена не была. Структура роторных

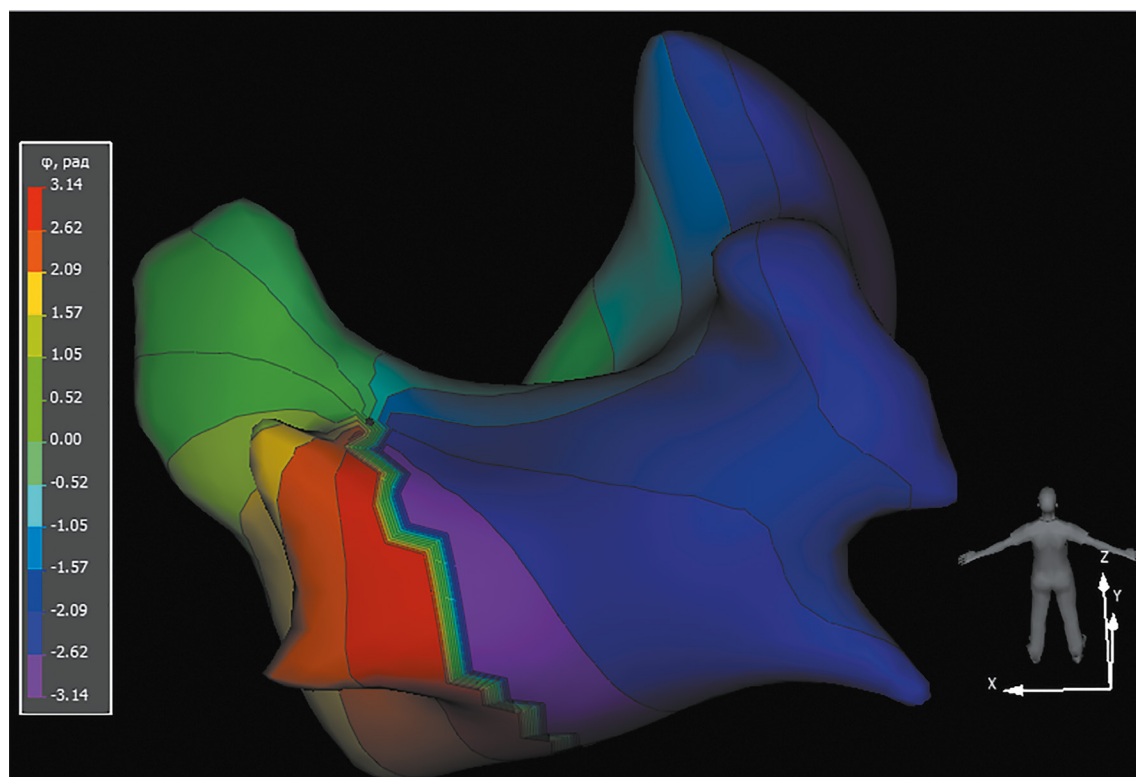


**Рисунок 2.** Интраоперационная трехмерная виртуальная реконструкция левого предсердия (вид сзади снизу).

А — Вольтажное картирование левого предсердия: красный цвет — амплитуда эндокардиального сигнала менее 0,1 мВ, фиолетовый цвет — более 0,5 мВ.

Б — Поиск роторной активности: синий цвет — роторная активность, зеленый цвет — фокусная активность.

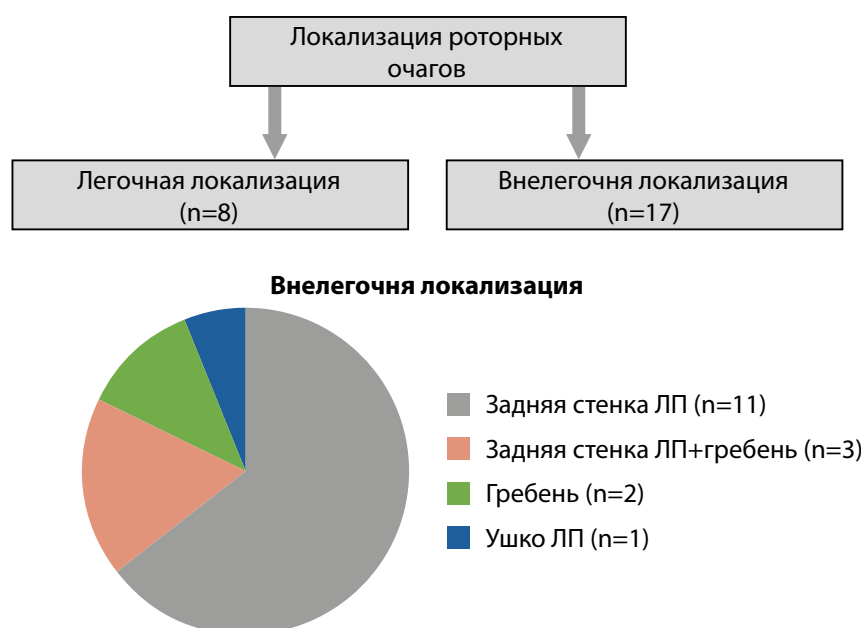




**Рисунок 3.** Неинвазивное электрофизиологическое картирование сердца пациента с персистирующей формой фибрилляции предсердий, страдающего сахарным диабетом 2 типа.

очагов и примеры их локализации представлены на рисунке 2. По локализации роторы были разделены на два типа: тип А — устья ЛВ (11 из 22; 50%) и тип Б — роторы, находящиеся за пределами устьев ЛВ (11 из 22; 50%). У больных обеих групп выявлена роторная активность в ЛП. Группа 1: тип А — 0 чел., тип Б — 10 из 12 чел. (83%). Группа 2: 11 из 13 чел. (85%) и 1 из 13 чел. (8%) соответственно. Из исследования был исключен 1 чел.

в связи с тем, что по данным внутрисердечной эхокардиографии диагностирован тромбоз ушка ЛП. Выявленная роторная активность по данным неинвазивного картирования (рис. 3, 4) была подтверждена данными инвазивного картирования сердца (рисунок 2). С учетом выявленных локализаций роторной активности оптимизирован протокол интервенционного лечения: радиочастотная катетерная изоляция ЛВ дополнена



**Рисунок 4.** Структура локализации роторных очагов в левом предсердии по данным неинвазивного картирования сердца.

**Примечание.** ЛП — левое предсердие.

фокусными (8 из 24; 33%), линейными (5 из 24; 20%), сочетанными (фокусные+линейные; 1 из 24; 4%) радиочастотными воздействиями.

При оценке эффективности проведенного лечения было выявлено, что частота рецидива ФП у больных СД2 статистически значимо не отличалась от таковой у пациентов без СД. В группе 1 частота рецидивирования ФП составила — 8% (1 из 12 чел.), в группе 2 рецидивы ФП в период наблюдения отмечены не были ( $p>0,05$ ). При оценке частоты встречаемости роторной активности в ЛП было выявлено, что у больных ФП, страдающих СД2 (группа 1), внелегочная роторная активность встречалась чаще, чем у больных ФП без СД (группа 2): 10 из 12 чел. (83%) и 1 из 13 чел. (8%) соответственно ( $p<0,001$ ).

Неблагоприятные события, включающие нарушения мозгового кровообращения или транзиторные ишемические атаки, в отдаленном периоде не зарегистрированы. Не было ни одного случая смерти, связанного с сердечно-сосудистыми событиями.

## ОБСУЖДЕНИЕ

ФП остается нерешенной проблемой современного здравоохранения, приобретая особенно важное значение у больных с СД. Механизм возникновения роторной активности в ЛП может быть функциональным или анатомическим. Длительно существующая ФП вызывает ремоделирование сердца, что создает порочный круг: устойчивые роторы порождают хаотическую электрическую активность, которая, в свою очередь, способствует их дальнейшей стабилизации [12].

На сегодняшний день первой линией терапии ФП клиническими рекомендациями регламентирована катетерная изоляция ЛВ, несмотря на то, что частота рецидивирования ФП у больных с нарушением углеводного обмена выше, чем у больных, не страдающих нарушением углеводного обмена [9, 13]. В исследовании Sabana не было выявлено различий в эффективности удержания синусового ритма как при фармакологическом, так и при интервенционном лечении. Однако обращает на себя внимание, что четверть больных, которым проводилось интервенционное лечение ФП, страдали СД [14], что косвенно объясняет низкую частоту удержания синусового ритма. Важным фактором, определяющим течение ФП, является фиброз в миокарде. Выраженность фиброза ассоциирована с тяжестью течения фибрилляции предсердий в связи с развитием как структурного, так и электрофизиологического ремоделирования миокарда, создавая условия для формирования негомогенности рефрактерности миокарда предсердий, приводя не только к развитию ФП, но и к ее поддержанию [15]. У больных СД развитию гетерогенности рефрактерности миокарда, создающей условия для формирования роторной активности, способствует гипергликемия, вызывающая оксидативный стресс и воспаление, приводящие к структурному, электромеханическому, электрическому, а также автономному ремоделированию миокарда, обуславливающим развитие ФП [16, 17]. Для больных СД наиболее характерно персистирующее течение заболевания [9]. Повышение уровня  $HbA_{1c}$  на 1%

сопровождается повышением риска ФП на 13% [9]. В нашем исследовании уровень  $HbA_{1c}$  у больных СД2 был от 5,4 до 11,2 ммоль/л; медиана  $HbA_{1c}$  составила 6,3 ммоль/л, нижний квартиль — 5,6 ммоль/л, верхний квартиль — 7,7 ммоль/л. Кроме того, более высокие уровни  $HbA_{1c}$  связаны с более высокой частотой рецидивов ФП после катетерной изоляции ЛВ, что указывает на роль метаболических изменений, связанных с СД, в развитии рецидива ФП [18].

В работах Ревишвили А.Ш. и соавт. было показано, что катетерная абляция внелегочных триггеров ФП может быть путем к повышению эффективности интервенционного лечения [19]. Закономерным развитием данного направления стала разработка технологий неинвазивного картирования роторной активности при ФП [8]. В работе Сапельникова О.В. и соавт. продемонстрирована эффективность абляции внелегочных триггеров ФП, выявленных неинвазивным картированием, в дополнение к изоляции ЛВ у пациентов с персистирующей ФП [7]. В нашем исследовании пациентам проведено неинвазивное картирование сердца. У больных, не страдающих нарушениями углеводного обмена, внелегочная роторная активность выявлялась статистически значимо реже (1 из 13; 8%) чем у больных с СД (11 из 12; 92%) ( $p<0,001$ ).

Учитывая риски инвалидизации вследствие декомпенсации ХСН, развития инсульта, больным с персистирующей формой ФП и СД2 целесообразна стратегия «контроль ритма». У больных с персистирующей формой ФП риск рецидива ФП после интервенционного лечения данного нарушения ритма сердца выше, чем при пароксизмальной форме. У больных, страдающих персистирующей формой ФП и СД, вероятность рецидива ФП после нефармакологического лечения выше, чем у лиц без нарушения углеводного обмена [12]. Повышение эффективности лечения больных с персистирующей ФП и СД2 при помощи интервенционных технологий является важной и нерешенной проблемой мультидисциплинарной команды. У больных с СД, вероятнее всего, иные механизмы поддержания ФП.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения оптимальной стратегии лечения персистирующей формы ФП у больных СД2 целесообразно проведение неинвазивного электрофизиологического картирования сердца с построением виртуального фантома сердца, позволяющего верифицировать роторную активность в ЛП. У больных СД2, страдающих персистирующей ФП, частота встречаемости внелегочной роторной активности превышает таковую у больных без нарушений углеводного обмена ( $p<0,0001$ ).

При наличии роторной активности в ЛП целесообразно выполнение дополнительных линейных или фокусных воздействий во время первой процедуры.

Персонализация протокола катетерной абляции в ЛП с учетом роторной активности, выявленной по данным предоперационного обследования, позволяет улучшить отдаленные результаты длительного удержания синусового ритма у больных СД.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источники финансирования.** Государственное задание НИР №123021000043-0, 2023–2025 гг.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

**Участие авторов.** Хамнагадаев И.А. — руководство лечением пациентов, выполнение оперативных вмешательств, написание текста статьи; Бондаренко И.З. — статистическая обработка и обсуждение результатов исследования, написание текста статьи; Булавина И.А., Шацкая О.А.,

Ильич И.Л. — написание текста статьи, поисково-аналитическая работа; Белоусов Л.А. — участие в операционном процессе, написание текста статьи; Тюрин Н.И. — статистическая обработка, написание текста статьи; Мелкозёрова Е.К. — подготовка рисунков, написание текста статьи; Калашников В.Ю. — обсуждение результатов исследования.

Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Van Gelder IC, Rienstra M, Bunting KV, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2024;45(36):3314-3414. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae176>
2. Колбин А.С., Мосикян А.А., Татарский Б.А. Социально-экономическое бремя фибрилляции предсердий в России: динамика за 7 лет (2010-2017 годы) // *Вестник аритмологии*. — 2018. — №92. — С. 42–48. [Kolbin AS, Mosikyan AA, Tatarsky BA. Socioeconomic burden of atrial fibrillations in Russia: seven-year trends (2010-2017). *Journal of Arrhythmology*. 2018;(92):42–48. (In Russ.)]
3. Голухова Е.З., Милюевская Е.Б., Филатов А.Г., и др. *Аритмология* — 2022. *Нарушения ритма сердца и проводимости*. — М.: Национальный научно-практический центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева; 2023. [Golukhova EZ, Milievskaya EB, Filatov AG, et al. *Aritmologiya* – 2022. *Narusheniya ritma serdtsa i provodimosti*. Moscow: Natsional'nyi nauchno-prakticheskii tsentr serdechno-sosudistoi khirurgii im. AN Bakuleva; 2023. (In Russ.)]
4. Зотов А.С., Хамнагадаев И.А., Сахаров Э.Р., и др. Первый опыт применения гибридного подхода при хирургическом лечении фибрилляции предсердий // *Клиническая практика*. — 2022. — Т. 13. — №4. — С. 38–50. [Zotov AS, Khamnagadaev IA, Sakharov ER, et al. The First Experience of the Hybrid Approach in Surgical Treatment of Atrial Fibrillation. *Journal of Clinical Practice*. 2022;13(4):38–50. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract116052>
5. Haïssaguerre M, Jais P, Shah DC, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med*. 1998;339(10):659-666. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJM199809033391003>
6. Ушанова Ф.О., Измайлова М.Я., Надыбина М.Н. Нарушения сердечного ритма у пациентов с сахарным диабетом 2 типа // *FOCUS Эндокринология*. — 2024. — Т. 5. — №2. — С. 12–19. [Ushanova FO, Izmaylova MY, Nadybina MN. Cardiac arrhythmias in patients with type 2 diabetes mellitus. *ш*. 2024;5(2):12–19. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.62751/2713-0177-2024-5-2-12>
7. Сапельников О.В., Черкашин Д.И., Гришин И.Р., и др. Абляция роторных очагов по данным неинвазивного картирования у пациентов с персистирующей и длительно-персистирующей фибрилляцией предсердий: средне-отдаленные результаты // *Медицинский альманах*. — 2017. — Т. 48. — №3. — С. 89–92. [Sapel'nikov OV, Cherkashin DI, Grishin IR, et al. Ablatsiya rotornykh ochagov po dannym neinvazivnogo kartirovaniya u patsientov s persistiruyushchei i dlitel'no-persistiruyushchei fibrillyatsiei predserdii: sredne-otdalennyye rezul'taty. *Meditinskii al'manakh*. 2017;48(3):89–92. (In Russ.)]
8. Патент РФ №2837527/ 27.12.2024. Хамнагадаев И.А., Белоусов Л.А., Зубарев С.В., и др. Способ определения показаний к проведению интервенционного лечения больных с непароксизмальными формами фибрилляции предсердий с учетом клинических, функциональных и электрофизиологических данных. [Patent RUS №2837527/ 27.12.2024. Khamnagadaev IA, Belousov LA, Zubarev SV, et al. Method for determining indications for interventional treatment of patients with non-paroxysmal forms of atrial fibrillation taking into account clinical, functional and electrophysiological data. (In Russ.)]
9. Gherasim L. Association of Atrial Fibrillation with Diabetes Mellitus, High Risk Comorbidities. *Maedica (Bucur)*. 2022;17(1):143-152. doi: <https://doi.org/10.26574/maedica.2022.17.1.143>
10. Хамнагадаев И.А., Зотов А.С., Шелест О.О., и др. Хирургические технологии удержания синусового ритма у больных сахарным диабетом, страдающих длительно персистирующей формой фибрилляции предсердий // *Сахарный диабет*. — 2024. — Т. 27. — №6. — С. 572–579. [Khamnagadaev IA, Zotov AS, Shelest OO, et al. Surgical approaches to maintaining sinus rhythm in patients with type 2 diabetes and long-term persistent atrial fibrillation. *Diabetes mellitus*. 2024;27(6):572–579. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM13242>
11. Зотов А.С., Хамнагадаев И.А., Сахаров Э.Р., и др. Первый опыт применения гибридного подхода при хирургическом лечении фибрилляции предсердий // *Клиническая практика*. — 2022. — Т. 13. — №4. — С. 38–50. [Zotov AS, Khamnagadaev IA, Sakharov ER, et al. The first experience of using a hybrid approach in the surgical treatment of atrial fibrillation. *J Clin Pract*. 2022;13(4):38–50. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract116052>
12. Jalife J, Berenfeld O, Mansour M. Mother rotors and fibrillatory conduction: a mechanism of atrial fibrillation. *Cardiovasc Res*. 2002;54(2):204-216. doi: [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(02\)00223-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(02)00223-7)
13. Аракелян М.Г., Бокерия Л.А., Васильева Е.Ю., и др. Фибрилляция и трепетание предсердий. Клинические рекомендации 2020 // *Российский кардиологический журнал*. — 2021. — №7. — С. 190–260 [Arakelyan MG, Bockeria LA, Vasilieva EY, et al. 2020 Clinical guidelines for Atrial fibrillation and atrial flutter. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(7):4594. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4594>
14. Packer DL, Mark DB, Robb RA, et al. Effect of Catheter Ablation vs Antiarrhythmic Drug Therapy on Mortality, Stroke, Bleeding, and Cardiac Arrest Among Patients With Atrial Fibrillation: The CABANA Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(13):1261-1274. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2019.0693>
15. Maesen B, Verheule S, Zeemering S, et al. Endomyocardial fibrosis, rather than overall connective tissue content, is the main determinant of conduction disturbances in human atrial fibrillation. *Europace*. 2022;24(6):1015-1024. doi: <https://doi.org/10.1093/europace/euac026>
16. Венгржиновская О.И., Бондаренко И.З., Шацкая О.А., и др. Возможности визуализации диффузного фиброза миокарда как маркера высокого кардиоваскулярного риска у молодых пациентов с сахарным диабетом 1-го типа // *Терапевтический архив*. — 2024. — Т. 96. — №12. — С. 1161–1167 [Vengrzhinovskaya OI, Bondarenko IZ, Shatskaia OA, et al. Imaging techniques for diffuse myocardial fibrosis as a marker of high cardiovascular risk in young patients with type 1 diabetes mellitus. *Terapevticheskii Arkhiv*. 2024;96(12):1161–1167. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.26442/00403660.2024.12.203000>
17. Gottlieb LA, Dekker LRC, Coronel R. The Blinding Period Following Ablation Therapy for Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol*. 2021;7(3):416-430. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2021.01.011>
18. Anselmino M, Matta M, D'ascenzo F, et al. Catheter ablation of atrial fibrillation in patients with diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Europace*. 2015;17(10):1518-1525. doi: <https://doi.org/10.1093/europace/euv214>
19. Дедух Е.В., Яшков М.В., Таймасова И.А., и др. Алгоритм определения степени фиброза при картировании высокой плотности // *Вестник аритмологии*. — 2022. — Т. 29. — №3. — С. 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(3):29-36. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.35336/VA-2022-3-04>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

\***Булавина Ирина Андреевна** [Irina A. Bulavina, MD]; адрес: Россия, 117036, Москва, улица Дм. Ульянова, д. 1 [address: 11 Dm. Ulyanova street, 117036 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6267-3724>; eLibrary SPIN: 1275-2773; e-mail: bulavina.irina@endocrincentr.ru

**Хамнагадаев Игорь Алексеевич**, д.м.н., доцент [Igor A. Khamnagadaev, MD, PhD, Associate Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9247-4523>; eLibrary SPIN: 6338-4990; e-mail: khamnagadaev.igor@endocrincentr.ru

**Тюрин Николай Игоревич** [Nikolay I. Tyurin, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3366-368X>; eLibrary SPIN: 7650-3845; e-mail: tyurin.nikolay@endocrincentr.ru

**Мелкозёрова Екатерина Константиновна** [Ekaterina K. Melkozerova]; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8809-221X>; e-mail: melkozerovaek@gmail.com

**Белоусов Леонид Александрович** [Leonid A. Belousov, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4169-1066>; eLibrary SPIN: 6468-2750; e-mail: belousov.leonid@endocrincentr.ru

**Бондаренко Ирина Зиятовна**, д.м.н., профессор [Irina Z. Bondarenko, MD, PhD, Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-6029>; eLibrary SPIN: 4524-4803; e-mail: bondarenko.irina@endocrincentr.ru

**Шацкая Ольга Александровна**, к.м.н., в.н.с. [Olga A. Shatskaya, MD, PhD, leading researcher]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1831-8052>; eLibrary SPIN: 3778-0968; e-mail: shackaya.olga@endocrincentr.ru

**Ильич Илья Леонидович** [Ilya L. Ilyich, MD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4917-1743>; eLibrary SPIN: 5527-4146; e-mail: ilyich@mail.ru

**Калашников Виктор Юрьевич**, д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН [Viktor Y. Kalashnikov, MD, PhD, Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5573-0754>; eLibrary SPIN: 5342-7253; e-mail: kalashnikov.victor@endocrincentr.ru

## ЦИТИРОВАТЬ:

Булавина И.А., Хамнагадаев И.А., Тюрин Н.И., Мелкозёрова Е.К., Белоусов Л.А., Бондаренко И.З., Шацкая О.А., Ильич И.Л., Калашников В.Ю. Роторная активность как основной электрофизиологический механизм персистирующей фибрилляции предсердий у больных сахарным диабетом 2 типа // *Сахарный диабет*. — 2025. — Т. 28. — №6. — С. 533–540. doi: <https://doi.org/10.14341/DM13412>

## TO CITE THIS ARTICLE:

Bulavina IA, Khamnagadaev IA, Tyurin NI, Melkozerova EK, Belousov LA, Bondarenko IZ, Shatskaya OA, Ilyich IL, Kalashnikov VY. Rotary activity as the main electrophysiology mechanism of the persistent form of atrial fibrillation of patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Mellitus*. 2025;28(6):533–540. doi: <https://doi.org/10.14341/DM13412>