

## Электропорация миокарда — альтернатива термическим методам лечения фибрилляции предсердий

Арчаков Е. А. \*, Баталов Р. Е., Хлынин М. С., Сморгон А. В., Попов С. В.

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Томск, Россия

Фибрилляция предсердий — одна из самых распространенных аритмий сердца. По всем оценкам количество больных с этой аритмией будет только увеличиваться. В настоящее время основными и часто используемыми методами лечения фибрилляции предсердий являются радиочастотная и криобаллонная аблации. Однако накопленный опыт их применения выявил ряд недостатков — отсутствие долгосрочной изоляции легочных вен, иногда возникающие осложнения процедуры, которые грозят серьезными последствиями вплоть до рисков летального исхода. Относительно недавно в зарубежной литературе появились сведения о применении альтернативного способа воздействия на аритмогенные очаги. Метод основан на применении нетермической аблации импульсным полем (АИП), которая приводит к появлению пор в кардиомиоцитах и их некрозу, что вызывает более устойчивую электрическую изоляцию легочных вен в левом предсердии. Края поражений при этом воздействии обычно очень четкие с узкой зоной перехода от нормальной ткани к ткани с полным некрозом, при этом без повреждения соседних структур, например, таких как кровеносные сосуды, нервы и пищевод. В настоящее время опубликованной в литературе информации по использованию АИП для интервенционного лечения сердечных аритмий считается перспективным направлением и является объектом исследования многих ведущих научных групп по всему миру. Цель данного обзора — структурировать наиболее значимые сведения о применении АИП, представленные в литературе, проанализировать ее возможности, эффективность и недостатки.

**Ключевые слова:** фибрилляция предсердий, радиочастотная аблация, криобаллонная аблация, аблация импульсным полем.



**Для цитирования:** Арчаков Е. А., Баталов Р. Е., Хлынин М. С., Сморгон А. В., Попов С. В. Электропорация миокарда — альтернатива термическим методам лечения фибрилляции предсердий. *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии*. 2023;19(3):277-281. DOI:10.20996/1819-6446-2023-2840. EDN ZKADWM

### Myocardial electroporation — an alternative to thermal methods of atrial fibrillation treatment

Archakov E. A. \*, Batalov R. E., Khlynin M. S., Smorgon A. V., Popov S. V.  
Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia

Atrial fibrillation is one of the most common cardiac arrhythmias. By all estimates, the number of patients with this arrhythmia will only increase. Currently, the main and most used methods for the treatment of atrial fibrillation are radiofrequency and cryo-balloon ablation. However, the accumulated experience of their use has revealed a number of shortcomings — the lack of long-term pulmonary vein isolation, as well as life-threatening procedure complications. Relatively recent foreign studies showed data on the use of an alternative method of influencing arrhythmogenic foci. The method is based on the use of non-thermal pulsed field ablation, which leads to the appearance of pores in cardiomyocytes and their necrosis, which causes a more stable electrical left atrial pulmonary vein isolation. The margins of the lesions in this exposure are usually very sharp with a narrow transition from normal tissue to tissue with the complete necrosis, while not damaging neighboring structures such as blood vessels, nerves and esophagus. At present, information published in the literature on the use of pulsed field ablation in various fields of medicine, including oncology and cardiology, is clearly not enough. The implementation of this method for the interventional treatment of cardiac arrhythmias is considered a promising direction and is the subject of research by many leading scientific groups around the world. The purpose of this review is to structure the most significant information on the use of pulsed field ablation, presented in the literature, to analyze its possibilities, effectiveness, and disadvantages.

**Keywords:** atrial fibrillation, radiofrequency ablation, cryo-balloon ablation, pulsed field ablation.

**For citation:** Archakov E. A., Batalov R. E., Khlynin M. S., Smorgon A. V., Popov S. V. Myocardial electroporation — an alternative to thermal methods of atrial fibrillation treatment. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2023;19(3):277-281. DOI:10.20996/1819-6446-2023-2840. EDN ZKADWM

\*Corresponding Author (Автор, ответственный за переписку): aea\_cardio@mail.ru

Received/Поступила: 01.12.2022

Review received/Рецензия получена: 11.12.2022

Accepted/Принята в печать: 16.06.2023

## Введение

Фибрилляция и трепетание предсердий (ФП и ТП) являются наиболее распространенными аритмиями и продолжают оказывать прогрессивное и существенное влияние на общественное здравоохранение на глобальном уровне. По некоторым оценкам в 2019 г. было зарегистрировано 59,7 млн (95% ДИ 45,7-75,3 млн) распространенных случаев ФП/ТП, что примерно вдвое больше, чем в 1990 г. [1]. В большинстве регионов мира показатели распространенности увеличиваются, что позволяет предположить, что необходимы дополнительные усилия для улучшения профилактики и медицинской помощи при ФП/ТП на глобальном уровне.

По разным данным эффективность термических методов (радиочастотной абляции (РЧА) и криоабляции) лечения ФП составляет примерно от 55% до 92% [2]. Кроме этого, продолжают появляться публикации о развитии осложнений, связанных с данными вмешательствами. Рецидив аритмии после термических абляций вынуждает проводить повторные операции, что приводит к снижению приверженности пациентов к лечению и выполнению рекомендаций.

Как РЧА, так и криобаллонная абляция, имеют свои преимущества и недостатки. Считается, что преимуществом является малоинвазивность и относительная безопасность. К недостаткам можно отнести иногда возникающие осложнения процедуры, которые грозят серьезными последствиями вплоть до летального исхода. Одна из проблем, с которыми сталкиваются оперирующие хирурги – сопутствующее повреждение интимно прилегающих к левому предсердию структур, таких как диафрагмальный, блуждающий нервы, пищевод, бронхи. Нередко такие повреждения остаются своевременно не диагностированными и могут вызывать формирование предсердно-пищеводных, предсердно-бронхиальных фистул, парез диафрагмы с последующим прогрессированием дыхательной недостаточности, гастропарез с выраженными диспепсическими проявлениями. Доказано, что первые два осложнения практически в 90% случаев заканчиваются летально [3].

Другой проблемой РЧА и криобаллонной абляции является отсутствие долгосрочной изоляции легочных вен (ЛВ). Известно, что достижение непрерывного кольца предсердного некроза вокруг ЛВ без разрывов проводимости, может быть затруднено. Несмотря на достижение острой электрической изоляции почти всегда, ее механизм представляет собой комбинацию некроза миокарда и значительной степени отека тканей, что зачастую приводит к обратимому повреждению тканей и, в конечном счете, к рецидиву ФП.

В связи с этим в интервенционном подходе к лечению ФП назрели перемены. Учитывая отсутствие значимого прогресса в понимании механизмов ФП, основной точкой приложения в оперативном лечении

этой аритмии остается воздействие на аритмогенные очаги в левом предсердии – устья ЛВ. Относительно недавно в зарубежной литературе появились сведения о применении альтернативного способа изоляции ЛВ. Метод основан на применении абляции импульсным полем (АИП), которая приводит к появлению пор в кардиомиоцитах и их апоптозу, что вызывает устойчивую электрическую изоляцию ЛВ [4-7].

Воздействие на биологические мембраны электрическим полем достаточно высокой напряженности приводит к быстрому и существенному увеличению их электропроводности и проницаемости. Этот эффект – электропорация мембраны – может быть как обратимым, так и необратимым. Электропорация инициирует проникновение молекул воды в липидный бислой мембраны, вызывая переориентацию соседних липидов с их полярными головными группами к этим молекулам воды. Поры, образующиеся в клеточной плазматической мембране, обеспечивают путь для транспорта широкого спектра молекул, включая ДНК, в клетку и из нее. Таким образом, клетки постепенно распадаются и высвобождают свое содержимое без термического воздействия. Границы ареала повреждения при АИП зависят от типа клетки, ее свойств, среды, в которой находятся клетки – ее электрической проводимости, осмолярности и содержащихся в ней растворенных веществ [8].

## Применение АИП в медицине

Первые публикации по использованию электропорации электрическим полем появились более 20 лет назад. Тогда исследователи впервые описали влияние высоковольтных коротких электрических импульсов на увеличение проницаемости плазматической мембраны биологических клеток [9, 10].

Последнее время появилось немало публикаций в зарубежной литературе, которые описывают использование АИП в различных доклинических и клинических испытаниях [11-13].

Первые работы в этой области связаны с использованием этой методики при злокачественных новообразованиях различных локализаций. G. Onik и соавт. [14] изучили применение нетермической АИП на ткани предстательной железы в экспериментах *in vivo*. Шесть самцов собак получили лечение простаты с помощью зондов для АИП, которые вводили чрескожно или трансректально. Поражения при АИП в простате имели уникальные характеристики по сравнению с термическими поражениями. Край поражения при АИП были очень четкими с узкой зоной перехода от нормальной ткани к ткани с полным некрозом, наблюдалась полная деструкция внутри очага АИП. При этом такие структуры, как уретра, сосуды, нервы и прямая кишка не пострадали [14].

L. Tianchi и соавт. [15] проанализировали литературу по применению АИП при лечении рака печени.

В данный обзор включали клинические, экспериментальные, обсервационные исследования и обзоры. Авторы заключили, что АИП успешно зарекомендовал себя как ценный метод при лечении рака печени как в доклинических, так и в клинических испытаниях [15].

Учитывая первые положительные эффекты от применения АИП в онкологии, методика параллельно набирала популярность и в области кардиологии, где давно шли поиски энергии, которую можно безопасно использовать для деструкции определенных аритмогенных очагов в сердце.

## Применение АИП в кардиологии

Пионерами в этом стали J. Lavee и соавт., которые провели АИП на эпикарде правого и левого предсердий работающего сердца пяти свиньям, используя последовательность из 8, 16 или 32 импульсов постоянного тока от 1500 до 2000 В, по 100 мкс, с частотой 5 в сек, между двумя параллельными электродами длиной 4 см [16]. Авторы первыми предложили новый способ выполнения абляции предсердий, который потенциально может обеспечить очень быстрое, точное повреждение с полной трансмуральностью без локального нагревательного эффекта.

Недавние работы по изучению возможностей нетермической абляции были проведены в опытах *in vitro*. Так, A. Sugrue и соавт. [17] провели гистологический анализ после проведения АИП на кардиомиоцитах. Вторичным результатом было понимание безопасности и повреждение соседних с кардиомиоцитами структур. Авторы утверждают, что их доклинические исследования АИП показали эффективное и безопасное повреждение целевых клеток [17].

D. W. Hunter и соавт. оценивали селективное повреждение миокарда при использовании электропорации [18]. Для этого использовали крысиные желудочковые кардиомиоциты, нейроны коры головного мозга крысы и клетки гладкой мускулатуры пищевода. При выполнении экспериментов *in vitro* исследователи проверяли не только гибель клеток после воздействия АИП, но и электрическую проводимость методом оптического картирования. По их данным, блок проведения возникал, когда погибало от 50% до 80% клеток вблизи электрода, при этом требовалось  $400 \pm 50$  В/ч/см. Кроме того, выявлено, что культуры желудочковых кардиомиоцитов новорожденных крыс давали самую высокую степень гибели клеток при одинаковом электрическом поле. Результат предполагает, что электропорация может быть более селективным методом при изоляции ЛВ, чем термические способы [18].

Кроме того, были проведены и другие исследования на лабораторных животных. Так, Y. Xuying и соавт. выполнили АИП бифазными импульсами на сердцах мини-свиньям Vata [19]. Авторы показали,

что эти воздействия эффективно блокировали проведение электрической активности от ЛВ к предсердию со снижением сокращения миокарда, и не приводили к стенозу ЛВ [19].

В другой работе, проведенной на лабораторных свиньях, сравнивалась биполярная АИП (с монофазной (АИП Mono) и двухфазной (АИП Vi) волной) у 7 свиней с орошаемой РЧА у 3 свиней [20]. Авторы оценивали потенциалы из вен в острый период (непосредственно сразу после абляции) и через примерно 10 недель после воздействия. В последующем изучена гистология миокарда. Все целевые вены (n=46) были успешно изолированы с первой попытки у всех животных. Долгосрочная изоляция ЛВ была значительно выше в группе АИП Vi (18/18 АИП Vi, 10/18 АИП Mono, 3/6 РЧА, p=0,002). При морфологическом анализе показатели трансмуральности были одинаковыми во всех группах, признаки повреждения нерва обнаружены у свиней после РЧА. Сужение ЛВ было отмечено только в когорте животных после РЧА [20].

В исследовании M. T. Stewart и соавт. внутрисердечные абляции были выполнены у 6 свиней с использованием разных источников энергии либо АИП, либо РЧА [21]. У всех животных регистрировалась электрограмма, измерялась амплитуда сигналов с эндокарда. Через 2 недели после вмешательства проводилась аутопсия и гистологический анализ миокарда. По результатам выявлено снижение амплитуды электрограмм до 0,05 мВ у 67,5% животных после АИП и 27,0% после РЧА (p<0,001). Блокада проведения импульса после воздействия отмечалась у 100% при АИП против 92,0% при РЧА (p=0,005). Через 2 недели АИП привела к трансмуральному и гомогенному появлению фиброза. Воздействие радиочастотной энергией показало более выраженную воспалительную реакцию, распространяющуюся на эпикардальный жир, повреждение и тромбоз мелких артерий. Авторы утверждают, что внутрисердечная АИП может быть использована для создания фиброзных поражений, имеет положительный острый и хронический электрические эффекты, без повреждения нецелевой ткани [21].

После успешных апробаций в лабораториях и положительных отзывах методика постепенно внедрилась в клинику. Это стало возможным после регистрации и сертификации одной из компаний по производству медицинской техники специализированного генератора и нескольких электродов для проведения АИП [21]. С этого времени появилась возможность применения АИП у человека.

## Первые клинические сведения о применении АИП в кардиологии

Основные работы в этом направлении инициировали V. Y. Reddy и соавт. в 2018 г. [21]. В одном из

первых исследований авторы сравнили эффективность и безопасность применения АИП при эндокардиальном (изоляция ЛВ) и эпикардальном подходе (создание «box lesions»). Во всех случаях до и после процедуры проводилось эндокардиальное вольтажное картирование. В исследование включено 22 пациента, которым под общей анестезией проведена эндокардиальная (15 больных) и эпикардальная АИП (7 больных). Катетерная изоляция ЛВ была успешной у всех 15 пациентов (100%). Общее время процедуры составило  $67 \pm 10,5$  мин, время катетера внутри пациента  $19 \pm 2,5$  мин, время рентгеноскопии  $12 \pm 4,0$  мин. Хирургическое «box lesions» левого предсердия было успешным у 6 (86%) пациентов из 7. При этом время нахождения катетера внутри больного составило  $50,7 \pm 19,5$  мин. Осложнений процедуры не было. В своих выводах авторы отметили, что полученные данные открывают новую эру тканеспецифической сверхбыстрой абляции ФП [21, 22].

После этого последовательно проведено еще несколько клинических исследований: IMPULSE (A Safety and Feasibility Study of the IOWA Approach Endocardial Ablation System to Treat Atrial Fibrillation), PEFCAT (A Safety and Feasibility Study of the FARAPULSE Endocardial Ablation System to Treat Paroxysmal Atrial Fibrillation) и PEFCAT II (Expanded Safety and Feasibility Study of the FARAPULSE Endocardial Multi Ablation System to Treat Paroxysmal Atrial Fibrillation) с включением 121 пациента с пароксизмальной формой ФП [23]. Всем больным выполнялась изоляция ЛВ с использованием катетеров для АИП в виде корзинки или в виде цветка и системы Farastar или Farapulse (MenloPark, California, США). Инвазивное картирование выполняли через 2-3 мес. При восстановлении проведения в ЛВ они были повторно изолированы с помощью АИП или РЧА. Рецидив оценивался в течение 1 года наблюдения после 90-дневного «слепого» периода. По результатам этих работ выявлено, что у 121 пациента острая изоляция ЛВ была достигнута в 100% случаев с помощью только АИП. Повторное инвазивное картирование выполнено в 110 случаях через  $93,0 \pm 30,1$  дней с документированной стойкой изоляцией 84,8% ЛВ (64,5% больных), и 96,0% ЛВ (84,1% больных) у пациентов, получавших оптимизированную АИП с двухфазной формой волны. Первичные нежелательные явления произошли в 2,5% случаев (2 перикардиальных выпота или тампонада, 1 гематома, 1 транзиторная ишемическая атака). Авторы провели оценку кривой Каплана-Мейера и отметили отсутствие какой-либо предсердной аритмии для всей когорты больных в  $78,5 \pm 3,8\%$  случаев, отсутствие только ФП — в  $81,1 \pm 3,8\%$ . Выводы, проведенных исследований гласят, что изоляция ЛВ со стратегией «single-shot» катетером для АИП обеспечивает хороший стабильный и долгосрочный эффект и приемлемую безопас-

ность при низкой частоте рецидивов предсердных аритмий в течение 1 года [23].

В 2022 г. вышла статья, которая подытожила весь имеющийся на данный момент багаж знаний о клиническом применении АИП с вовлечением нескольких центров, использующих данную процедуру при ФП, и большого количества пациентов. Речь идет о ретроспективном исследовании MANIFEST-PF, включающее 1758 больных [24]. Все 24 клинических центра использовали пентасплинный катетер для АИП. В среднем на центр приходилось 73 пациента (от 7 до 291), полная когорта включала 1758 пациентов: средний возраст 61,6 года (диапазон 19-92), женщины 34%, проводимая операция была первой по поводу ФП для 94% больных, соотношение пароксизмальная/персистирующая ФП в выборке составило 58/35%. При большинстве процедур использовали глубокую седацию без интубации (82,1%). Изоляция ЛВ прошла успешно во всех случаях. Среднее время процедуры — 65 мин (38-215). Осложнений со стороны пищевода и диафрагмального нерва не было. Значительные осложнения встретились в 1,6% случаях. Основными были тампонада перикарда (0,97%) и инсульт (0,4%), один инсульт закончился летальным исходом (0,06%). Незначительные осложнения (3,9%) были преимущественно сосудистыми (3,3%), но также включали транзиторный парез диафрагмального нерва (0,46%) и транзиторная ишемическая атака (0,11%). Редкие осложнения включали спазм коронарных артерий, кровохарканье и сухой кашель, сохраняющийся в течение 6 недель (по 0,06%).

В результате этого исследования на большой когорте пациентов АИП продемонстрировала высокую эффективность при изоляции ЛВ и предпочтительный профиль безопасности. Однако частота «общих» катетерных осложнений (тампонада, инсульт) подчеркивает потребность в дальнейшем усовершенствовании и улучшении процедуры [24].

## Заключение

Все проведенные исследования по АИП указывают на более высокую эффективность в изоляции ЛВ по сравнению с термическими методами воздействия, высокую селективность повреждения целевого миокарда. Несмотря на все эти преимущества, методика на настоящий момент далека от «идеальной» в связи с иногда возникающими осложнениями, что требует дальнейшего изучения и усовершенствования протокола вмешательства.

**Отношения и Деятельность.** Нет.  
**Relationships and Activities.** None.

## References/Литература

1. Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, et al; GBD-NHLBI-JACC Global Burden of Cardiovascular Diseases Writing Group. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019: Update From the GBD 2019 Study. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(25):2982-3021. DOI:10.1016/j.jacc.2020.11.010.
2. 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. The results of a three-year follow-up. *Kardiologiya*. 2022;62(8):19-26 (In Russ.) [Эшматов О.Р., Баталов Р.Е., Арчаков Е.А. 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]. DOI:10.18087/cardio.2022.8.n2046.
3. Chavez P, Messerli FH, Casso Dominguez A, et al. Atrioesophageal fistula following ablation procedures for atrial fibrillation: systematic review of case reports. *Open Heart*. 2015;2(1):e000257. DOI:10.1136/openhrt-2015-000257.
4. Krassowska W. Effects of electroporation on transmembrane potential induced by defibrillation shocks. *Pacing Clin Electrophysiol*. 1995;18(9 Pt 1):1644-1660. DOI:10.1111/j.1540-8159.1995.tb06986.x.
5. du Pré BC, van Driel VJ, van Wessel H, et al. Minimal coronary artery damage by myocardial electroporation ablation. *Europace*. 2013;15(1):144-149. DOI:10.1093/europace/eus171.
6. Zager Y, Kain D, Landa N, et al. Optimization of Irreversible Electroporation Protocols for In-vivo Myocardial Decellularization. *PLoS One*. 2016;11(11):e0165475. DOI:10.1371/journal.pone.0165475.
7. Sugrue A, Vaidya VR, Livia C, et al. Feasibility of selective cardiac ventricular electroporation. *PLoS One*. 2020;15(2):e0229214. DOI:10.1371/journal.pone.0229214.
8. Kotnik T, Frey W, Sack M, et al. Electroporation-based applications in biotechnology. *Trends Biotechnol*. 2015;33(8):480-488. DOI:10.1016/j.tibtech.2015.06.002.
9. Tekle E, Astumian RD, Chock PB. Electroporation by using bipolar oscillating electric field: an improved method for DNA transfection of NIH 3T3 cells. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1991;88(10):4230-4234. DOI:10.1073/pnas.88.10.4230.
10. Chang DC. Cell poration and cell fusion using an oscillating electric field. *Biophys J*. 1989;56(4):641-652. DOI:10.1016/S0006-3495(89)82711-0.
11. Neven K, van Driel V, van Wessel H, et al. Epicardial linear electroporation ablation and lesion size. *Heart Rhythm*. 2014;11(8):1465-1470. DOI:10.1016/j.hrthm.2014.04.031.
12. Neven K, van Driel V, van Wessel H, et al. Safety and feasibility of closed chest epicardial catheter ablation using electroporation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2014;7(5):913-919. DOI:10.1161/CIRCEP.114.001607.
13. Padmanabhan D, Naksuk N, Killu AK, et al. Electroporation of epicardial autonomic ganglia: Safety and efficacy in medium-term canine models. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2019;30(4):607-615. DOI:10.1111/jce.13860.
14. Onik G, Mikus P, Rubinsky B. Irreversible electroporation: implications for prostate ablation. *Technol Cancer Res Treat*. 2007;6(4):295-300. DOI:10.1177/153303460700600405.
15. Lyu T, Wang X, Su Z, et al. Irreversible electroporation in primary and metastatic hepatic malignancies: A review. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(17):e6386. DOI:10.1097/MD.00000000000006386.
16. Lavee J, Onik G, Mikus P, et al. A novel nonthermal energy source for surgical epicardial atrial ablation: irreversible electroporation. *Heart Surg Forum*. 2007;10(2):E162-E167. DOI:10.1532/HSF98.20061202.
17. Sugrue A, Vaidya V, Witt C, et al. Irreversible electroporation for catheter-based cardiac ablation: a systematic review of the preclinical experience. *J Interv Card Electrophysiol*. 2019;55(3):251-265. DOI:10.1007/s10840-019-00574-3.
18. Hunter DW, Kostecki G, Fish JM, et al. In Vitro Cell Selectivity of Reversible and Irreversible: Electroporation in Cardiac Tissue. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2021;14(4):e008817. DOI:10.1161/CIRCEP.120.008817.
19. Ye X, Liu S, Yin H, et al. Study on Optimal Parameter and Target for Pulsed-Field Ablation of Atrial Fibrillation. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:690092. DOI:10.3389/fcvm.2021.690092.
20. Koruth J, Kuroki K, Iwasawa J, et al. Preclinical Evaluation of Pulsed Field Ablation: Electrophysiological and Histological Assessment of Thoracic Vein Isolation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2019;12(12):e007781. DOI:10.1161/CIRCEP.119.007781.
21. Reddy VY, Koruth J, Jais P, et al. Ablation of Atrial Fibrillation With Pulsed Electric Fields: An Ultra-Rapid, Tissue-Selective Modality for Cardiac Ablation. *JACC Clin Electrophysiol*. 2018;4(8):987-995. DOI:10.1016/j.jacep.2018.04.005.
22. Stewart MT, Haines DE, Verma A, et al. Intracardiac pulsed field ablation: Proof of feasibility in a chronic porcine model. *Heart Rhythm*. 2019;16(5):754-764. DOI:10.1016/j.hrthm.2018.10.030.
23. Reddy VY, Dukkupati SR, Neuzil P, et al. Pulsed Field Ablation of Paroxysmal Atrial Fibrillation: 1-Year Outcomes of IMPULSE, PEFCAT, and PEFCAT II. *JACC Clin Electrophysiol*. 2021;7(5):614-627. DOI:10.1016/j.jacep.2021.02.014.
24. Ekanem E, Reddy VY, Schmidt B, et al. Multi-national survey on the methods, efficacy, and safety on the post-approval clinical use of pulsed field ablation (MANIFEST-PF). *Europace*. 2022;24(8):1256-1266. DOI:10.1093/europace/ euac050.

### Сведения об Авторах/About the Authors

**Арчаков Евгений Александрович** [Evgenii A. Archakov]  
eLibrary SPIN 9724-3013, ORCID 0000-0002-2530-361X

**Баталов Роман Ефимович** [Roman E. Batalov]  
eLibrary SPIN 1371-4429, ORCID 0000-0003-1415-3932

**Хлынин Михаил Сергеевич** [Mikhail S. Khlynin]  
eLibrary SPIN 6737-5785, ORCID 0000-0002-9885-5204

**Сморгон Андрей Владимирович** [Andrey V. Smorgon]  
eLibrary SPIN 8735-3871, ORCID 0000-0002-6531-7223

**Попов Сергей Валентинович** [Sergey V. Popov]  
eLibrary SPIN 6853-7180, ORCID 0000-0002-9050-4493