

## ПОДХОДЫ К НЕМЕДИКАМЕНТОЗНОМУ ЛЕЧЕНИЮ ПЕРСИСТИРУЮЩЕЙ ФОРМЫ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ: КАКОВЫ ПЕРСПЕКТИВЫ?

А.С. Омеляненко<sup>1</sup>, Т.М. Ускач<sup>2</sup>, Д.Ф. Ардус<sup>2</sup>, Д.И. Черкашин<sup>2</sup>, И.Р. Гришин<sup>2</sup>,  
К.Б. Тимижева<sup>2</sup>, О.В. Сапельников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Медико-санитарная часть Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

Для корреспонденции: Ардус Дарин Фаресовна, эл. почта: darina.ardus@gmail.com

### Аннотация

Рассмотрены основные подходы к немедикаментозной терапии персистирующей формы фибрилляции предсердий. Оценивается место различных стратегий лечения: хирургической, торакоскопической, малоинвазивной катетерной абляции и криоабляции анатомических субстратов. Катетерная изоляция легочных вен является эффективным методом лечения пациентов с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий, однако успех данной методики в лечении персистирующей формы остается неоднозначным, несмотря на широкий диапазон используемых катетерных техник. Задняя стенка левого предсердия вносит значительный вклад в поддержание субстрата данного вида аритмии, что подтверждает высокая эффективность ее хирургической изоляции даже у пациентов с длительно персистирующей формой фибрилляции предсердий. На сегодняшний день появляется все больше доказательств в пользу изоляции легочных вен в сочетании с изоляцией задней стенки левого предсердия с применением криобаллона. Приводятся данные клинических исследований, сравнивающих безопасность и эффективность данного подхода в сравнении с другими инвазивными методами в отдаленном периоде. Отмечена техническая воспроизводимость методики, высокий непосредственный и отдаленный успех процедуры в отношении сохранения синусного ритма.

**Ключевые слова:** фибрилляция предсердий • криоабляция • задняя стенка левого предсердия.

## APPROACHES TO NON-PHARMACOLOGICAL TREATMENT OF PERSISTENT ATRIAL FIBRILLATION: WHAT ARE THE FUTURE PROSPECTS?

A.S. Omelyanenko<sup>1</sup>, T.M. Uskach<sup>2</sup>, D.F. Ardus<sup>2</sup>, D.I. Cherkashin<sup>2</sup>, I.R. Grishin<sup>2</sup>, K.B. Timizheva<sup>2</sup>, O.V. Sapelnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medical and sanitary unit of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education 'Kazan (Volga Region) Federal University', Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution 'E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology', Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation.

For correspondence: Ardus Darin Faresovna, e-mail: darina.ardus@gmail.com.

### Abstract

The main approaches to non-drug therapy of persistent atrial fibrillation were considered. The role of different treatment strategies was assessed: surgical, endoscopic, catheter ablation and cryoballoon ablation of target anatomical substrates. Catheter isolation of the pulmonary veins is the most effective strategy for treatment of patients with paroxysmal atrial fibrillation; however, the success of this technique for persistent atrial fibrillation treatment remains low despite the wide range of catheter techniques used. The posterior wall of the left atrium makes a significant contribution to the development of this process, which confirms the high efficiency of its surgical isolation, even in patients with long-term persistent atrial fibrillation. Today, there is growing evidence in favor of isolation of the pulmonary veins in combination with isolation

of the posterior wall of the left atrium using a cryoballoon. The data of clinical studies comparing the safety and efficacy of this approach in comparison with other invasive methods in the long-term period are presented. The technical reproducibility of the technique, high immediate and long-term success of the procedure with respect to maintaining sinus rhythm were noted.

**Key words:** redo cardiac surgery • minimally invasive surgery • mini-thoracotomy • mini-sternotomy • re sternotomy • cardiac surgery.

### Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) является одной из самых распространенных форм нарушения ритма сердца в клинической практике, наличие которой может приводить к таким неблагоприятным событиям, как инсульт, тромбоэмболические осложнения, сердечная недостаточность и дисфункция левого желудочка [1, 2]. Учитывая неблагоприятный прогноз заболевания, наиболее актуальной задачей представляется разработка эффективной помощи пациентам с различными формами ФП.

Эффективность антиаритмической терапии ФП составляет менее 30% в отдаленном периоде [3]. Для снижения частоты возникновения ФП на протяжении последних десятилетий внедряются и совершенствуются немедикаментозные вмешательства, такие как катетерная абляция, хирургическая изоляция левого предсердия (ЛП) и торакоскопическая изоляция ЛП. Так, одним из ведущих направлений в лечении пароксизмальной формы ФП, является применение криоабляции легочных вен (ЛВ) в виду относительно небольшой продолжительности процедуры, а также хорошей эффективности [4]. Однако, выбор техники и зон абляции для эффективной изоляции субстрата у пациентов с персистирующей формой ФП в виду ряда гипотез остается сложной задачей.

Длительное персистирование ФП приводит к постепенному фиброзированию предсердий, формированию дополнительного субстрата, поддерживающего ФП, и, как правило, требует более агрессивного подхода для восстановления и удержания синусового ритма. В качестве потенциального субстрата для возникновения персистирующей формы ФП, кроме устьев ЛВ, в первую очередь, рассматривается задняя стенка ЛП [5]. Показано, что анатомическая изоляция устьев ЛВ и задней стенки ЛП ассоциирована со снижением рецидивов ФП [6, 7]. Данные результаты, возможно, объясняются тем, что задняя стенка ЛП и ЛВ, клеточные линии которых полностью отличаются от остального миокарда, являются гистологически однородными и имеют общее эмбриональное происхождение [8]. Показано, что циркулярные мышечные волокна берут начало из задней стенки ЛП, направляются к устьям ЛВ, формируя вокруг них сфинктеробразные структуры. Гистологическая оценка

задней стенки ЛП и устьев ЛВ с определением ориентации миофибрилл указывает на отсутствие четких границ между данными зонами. Имеются данные о сходстве мышечных волокон ЛВ с миоцитами синоатриального узла по таким параметрам, как высокий уровень диастолического  $Ca^{2+}$  и склонность к спонтанной деполяризации [9].

### Хирургические методики

Основными «мишенями» при инвазивном лечении ФП являются макро- и микроскопические структуры, ответственные не только за запуск аритмии, но и за ее поддержание. Именно поэтому изоляция ЛВ может быть недостаточной в лечении персистирующих форм аритмии, в этом случае производятся дополнительные воздействия в области задней стенки и крыши ЛП. Наиболее эффективными методами лечения персистирующей формы ФП считаются более агрессивные методики, такие как хирургическая изоляция ЛП – операция «Лабиринт» или миниторакоскопические вмешательства. Согласно литературным данным, свобода от аритмии после операции «Лабиринт» составляет 93-98%. Однако, широкого применения методика так и не получила ввиду длительного времени искусственного кровообращения, высокого риска кровотечений и сложности выполнения [10]. Торакоскопическая изоляция ЛВ с ушиванием ушка ЛП демонстрирует высокую эффективность, объединив в себе эффективность хирургической изоляции ЛП и безопасность катетерных методик, благодаря достижению более стабильных трансмуральных очагов повреждения с низким риском возникновения проаритмогенного субстрата [11, 12]. В исследовании M.G. Compieg и соавт. было показано, что свобода от возврата ФП с применением торакоскопической радиочастотной изоляции устьев ЛВ по методике «box lesion» в период наблюдения  $17 \pm 7$  месяцев составляла 76% без поддержки антиаритмических препаратов [13]. M. Rojar и соавт. выявили, что после малоинвазивного лечения ФП с применением данной методики, синусовый ритм сохранялся у 90% пациентов в период 6 месяцев наблюдения. [14]. В работе J. Neefs и соавт. было продемонстрировано, что у пациентов с «гигантским» ЛП (индекс объема ЛП  $\geq 50$  мл/м<sup>2</sup>), эффективность процедуры торакоскопической абляции состав-

ляла 55,8% по результатам одного года наблюдения [15]. В работе А.Ш. Ревивили и соавт. эффективность торакокопической абляции составила 78% в группе персистирующей и 63% в группе длительно персистирующей форм ФП ( $p=0,037$ ) в течение трех лет наблюдения [16]. Таким образом, миниторакоскопическая эпикардальная абляция может рассматриваться как более безопасный и эффективный метод благодаря трансмуральному характеру повреждения с минимальным риском образования проаритмогенных очагов миокарда. В сравнение с последним, аспликации при РЧА часто не приводят к трансмуральному повреждению, а «прорывы» в линиях изоляции объясняют возникновение предсердных инцизионных аритмий у ряда пациентов после радиочастотных воздействий. Миниторакоскопическая тактика также наиболее эффективна при воздействии на эпикардially расположенные ганглионарные сплетения [17]. Недостатком данного метода является необходимость «гибридного» подхода для последующего электрофизиологического исследования с построением вольтажной карты ЛП либо проверки электрической изоляции задней стенки ЛП и устьев легочных вен.

### Катетерные методики

Для ФП характерно наличие некоординированных электрических очагов возбуждения и сокращения миокарда предсердий, что постепенно приводит к ремоделированию и снижению контрактильной функции левого предсердия. С момента первого описания наличия субстрата формирования аритмии в легочных венах, катетерная абляция стала широко применяться для лечения и профилактики рецидивов ФП. Триггеры были локализованы в мышечных муфтах ЛВ и были ответственны за развитие фибрилляции у 90% пациентов с пароксизмальной ФП. Этим объясняется высокая эффективность катетерной изоляции устьев ЛВ у пациентов с пароксизмальной формой ФП [18]. На сегодняшний день для катетерной изоляции дополнительного субстрата ЛП у пациентов с персистирующей и длительно персистирующей формами ФП наиболее часто применяется линейная изоляция (point by point) либо техника «box lesion» при помощи РЧА. Радиочастотная изоляция устьев ЛВ в сочетании и дополнительной линейной абляцией задней стенки отличается технической сложностью, сопряжена с большой лучевой нагрузкой на пациента и персонал и возможностью возникновения вторичных нарушений ритма, связанных с наличием «прорывов» по линии абляции. В исследовании абляции субстрата и триггеров для уменьшения ФП (STAR-AF II) было продемонстрировано отсутствие пользы выполнения дополнительных линий воздействия задней стенки ЛП. В данном рандомизированном исследо-

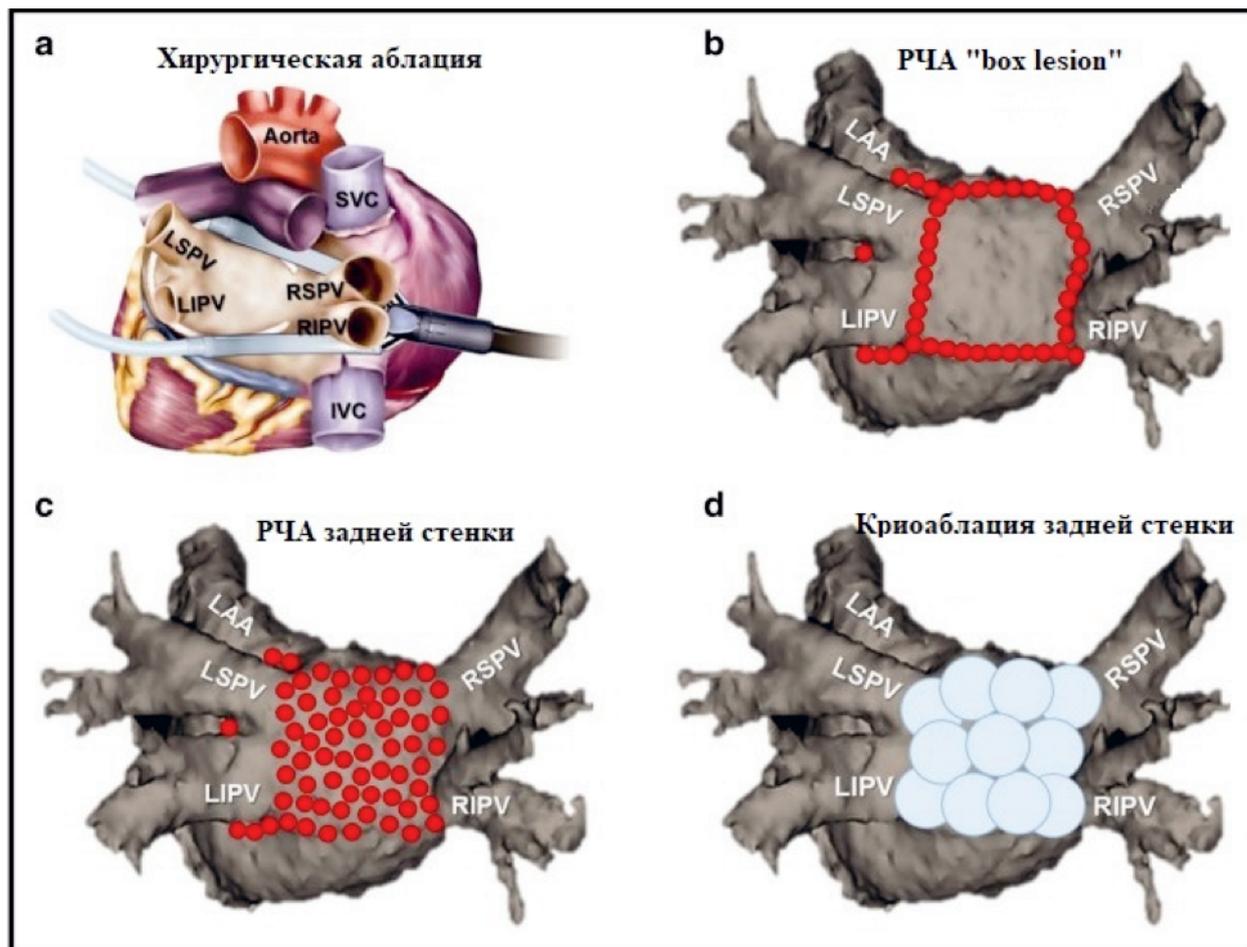
вании сравнивались три стратегии поддержания синусового ритма: изоляция устьев ЛВ; изоляция ЛВ в сочетании с абляцией комплексных фракционированных электрограмм, либо сочетание изоляции ЛВ с дополнительной линейной абляцией. В отдаленном периоде не было выявлено достоверных различий в группах в отношении первичной конечной точки – свободы от рецидива ФП [19]. Напротив, в исследовании F. Sabatino и соавт. изучалась эффективность изоляции задней стенки ЛП в дополнение к РЧА устьев ЛВ у пациентов с персистирующей формой ФП с измерением индекса абляции при проведении вмешательства. По результатам 12-ти месяцев наблюдения среди 41 пациента у 70.7% не было выявлено рецидива аритмии [20].

### Катетерные методики

В настоящее время стало возможным выполнение катетерной изоляции задней стенки ЛП с применением криобаллона (Рисунок 1) [21].

На сегодняшний день криобаллонная абляция ФП является одним из наиболее эффективных и безопасных подходов в лечении пациентов с пароксизмальной формой аритмии [22, 23]. Ранние исследования, в которых изучались различные техники катетерной абляции устьев легочных вен, демонстрировали сопоставимые непосредственные и отдаленные результаты у пациентов после радиочастотной абляции устьев ЛВ и криоабляции [24]. Однако, такие технические преимущества данного метода, как равномерное (неаритмогенное) повреждение ткани с четкими границами, адгезия и ограниченность зоны повреждения, а также более простая методика выполнения, способствовали широкому распространению криотерапии [25]. Одно из самых значимых проспективных многоцентровых рандомизированных исследований – Fire and Ice (Cryoballoon or Radiofrequency Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation), в котором сравнивались катетерные методики изоляции устьев ЛВ у пациентов с пароксизмальной формой ФП, показало, что применение криоабляции устьев ЛВ было ассоциировано с достоверно более низкой частотой возникновения вторичных точек, таких как госпитализации, электрическая кардиоверсия или повторные абляции [26, 27].

При выполнении криобаллонной катетерной изоляции задней стенки ЛП большая площадь соприкосновения и характер поражения ткани во время криотерапии позволяют получить быстрый и долгосрочный эффект изоляции [28]. Кроме того, некоторые авторы считают данный подход более безопасным в отношении повреждения пищевода [29]. Эффективность и безопасность криоизоляции аритмогенного субстрата была продемонстрирована в проспективном исследовании, в котором 76 пациентам с персистирующей формой ФП была успеш-



**Рисунок 1.** Схематическое изображение различных методик изоляции задней стенки ЛП. Адаптировано из статьи «Aryana A., Pujara D. K., Allen S. L., et al. Left atrial posterior wall isolation in conjunction with pulmonary vein isolation using cryoballoon for treatment of persistent atrial fibrillation (PIVoTAL): study rationale and design» [21].

**Figure 1.** Schematic representation of different techniques for isolation of the posterior wall of the LA. Extracted from the article 'Aryana A., Pujara D. K., Allen S. L., et al. K., Allen S. L., et al. Left atrial posterior wall isolation in conjunction with pulmonary vein isolation using cryoballoon for treatment of persistent atrial fibrillation (PIVoTAL): study rationale and design' [21]

но проведена абляция крыши ЛП и устьев ЛВ. Электроанатомическая активационная карта использовалась для верификации линии блока по крыше ЛП и устьев легочных вен [30]. В более масштабном многоцентровом нерандомизированном исследовании по руководством А. Агауана сравнивались криоабляция устьев ЛВ и сочетанная криоабляция устьев ЛВ и задней стенки ЛП: было показано, что частота свободы от рецидивов ФП была достоверно выше в случае комбинированной изоляции двух зон. Отдаленный успех методики был выше 80% у пациентов с симптоматической персистирующей ФП [31]. Анализ причин рецидивов ФП при комбинированной изоляции выявил, что большой диаметр ЛП (более 48 мм) и наличие атипичного трепетания имеют отрицательную прогностическую ценность и являются основными причинами возврата аритмии.

Определение оптимальной площади изоляции задней стенки ЛП является сложной за-

дачей. Недавно были представлены результаты исследования, в котором сравнивались эффективность, безопасность двух методик: катетерной абляции устьев ЛВ с применением криобаллона и сочетанной криоабляции устьев ЛВ, крыши и задней стенки ЛП. У пациентов с криоабляцией ЛВ, крыши и задней стенки ЛП была выявлена корреляция между площадью изолированного сегмента ЛП с более низкой частотой рецидивов ФП в сравнении с группой пациентов, которым проводилась криоабляция ЛВ [32]. В работе J. Ahn и соавт. проведено сравнение эффективности расширенной криобаллонной изоляции ЛП (устье ЛВ в сочетании с задней стенкой ЛП) и криоизоляции легочных вен. По результатам 457.9 ± 61.8 дней наблюдения частота рецидива аритмии была статистически значимо ниже в группе расширенной криобаллонной абляции ЛП по сравнению с изолированной криоабляцией устьев ЛВ (24% против 46%; p = 0.035). При этом, безрецидивная выживаемость была стати-

стически значимо выше в группе расширенной криоабляции ЛП по сравнению с аблацией ЛВ вне зависимости от полной изоляции задней стенки ЛП (log-rank  $p = 0.013$ ) [33].

## Заключение

Согласно мировым данным, доминирующую роль в развитии и поддержании ФП играют такие структуры ЛП, как устья ЛВ и задняя стенка ЛП. Техническое совершенствование современных катетерных методик позволило проводить эффективную изоляцию устьев ЛВ, что, в свою очередь, улучшило непосредственные и отдаленные результаты лечения пациентов с пароксизмальной ФП. Традиционно криоабляция была введена в клиническую практику и широко использовалась для изоляции устьев ЛВ. Оклюзирующая способность криобаллона обеспечивала

создание оптимальных криоповреждений, однако такой эффект может быть достигнут и при наличии оптимального контакта между баллоном и целевой зоной, что подтверждается при изоляции ЛВ большого диаметра. Результаты исследований позволяют предположить допустимость применения неоклюзионных криобаллонов в полости ЛП. На сегодняшний день наблюдается активная разработка оптимальных методов и техник изоляции задней стенки ЛП у пациентов с персистирующей формой ФП.

## Конфликт интересов:

Не заявлен.

## Финансирование:

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Информация об авторах

*Омелянenco Антон Сергеевич* – врач сердечно-сосудистый хирург 1-го хирургического отделения. Медико-санитарная часть Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» <https://orcid.org/0000-0002-5976-7922>

*Ускач Татьяна Марковна* – проф., д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, [tuskach@mail.ru](mailto:tuskach@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-4318-0315>

*Ардус Дарин Фаресовна* – к.м.н., младший научный сотрудник лаборатории хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России [darina.ardus@gmail.com](mailto:darina.ardus@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-8305-1855>

*Черкашин Дмитрий Игоревич* – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосуди-

стой хирургии ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России [cherkashin83@yandex.ru](mailto:cherkashin83@yandex.ru) <https://orcid.org/0000-0003-1679-1719>

*Гришин Игорь Николаевич* – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России [cardio05@mail.ru](mailto:cardio05@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-5839-1858>

*Тимижева Калима Бадинокровна* – младший научный сотрудник лаборатории хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России <https://orcid.org/0000-0002-2464-8210>

*Сапельников Олег Валерьевич* – д.м.н., главный научный сотрудник лаборатории хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ Кардиологии» Минздрава России [sapelnikovov@mail.ru](mailto:sapelnikovov@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0002-5186-2474>

## Author Information Form

*Anton Omelyanenko* - cardiovascular surgeon of the 1st surgical department. Medical and Sanitary Unit of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education 'Kazan (Volga Region) Federal University' <https://orcid.org/0000-0002-5976-7922>

*Uskach Tatiana Markovna* - Professor, Doctor of medical sciences, leading researcher of the department of myocardial diseases and heart failure of FGBU 'E.I. Chazov NMICC' of the Ministry of Health of Russia, [tuskach@mail.ru](mailto:tuskach@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-4318-0315>

*Ardus Darin Faresovna* - Candidate of medical sciences, junior researcher of the laboratory of surgical and X-ray surgical methods of treatment of heart rhythm disorders of the cardiovascular surgery department of FGBU 'E.I. Chazov NMICC' of the Ministry of Health of Russia [darina.ardus@gmail.com](mailto:darina.ardus@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-8305-1855>

*Cherkashin Dmitry Igorevich* - Candidate of medical sciences, senior researcher of the laboratory of surgical and X-ray surgical methods of treatment of heart rhythm disorders of the cardiovascular surgery department of FGBU 'E.I. Chazov NMICC'

of the Ministry of Health of Russia cherkashin83@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-1679-1719>

*Grishin Igor Nikolaevich* - Candidate of medical sciences, senior researcher of the laboratory of surgical and X-ray surgical methods of treatment of heart rhythm disorders of the cardiovascular surgery department of FGBU 'E.I. Chazov NMICC' Ministry of Health of Russia cardio05@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-5839-1858>

*Timizheva Kalima Badinokovna* - junior researcher of the laboratory of surgical and X-ray surgical

methods of treatment of heart rhythm disorders of cardiovascular surgery department of FGBU 'E.I. Chazov NMICC' of the Ministry of Health of Russia <https://orcid.org/0000-0002-2464-821>

*Sapelnikov Oleg Valerievich* - Doctor of medical sciences, chief researcher of the laboratory of surgical and X-ray surgical methods of treatment of heart rhythm disorders of the cardiovascular surgery department of FGBU 'NMICC Cardiology' of the Ministry of Health of Russia sapelnikovov@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-5186-2474>

### Список литературы / References list

1. Elliott A.D., Middeldorp M.E., Van Gelder I.C., Albert C.M., Sanders P. Epidemiology and modifiable risk factors for atrial fibrillation. *Nat Rev Cardiol.* 2023 Feb;20(6):404-417. doi: 10.1038/s41569-022-00820-8.
2. Lippi G., Sanchis-Gomar F., Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke.* 2021 Feb;16(2):217-221. doi: 10.1177/1747493019897870.
3. Gutierrez C., Blanchard D.G. Diagnosis and Treatment of Atrial Fibrillation. *Am Fam Physician.* 2016 Sep 15;94(6):442-52.
4. Sapelnikov O.V., Kulikov A.A., Grishin I.R., Cherkashin D.I. et al. Catheter cryoablation in treatment of atrial fibrillation. Opportunities and prospects. *Russian Cardiology Bulletin* 3 т.XII, 2017.
5. Mohanty S., La Fazia V.M., Torlapati P.G., Gianni C., Macdonald B., Mayedo A., Della Rocca D.G., Bassiouny M., Gallinghouse G.J., Burkhardt J.D., Horton R., Al-Ahmad A., Di Biase L., Natale A. Distribution of triggers in the left atrial posterior wall in AF patients undergoing catheter ablation, *European Heart Journal*, Volume 44, Issue Supplement\_2, November 2023, ehad655.374. doi:10.1093/eurheartj/ehad655.374
6. Yokokawa M., Chugh A., Latchamsetty R., Ghanbari H., Crawford T., Jongnarangsin K., Cunnane R., Saeed M., Sunkara B., Tezcan M., Bogun F., Pelosi F., Jr Morady F., Oral H. Cryoballoon antral pulmonary vein isolation vs contact force-sensing radiofrequency catheter ablation for pulmonary vein and posterior left atrial isolation in patients with persistent atrial fibrillation. *Heart Rhythm.* 2018;15(12):1835-1841. doi:10.1016/j.hrthm.2018.06.047
7. Roberts J.D., Gerstenfeld E.P. Concomitant Isolation of the Pulmonary Veins and Posterior Wall Using a Box Lesion Set in a Patient with Persistent Atrial Fibrillation and Variant Pulmonary Venous Anatomy. *Card Electrophysiol Clin.* 2016 Mar;8(1):145-9. doi: 10.1016/j.ccep.2015.10.015.
8. Ho S.Y., Cabrera J.A., Sanchez-Quintana D. Left atrial anatomy revisited. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2012;5(1):220-228. doi:10.1161/CIRCEP.111.962720.
9. Clarke J.D., Piccini J.P., Friedman D.J. The role of posterior wall isolation in catheter ablation of persistent atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2021;32(9):2567-2576. doi:10.1111/jce.15164
10. Cox J.L. The role of surgical intervention in the management of atrial fibrillation. *Tex Heart Inst J.* 2004;31(3):257-265.
11. Vos L.M., Kotecha D., Geuzebroek G.S.C., Hofman F. N., van Boven W. J. P., Kelder J., de Mol B. A. J. M., van Putte B.P. Totally thoracoscopic ablation for atrial fibrillation: a systematic safety analysis. *Europace.* 2018;20(11):1790-1797. doi:10.1093/europace/eux385
12. Kwon H.J., Jeong D.S., Park S.J., Park K.M., Kim J.S., Oh Y.K. Long-term outcome of totally thoracoscopic surgical ablation in atrial fibrillation: A single-center experience. *Int J Cardiol Heart Vasc.* 2021 Aug 25;36:100861. doi: 10.1016/j.ijcha.2021.100861.
13. Compier M.G., Braun J., Tjon A., Zeppenfeld K., Klautz R.J.M., Schalij M.J., Trines S.A. Outcome of stand-alone thoracoscopic epicardial left atrial posterior box isolation with bipolar radiofrequency energy for longstanding persistent atrial fibrillation. *Neth Heart J.* 2016;24(2):143-151. doi:10.1007/s12471-015-0785-3
14. Pojar M., Vojacek J., Haman L., Parizek P., Harrer J. T Thoracoscopic radiofrequency ablation for lone atrial fibrillation: box-lesion technique. *J Card Surg.* 2014;29(5):757-762. doi:10.1111/jocs.12409.
15. Neefs J., Wesselink R., van den Berg N.W.E., de Jong J.S.S.G., Piersma F.R., van Boven W.P., Driessen, A.H.G., de Groot J.R. Thoracoscopic surgical atrial fibrillation ablation in patients with an extremely enlarged left atrium. *J Interv Card Electrophysiol.* 2022;64(2):469-478. doi:10.1007/s10840-021-01056-1.
16. Ревиншвили А.Ш., Стребкова Е.Д., Артюхина Е.А., Малышенко Е.С., Новиков М.А., Кадырова М. Эффективность торакоскопического лечения непароксизмальных форм фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии.* 2023;30(3):23-31. doi:10.35336/VA-1160
17. Probst J., Jidéus L., Blomström P., Zengulis V., Wassberg E., Lönnholm S., Malmberg H., Blomström Lundqvist C. Thoracoscopic epicardial left atrial ablation in symptomatic patients with atrial fibrillation. *Europace.* 2016;18(10):1538-1544. doi:10.1093/europace/euv438
18. Proietti R., Santangeli P., Di Biase L., Joza J., Bernier M.L., Wang Y., Sagone A., Viecca M.,

- Essebag V., Natale A. Comparative effectiveness of wide antral versus ostial pulmonary vein isolation: a systematic review and meta-analysis. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2014;7(1):39-45. doi:10.1161/CIRCEP.113.000922
19. Verma A., Jiang C.Y., Betts T.R., Chen J., Deisenhofer I., Mantovan R., Macle L., Morillo C.A., Haverkamp W., Weerasooriya R., Albenque J.P., Nardi S., Menardi E., Novak P., Sanders P.; STAR AF II Investigators. Approaches to catheter ablation for persistent atrial fibrillation. *N Engl J Med.* 2015 May 7;372(19):1812-22. doi: 10.1056/NEJMoa1408288.
20. Sabatino F., Oriente D., Fortunato F., Cascino A., Ferrara G., Sgarito G., Conti S. Extensive Posterior Wall Isolation on Top of Pulmonary Vein Isolation Guided by Ablation Index in Persistent Atrial Fibrillation Ablation. *Life (Basel).* 2023 Mar 11;13(3):761. doi: 10.3390/life13030761. PMID: 36983916; PMCID: PMC10052169.
21. Aryana A., Pujara D. K., Allen S. L., Baker J. H., Espinosa M. A., Buch E. F., Srivatsa U., Ellis E., Makati K., Kowalski M., Lee S., Tadros, T. Baykaner, T., Al-Ahmad A., d'Avila A., Di Biase L., Okishige K., Natale A. Left atrial posterior wall isolation in conjunction with pulmonary vein isolation using cryoballoon for treatment of persistent atrial fibrillation (PIVoTAL): study rationale and design [published online ahead of print, 2020 Oct 3]. *J Interv Card Electrophysiol.* 2020;10.1007/s10840-020-00885-w.
22. Fortuni F., Casula M., Sanzo A., Angelini F., Cornara S., Somaschini A., Mugnai G., Rordorf R., De Ferrari G.M. Meta-Analysis Comparing Cryoballoon Versus Radiofrequency as First Ablation Procedure for Atrial Fibrillation. *Am J Cardiol.* 2020 Apr 15;125(8):1170-1179. doi: 10.1016/j.amjcard.2020.01.016.
23. Knight B.P., Novak P.G., Sangrigoli R., Champagne J., Dubuc M., Adler S. W., Svinarich J. T., Essebag V., Hokanson R., Kueffer F., Jain S. K., John R. M., Mansour M., STOP AF PAS Investigators. Long-Term Outcomes After Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation Using the Second-Generation Cryoballoon: Final Results From STOP AF Post-Approval Study. *JACC Clin Electrophysiol.* 2019 Mar;5(3):306-314. doi: 10.1016/j.jacep.2018.11.006.
24. Murray M.I., Arnold A., Younis M., Varghese S., Zeiher A.M. Cryoballoon versus radiofrequency ablation for paroxysmal atrial fibrillation: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Res Cardiol.* 2018 Aug;107(8):658-669. doi: 10.1007/s00392-018-1232-4.
25. Andrade J.G., Wazni O.M., Kuniss M., Hawkins N.M., Deyell M.W., Chierchia G.B., Nissen S., Verma A., Wells G.A., Turgeon R.D. Cryoballoon Ablation as Initial Treatment for Atrial Fibrillation: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2021 Aug 31;78(9):914-930. doi: 10.1016/j.jacc.2021.06.038. PMID: 34446164.
26. Kuck K.H., Brugada J., Fürnkranz A., Metzner A., Ouyang F., Chun K.R., Elvan A., Arentz T., Bestehorn K., Pocock S. J., Albenque J. P., Tondo C., FIRE AND ICE Investigators. Cryoballoon or radiofrequency ablation for paroxysmal atrial fibrillation. *N Engl J Med.* 2016;374(23):2235-2245. doi:10.1056/NEJMoa1602014
27. Kuck K.H., Brugada J., Schlüter M., Braegelmann K.M., Kueffer F.J., Chun K.R.J., Albenque J.P., Tondo C., Calkin H., FIRE AND ICE Trial Investigators. The FIRE AND ICE Trial: What We Know, What We Can Still Learn, and What We Need to Address in the Future. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(24):e010777. doi:10.1161/JAHA.118.010777
28. Okumura Y., Watanabe I., Iso K., Takahashi K., Nagashima K., Sonoda K., Mano H., Yamaguchi N., Kogawa R., Watanabe R., Arai M., Ohkubo K., Kurokawa S., Nakai T., Hirayama A. Mechanistic Insights Into Durable Pulmonary Vein Isolation Achieved by Second-Generation Cryoballoon Ablation. *J Atr Fibrillation.* 2017;9(6):1538. Published 2017 Apr 30. doi:10.4022/jafib.1538.
29. Sarairah S.Y., Woodbury B., Methachittiphan N., Tregoning D.M., Sridhar A.R., Akoum N. "Esophageal Thermal Injury Following Cryoballoon Ablation for Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol.* 2020;6(3):262-268. doi:10.1016/j.jacep.2019.10.014.
30. Kuniss M., Greiß H., Pajitnev D., Akkaya E., Deubner N., Hain A., Bodammer L., Berkowitsch A., Chierchia G.B., Hamm C.W., Neumann T. Cryoballoon ablation of persistent atrial fibrillation: feasibility and safety of left atrial roof ablation with generation of conduction block in addition to antral pulmonary vein isolation. *Europace.* 2017 Jul 1;19(7):1109-1115. doi: 10.1093/europace/euw146.
31. Aryana A., Baker J.H., Espinosa Ginic M.A., Pujara D.K., Bowers M.R., O'Neill P.G., Ellenbogen K.A., Di Biase L., d'Avila A., Natale A. Posterior wall isolation using the cryoballoon in conjunction with pulmonary vein ablation is superior to pulmonary vein isolation alone in patients with persistent atrial fibrillation: A multicenter experience. *Heart Rhythm.* 2018;15(8):1121-1129. doi:10.1016/j.hrthm.2018.05.014.
32. Nanbu T., Yotsukura A., Suzuki G., Ishidoya Y., Sano F., Yoshida I., Sakurai M. Important factors in left atrial posterior wall isolation using 28-mm cryoballoon ablation for persistent atrial Fibrillation-Block line or isolation area? *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020 Jan;31(1):119-127. doi: 10.1111/jce.14281
33. Ahn J., Shin D.G., Han S.J., Lim H.E. Does isolation of the left atrial posterior wall using cryoballoon ablation improve clinical outcomes in patients with persistent atrial fibrillation? A prospective randomized controlled trial. *Europace.* 2022 Jul 21;24(7):1093-1101. doi: 10.1093/europace/euac005.