

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ГИБРИДНОГО ЛЕЧЕНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ

### Краткое название: Неинвазивная диагностика и лечение фибрилляции предсердий

Стребкова Е.Д.<sup>1</sup>, Артюхина Е.А.<sup>1,2</sup>, Ревиншвили А.Ш.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Большая Серпуховская ул., д. 27.

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1

*Для корреспонденции:* Елизавета Дмитриевна Стребкова, elizabeth.strebkova@yandex.ru; адрес: ул. Большая Серпуховская, 27, Москва, Российская Федерация, 115093

## Основные положения

В настоящее время особый интерес представляет неинвазивное поверхностное картирование сердца, позволяющее на предоперационном этапе изучить патогенез желудочковых и предсердных аритмий. Поиск субстрата персистирующих форм фибрилляции предсердий до сих пор изучается, так как изолированная изоляция устьев легочных вен в отношении данной когорты пациентов показывает крайне низкую эффективность в отдаленном периоде наблюдения. В связи с чем разрабатываются и модифицируются гибридные методы лечения устойчивых форм фибрилляции предсердий. Представленный литературный обзор освещает основные направления неинвазивного картирования аритмий и современные подходы лечения непароксизмальных форм фибрилляции предсердий.

## Аннотация

Разработка методов неинвазивного поверхностного картирования сердца, с высокой точностью позволяет определить локализацию аритмогенного очага, что способно повысить качество и эффективность интервенционных и кардиохирургических вмешательств в отдаленном периоде наблюдения. Активная интеграция отечественной системы поверхностного картирования «Амикард 01С» значительно повысила воспроизводимость предоперационной диагностики жизнеугрожающих аритмий, позволив своевременно оценить и детально изучить сложный электрофизиологический патогенез желудочковых и предсердных тахиаритмий.

Большой клинический опыт, продемонстрировал высокую точность поверхностного картирования. В связи с этим, стало возможно выполнение интервенционных вмешательств, в ряде случаев, без дополнительного интраоперационного эндокардиального картирования.

Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенной тахиаритмией, частота её встречаемости в общей популяции составляет 1-2% среди всех сердечных аритмий. Катетерные методы лечения ФП показывают крайне низкую эффективность, в отношении персистирующих и длительно-персистирующих форм ФП, снижаясь с каждой последующей процедурой абляции.

В связи с этим, для пациентов с персистирующей и длительно-персистирующей формами ФП рационально рассматривать двухэтапный или гибридный (одномоментный) подход лечения аритмии, объединяющий в себя эпи- и эндокардиальные абляции. Эффективность этапного лечения персистирующих и длительно-персистирующих форм ФП в нашем центре составила 86,9% в течение трехлетнего периода наблюдения.

В будущем, наряду с неинвазивными методами картирования аритмогенных зон, станет возможным выполнение неинвазивной стереотаксической радиоабляции сердечных аритмий с помощью линейных ускорителей. Первые опыты применения неинвазивных «операций» позволяют в ряде случаев устранить жизнеугрожающие нарушения сердечного ритма.

**Ключевые слова:** фибрилляция предсердий • поверхностное картирование • торакоскопическая абляция • гибридное лечение • стереотаксическая лучевая терапия

# NON-INVASIVE DIAGNOSIS AND HYBRID TREATMENT OF ATRIAL FIBRILLATION

**Running title: Non-invasive diagnosis and treatment of atrial fibrillation**

*E.D. Strebkova<sup>1</sup>, E.A. Artyukhina<sup>1,2</sup>, A.Sh. Revishvili<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Federal State Budgetary Educational Institution "A.V. Vishnevskiy National Medical Research Center of Surgery" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*

<sup>2</sup> *Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*

**For correspondence:** Elizaveta D. Strebkova, elizabeth.strebkova@yandex.ru; address: 27, Bolshaya Serpukhovskaya St., Moscow, Russian Federation, 115093

Original  
research

## Highlights

Currently, non-invasive surface mapping of the heart is of particular interest, allowing preoperative study of the pathogenesis of ventricular and atrial arrhythmias. The search for the substrate of persistent atrial fibrillation is still under investigation, as isolated pulmonary vein isolation in this cohort of patients shows very low efficacy in the long-term follow-up period. Therefore, hybrid methods of treatment of resistant forms of atrial fibrillation are being developed and modified. The presented literature review highlights the main directions of non-invasive arrhythmia mapping and current approaches to the treatment of nonparoxysmal atrial fibrillation.

## Abstract

The emergence of novel non-invasive methods of body surface cardiac mapping allows detecting arrhythmogenic focus localization with high accuracy and contributes to superior long-term outcomes following interventional and cardiac procedures. The implementation of the original body surface cardiac mapping system "Amicard 01C" into routine clinical practice has increased drastically the reproducibility of preoperative diagnosis of life-threatening arrhythmias, timely assessment, and investigation of the complex electrophysiological pathogenesis of ventricular and atrial tachyarrhythmias.

Extensive clinical experience has proven the high accuracy of body surface cardiac mapping enabling to perform interventional procedures without additional intraoperative endocardial mapping.

Atrial fibrillation (AF) is the most common cardiac arrhythmia, affecting 1-2% of the general population. Catheter AF ablation is less effective for treating persistent and long-standing persistent AF. A failed catheter ablation is associated with more reduced efficacy of further ablation procedure in patients with persistent and long-standing persistent AF.

Therefore, it is rationale to consider a two-stage or hybrid approach combining epi- and endocardial ablations in patients with persistent and long-standing persistent AF. The 3-year freedom from persistent and long-standing persistent AF reached 86.9% among patients who underwent staged treatment in the A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery.

Non-invasive stereotactic radioablation of cardiac arrhythmias using linear accelerators is projected to become highly-demanded method in the near future along with non-invasive cardiac mapping modes. The first clinical cases of non-invasive radioablations have shown beneficial effects for treating life-threatening cardiac arrhythmias.

**Keywords:** atrial fibrillation • body surface cardiac mapping • thoracoscopic ablation • hybrid treatment • stereotactic radioablation

## Список сокращений

АВ – атриовентрикулярный  
ЖТ – желудочковые тахикардии  
ИКД – имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор  
КА – катетерная абляция  
КН – радиохирургический ускоритель (CyberKnife, CN)

КТ – компьютерная томография  
КТИ – каватрикуспидальный истмус (перешеек)  
ЛВ – легочные вены  
ЛВЛВ – левая верхняя лёгочная вена  
ЛЖ – левый желудочек  
ЛП – левое предсердие  
ЛУ – линейный ускоритель (CLA)

МРТ – магнитно-резонансная томография  
ПВЛВ – правая верхняя легочная вена  
СРАА – стереотаксической радиоабляции аритмий (stereotactic arrhythmia radio ablation, STAR)  
СРТТ – стереотаксическая радиотерапия тела (stereotactic body radiotherapy, SBRT)

СССУ – синдром слабости синусового узла  
ТП – трепетание предсердий  
ФП – фибрилляция предсердий  
ЭИТ – электроимпульсная терапия  
ЭФИ – электрофизиологическое исследование

### Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенной тахикардией, частота её встречаемости в общей популяции составляет 1-2% среди всех сердечных аритмий [1, 2]. В течение последующих лет ожидается увеличение больных ФП, вследствие стремительного демографического старения населения.

Основные риски, ассоциированные с ФП обусловлены тромбоэмболическими осложнениями, а в ряде случаев сопровождаются аритмогенным коллапсом. ФП увеличивает общую смертность в 1,9 раза, риск инсульта в 5 раз и является причиной аритмогенной кардиомиопатии и застойной сердечной недостаточности [3].

Поиск оптимальных, безопасных, минимальноинвазивных методов лечения, изолированных непароксизмальных форм ФП, на долю которых приходится до 70% от всех форм ФП, приближенных по своей эффективности к классической процедуре «Сох-Мазе», является глобальной проблемой современной аритмологии [1, 4].

Благодаря работе Haïssaguerre M. и соавт. [5] было установлено, что основной мишенью катетерных абляций (КА) при ФП следует считать легочные вены, но эффективность радиочастотной абляции в отношении персистирующих форм ФП оказалась крайне низкой [1, 2]. Данные эндокардиального электроанатомического картирования у пациентов с непароксизмальными формами ФП обычно демонстрируют области выраженной низкоамплитудной активности в левом предсердии [6]. В таких случаях долгосрочный успех КА составляет 20-60%, снижаясь с каждой последующей процедурой [7, 8].

Решение обратной задачи электрокардиографии, основанное на вычислительной реконструкции электрофизиологических процессов сердца, позволило выполнить одномоментное поверхностное картирование всех сердечных камер, с диагностической точностью 88,3 – 94% при желудочковых аритмиях и 92% точностью при предсердных аритмиях [9, 10]. Таким образом, благодаря поверхностному картированию можно получить информацию о диагностической ценности, сопоставимую с результатами инвазивного электрофизиологического исследования сердца. Своевременное, предоперационное построение биатриальных карт распространения «драйверов» ФП с использованием систем неинвазивного картирования при непароксизмальных формах ФП, может способствовать повышению эффективности, предстоящей абляции, на

этапе ее планирования [11].

Билатеральная видеоассистированная торакоскопическая эпикардиальная абляция, предложенная в 2005 году R.Wolf и соавт. [16], стала основным методом лечения изолированных длительно-персистирующих форм ФП. Данный метод может включать: изоляцию устьев легочных вен, абляцию ганглионарных сплетений, фрагментацию задней стенки ЛП, дополнительные линейные абляции, пересечение связки Маршалла и удаление ушка ЛП с целью профилактики развития тромбоэмболических событий. Долгосрочные наблюдения изолированной торакоскопической абляции (ТА) ограничены пятилетним периодом наблюдения, по данным которых свобода от ФП составляет 38-69% из-за разнородности пациентов, техники операции и периода наблюдения [8, 13].

Для некоторых пациентов с персистирующей и длительно-персистирующей формами ФП рационально рассматривать двухэтапный или гибридный подход лечения, объединяющий в себя эпи- и эндокардиальные абляции, показывающие более высокий процент удержания синусового ритма в отдаленном периоде наблюдения.

В последнее время стереотаксическое облучение при помощи линейных ускорителей заряженных частиц, стало одним из новых методов лечения устойчивых жизнеугрожающих сердечных аритмий. В мировой литературе представлена серия клинических наблюдений о применении данной неинвазивной радиоабляции для устранения желудочковых тахикардий. В последнее время стали появляться работы об эффективном применении стереотаксического облучения для лечения ФП с минимальной частотой осложнений, вследствие дозированного, строго ограниченного направления гамма-волн облучения [14-17].

Таким образом, цель данного обзора представить последние данные о возможностях поверхностного картирования персистирующих форм ФП, рассмотреть современные тенденции и направления в развитии высокоэффективного лечения непароксизмальных форм ФП с возможным переходом к неинвазивной радиоабляции тахикардий.

### Материал и методы

Обзор медицинской литературы, опубликованной в период с 2013 г. по 2023 г., проводился с использованием данных информационно-аналитических систем MEDLINE, Scopus, Clinicaltrials.

gov, Google Scholar и Web of Science. Стратегия поиска проводилась в соответствии с запросом, сформулированным по критериям PICO (Пациент–Вмешательство–Сравнение–Исход) [18]. В представленный обзор литературы включено 30 исследований.

## Материал и методы

Обзор медицинской литературы, опубликованной в период с 2013 г. по 2023 г., проводился с использованием данных информационно-аналитических систем MEDLINE, Scopus, Clinicaltrials.gov, Google Scholar и Web of Science. Стратегия поиска проводилась в соответствии с запросом, сформулированным по критериям PICO (Пациент–Вмешательство–Сравнение–Исход) [18]. В представленный обзор литературы включено 30 исследований.

## Неинвазивное поверхностное компьютерное картирование сердца

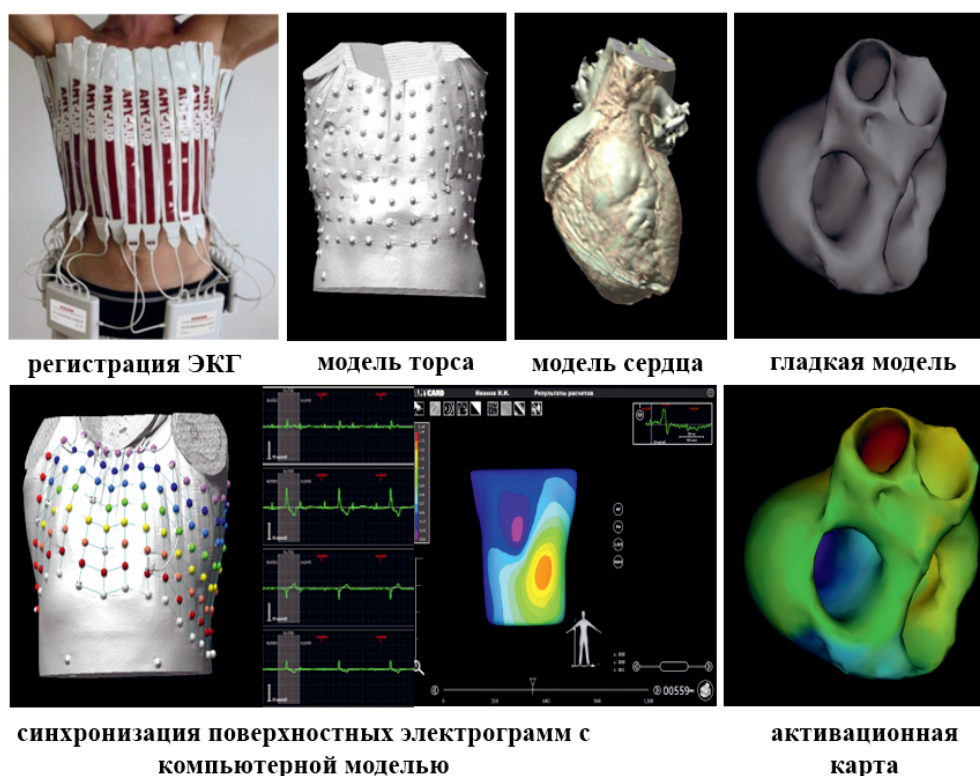
Неинвазивное активационное картирование сердца – это инновационная электрокардиографическая методика. Данный метод неинвазивного картирования электрической активности сердца основан на принципе решения обратной задачи электрокардиографии в форме потенциалов – вычислительной реконструкции потенциала электрического поля на поверхности миокарда по измеренному потенциалу на поверхности тела [10, 11].

На основании вышесказанного, были разра-

ботаны системы неинвазивного поверхностного картирования: отечественная система «Амикард» (ООО «АМИКАРД», Москва) и американский аналог ECVUE (CardioInsight, Medtronic Inc, Minneapolis, Minn), получающие широкое применение в клинической практике, перед выполнением интервенционных и открытых кардиохирургических вмешательств. Система поверхностного картирования «Амикард», разработанная академиком РАН А.Ш. Ревиншвили и группой ученых из МГУ, позволяет в предоперационном периоде верифицировать зону ранней активации аритмогенного очага, регистрируя данные как с эпикарда, так и с эндокарда, в отличие от системы CardioInsight, верифицирующую очаги исключительно на эпикардильной поверхности сердца [10, 19].

Поверхностное картирование сердца с использованием системы «Амикард 01С» включает несколько этапов. В первый этап проводится поверхностная синхронизированная регистрация ЭКГ с 224 монополюсных отведений, 6 стандартных отведений от конечностей и 6 грудных отведений. Полоски для 8-ми электродов ЭКГ фиксируются вертикально по всей окружности грудной клетки.

Второй этап исследования включает выполнение компьютерной томографии с контрастированием или МРТ для анатомической разметки эпикардальных электродов и получения топографоанатомического положения сердца (рис. 1).



**Рисунок 1.** Этапы выполнения поверхностного картирования с использованием системы «Амикард 01С».  
**Figure 1.** Stages of surface mapping using the Amicard 01C system

На третьем этапе проводится обработка ЭКГ и данных компьютерной томографии или МРТ на программном комплексе «Амикард 01С». Каждый сигнал ЭКГ привязывается к соответствующему электроду на реконструированной поверхности тела. Далее выполняется построение эпи- и эндокардиальной 3D-моделей интересующей камеры сердца или всего сердца целиком, на которых строятся изопотенциальные и изохронные карты (рис. 1) [10, 19].

Согласно опубликованным данным диагностическая точность программно-аппаратного комплекса «Амикард» у пациентов с желудочковыми аритмиями составляет 88,3% и может быть выше 90% при локализации аритмогенного фокуса в выводных отделах правого и левого желудочков [10]. Применение методов поверхностного картирования при ФП является более сложной задачей. В 2015 г. А.Ш. Ревитшвили с соавт. провели мультицентровое исследование по оценке достоверности эндокардиального и неинвазивного эпикардиального картирования, показавшее высокую точность последнего метода [20].

Таким образом, неинвазивное поверхностное картирование сердца позволяет преодолеть ряд ограничений систем инвазивного эндокардиального картирования: (1) минимизация осложнений, ассоциированных с инвазивностью; (2) одномоментная биатриальная электрофизиологическая оценка; (3) анатомические особенности локализации аритмогенного очага (эпи- и эндокардиально, труднодоступные анатомические структуры для диагностического катетера); (4) эпизодические аритмии, возможность картирования за один сердечный цикл.

### **Распространение и характеристика локальных драйверов фибрилляции предсердий**

Поверхностное картирование при диагностике ФП позволяет более детально изучить и понять патогенез данной аритмии, обеспечивая лучший прогноз интервенционного и хирургического лечения.

Предсердные электрические потенциалы, в отличие от желудочковых комплексов, являются низкоамплитудными. В связи с этими особенностями при проведении поверхностного картирования сердца при ФП надо учитывать ряд требований. Так, в анализ электрокардиограмм обязательно должны быть включены последовательные R-R интервалы с паузами  $\geq 1000$  мс, в момент автофокусировки. Для минимизации помех QRST, для анализа отбираются только сегменты T-Q. Для пациентов с выраженной тахикардией, для замедления АВ-проведения, с целью создания адекватного окна проведения вводится дилтиазем.Arteфакты записи в мор-

фологии сигнала убираются на этапе фильтрации электрокардиограмм.

Активационные карты строятся на основании метода, основанном на отклонении униполярных электрокардиограмм ( $-dV/dT_{max}$ ). При глобальной регистрации сердечных сигналов могут быть применены алгоритмы фазовой визуализации, так волновые фронты деполяризации и реполяризации предсердий вычисляются по значениям изофазы, соответствующих  $\pi/2$  и  $-\pi/2$ . Завершающим этапом обработки поверхностного картирования является синхронизация активационной карты с трехмерной моделью предсердий [21].

Таким образом, неинвазивное картирование сердца при персистирующих формах ФП, выполненное перед торакоскопической аблацией или гибридным лечением ФП, на наш взгляд, является перспективным методом диагностики аритмогенного субстрата.

### **Гибридное лечение фибрилляции предсердий**

Совершенно недавно, были разработаны одноэтапные и двухэтапные гибридные подходы в лечении ФП, позволяющие избирательно использовать преимущества как торакоскопической (эпикардиальной), так и катетерной (эндокардиальной) аблаций. Эффективность гибридного лечения ФП по данным нескольких исследований варьирует от 38% до 83% в течение 5-ти летнего периода наблюдения и зависит от общей длительности ФП, формы ФП и приема антиаритмических препаратов [7, 8].

Данные нашего центра показали, что видео-ассистированную торакоскопическую аблацию фибрилляции предсердий следует считать эффективным методом устранения аритмии для пациентов с персистирующей и длительно-персистирующей формой ФП. Свобода от предсердных тахикардий составила 78,0% в отношении персистирующей ФП и 63% при длительно-персистирующей ФП в течение трехлетнего периода наблюдения [8, 22, 23].

В нашем исследовании дополнительные КА через 3 месяца после ТА потребовались 17% пациентам. Перед процедурой эндокардиальной аблации всем пациентам выполнялось высокоплотное картирование ЛП с изучением зон изоляции и зон прорыва возбуждения. Легочные вены были изолированы у всех пациентов, что подтверждает достижение трансмуральности при использовании аблационного биполярного зажима.

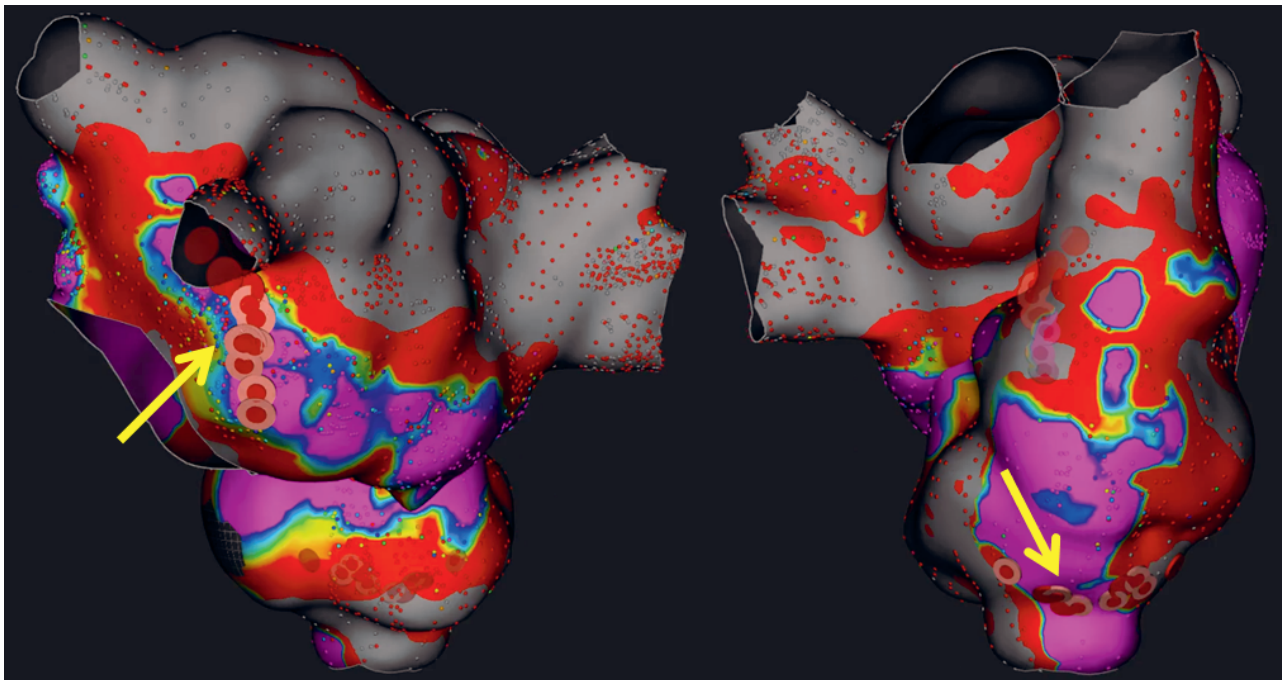
У 9 (9%) пациентов с атипичным ТП зона нестойкой торакоскопической аблации верифицировалась в области верхней линии «Box lesion» крыши ЛП.

Этим пациентам были выполнены эндокар-

диальные линейные абляции между верхними ЛВ. Отмечалось восстановление синусового ритма или смена фронта активации с левопредсердного на правопредсердный.

Перимитральное ТП с верификацией зоны

замедленного проведения по передней стенке ЛП выявлено у 2 (2%) пациентов. Выполнены линейные радиочастотные воздействия от крыши ЛП к митральному истмусу с восстановлением синусового ритма (рис. 2).



**Рисунок 2.** Высокоплотное картирование с дополнительными эндокардиальными абляциями (желтые стрелки) в области митрального истмуса и области кавотрикуспидального истмуса. Впервые опубликовано в [7], воспроизводится с разрешения редакции журнала «Вестник аритмологии».

**Figure 2.** High-density mapping with additional endocardial ablations (yellow arrows) in the mitral isthmus and cavotricuspid isthmus regions. First published in [7], reproduced with permission of the editors of the Journal of Arrhythmology Vestnik.

У 6/17 (35%) пациентов, прошедших дополнительные КА, регистрировались области низкоамплитудной активности всей задней стенки ЛП. Данный фактор может свидетельствовать о выраженном ремоделировании левого предсердия с фибротическими изменениями миокарда ЛП у пациентов с персистирующими и длительно-персистирующими формами ФП.

У двух пациентов регистрировалось типичное трепетание предсердий, в связи с этим была выполнена радиочастотная КА кавотрикуспидального истмуса (КТИ), с успешным восстановлением синусового ритма.

Эффективность этапного лечения ФП составила 100% в течение 3 месяцев после выполнения второго этапа (катетерной абляции). В отдаленном периоде наблюдения (через 3 года после дополнительной КА) эффективность двухэтапного лечения непароксизмальных форм ФП составила 86,9%. Таким образом, следует рассмотреть возможность этапного подхода, как метод выбора, для лечения персистирующих и длительно-персистирующих форм ФП [8].

Важным преимуществом ТА является возможность ампутации ушка левого предсердия. Сегодня не существует единого мнения в отно-

шении оптимальной профилактики тромбоэмболических событий у пациентов с ФП. Однако доказано, что до 90-95% всех тромбов у больных с неклапанной ФП формируется в ушке ЛП. В связи, с чем огромное клиническое значение имеет окклюзия или ампутация ушка ЛП [22, 23].

В нашем центре предпочтение отдается эндоскопическому режуще-сшивающему аппарату, который хорошо зарекомендовал себя при проведении торакоскопической абляции. Ампутация ушка ЛП была выполнена в 100%. Все анастомозы в области культи ушка ЛП были satisfactory [22].

Торакоскопическая абляция в сочетании с ампутацией ушка левого предсердия существенно снижает риски тромбоэмболических осложнений. Данный метод имеет простой и безопасный подход, ни у одного из наших пациентов в отдаленном периоде наблюдения не зарегистрированы события MACE [29, 30].

Таким образом, к преимуществам гибридного и этапного лечения ФП можно отнести: (1) возможность интраоперационного или на втором этапе операции подтверждение блокады проведения вследствие выполнения ЭФИ; (2) возможность использования высокоплотного картирова-

ния для подтверждения зон низкоамплитудной активности; (3) повышение эффективности и качества выполнения эпикардиальных абляций, надежность достижения трансмуральности; (4) выполнение дополнительных эндокардиальных абляций к кольцу митрального клапана и линии КТИ, что малоэффективно со стороны эпикарда; (5) снижение частоты больших и малых осложнений.

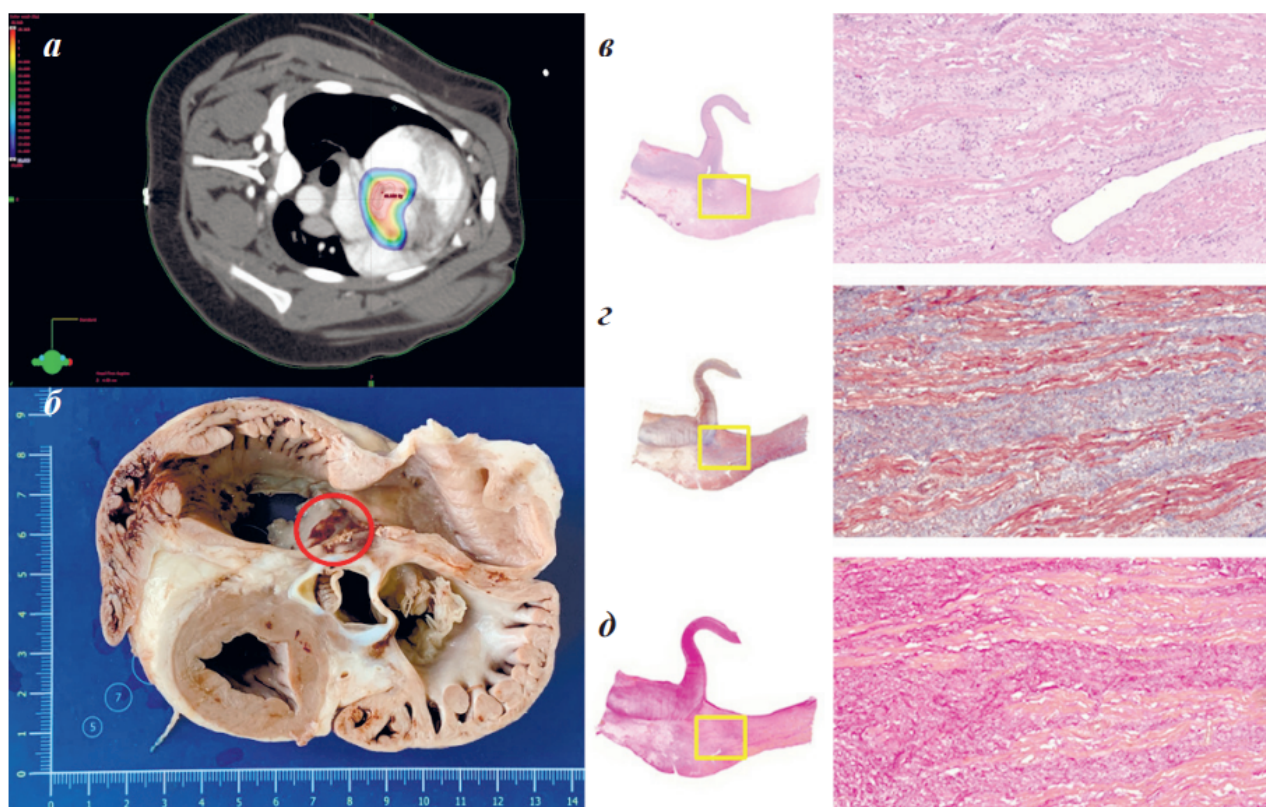
### Опыт неинвазивной стереотаксической радиоабляции тахиаритмий

Стереотаксическая лучевая терапия (Stereotactic ablative radiotherapy, SABR) была впервые представлена нейрохирургом Lars Leksell в 1950-х годах как неинвазивный метод лечения недоступных поражений в глубине головного мозга [24].

Представленные две экспериментальные модели на животных [25, 26] продемонстриро-

вали, что SABR сердца осуществима, вызывает электрофизиологические эффекты за счет образования рубцовых изменений в миокарде. Всё это заложило фундамент для начала клинических испытаний в лечении сложных симптоматических тахиаритмий.

Впервые в нашей стране, специалистами из ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России и ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России были проведены исследования о возможности применения SABR при лечении сердечных аритмий. Первоначально отечественными учёными были представлены данные в эксперименте на животных [17]. При гистологическом анализе образцов сердец выявлено, что устойчивое морфологическое повреждение было достигнуто при всех примененных дозах облучения (рис. 3).



**Рисунок 3.** Дозовое распределение в «мишени» (атриовентрикулярный узел) и прилегающих тканях на серии компьютерных томограмм сердца свиньи с контрастным усилением в аксиальной проекции в системе планирования лечения (а). Макропрепарат сердца свиньи, красной окружностью отмечена зона повреждения радиоабляции (б). Микропрепарат (увеличение 40-200) с окраской гематоксилином-эозином (в), трихромом по Массону (г) и пикрофуксином по ван Гизону (д) области атриовентрикулярного узла после выполнения радиоабляции. Впервые опубликовано в [17], воспроизводится с разрешения редакции журнала «Вестник аритмологии».

**Figure 3.** Dose distribution in the 'target' (atrioventricular node) and adjacent tissues on a series of contrast-enhanced computed tomograms of the pig heart in axial projection in a treatment planning system (a). Macro preparation of pig heart, red circle indicates the area of radioablation damage (b). Micro preparation (magnification 40-200) with haematoxylin-eosin (c), Masson trichrome (d) and van Gieson picrofuchsin (e) staining of the atrioventricular node area after radioablation. First published in [17], reproduced with permission of the editors of the Journal of Arrhythmology Vestnik.

Объемы лучевого поражения тканей сердца, анализируемые при аутопсии, положительно коррелировали с распределением дозы вокруг целевого объема повреждения [17]. Таким образом, полученные результаты, аналогичны данным ранее опубликованных работ Sharma A. [25] и Lehmann H.I. [26], что позволило начать клинические испытания в нашей стране.

Первое лечение сердечной аритмии у человека с использованием SABR было выполнено в 2014 году, группой ученых из Стэнфордского университета. С помощью терапии SABR была успешно пролечена лекарственно-резистентная желудочковая тахикардия (ЖТ), целевая зона воздействия была определена с применением систем поверхностного неинвазивного картирования. Мониторирование ИКД показало снижение среднего числа эпизодов с 562 до 52 в течение 9 месяцев наблюдения после SABR [27].

В июле 2014 года группа ученых во главе с Sveik J.N.R. сообщила о втором успешном клиническом наблюдении. Они описали успешное лечение непрерывно рецидивирующей ЖТ. В течение 120 дней после лечения, на ИКД не было зарегистрировано ни одного эпизода ЖТ [28].

Результаты проспективного исследования STARNL-1 [29] отражают данные эффективности и безопасности неинвазивной радиоабляции сердца при ЖТ. После выполнения SABR ЖТ не было зарегистрировано ни у одного пациента.

В нашей стране первый успешный опыт SABR для устранения ЖТ был представлен нами в 2022 году [14].

Первая серия наблюдений о применении STAR для лечения ФП представлена в исследовании LINAC-STAR [30], в которое были включены 11 пациентов старше 70-ти лет. В данной работе были представлены следующие выводы о применении STAR на устья легочных вен: (1) отсутствие острой токсичности; (2) сохранение устойчивого синусового ритма; (3) отмена антиаритмической терапии всем пациентам после процедуры STAR. В исследовании LINAC-STAR была направлена исключительно на устья ЛВ. Осложнений не было зарегистрировано ни у одного пациента. Особое внимание уделялось

области ridge между левыми ЛВ и ушком левого предсердия (область повышенного аритмогенеза).

Стереотаксическая абляционная терапия может стать перспективным неинвазивным методом лечения устойчивых форм ФП. На сегодняшний день, не существует доказательств, позволяющих поддерживать или отрицать рутинное использование SABR для лечения ФП. Требуется проведение более масштабных клинических испытаний с включением большего числа пациентов.

## Заключение

Интеграция новых систем картирования должна в будущем увеличить точность диагностики эктопического очага различных желудочковых и предсердных аритмий. Перспективной будущего лечения ФП следует считать поверхностное картирование всех камер сердца с последующим выполнением неинвазивной стереотаксической лучевой терапии, способных обеспечить минимальные риски осложнений и достигнуть в ближайшем будущем эффективности сопоставимой с классической процедурой «Cox-Maze».

Стереотаксическая радиоабляция - это широко доступная технология, которая потенциально может стать неинвазивной альтернативой лучевой терапией сложных форм ФП. Внедрение в клиническую практику этого неизбежно масштабируемого подхода зависит от дальнейших исследований по определению оптимальной клинической дозировки, процедурной эффективности и долгосрочной безопасности. И если получится решить данную проблему, хотя бы для определенного вида тахиаритмий, то это будет прорыв в медицине.

## Конфликт интересов:

Е.Д. Стребкова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Е.А. Артюхина заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Ш. Ревившвили заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Финансирование:

Авторы заявляют об отсутствии финансирования статьи.

## Информация об авторах

Стребкова Елизавета Дмитриевна, научный сотрудник отделения электрофизиологических рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения аритмий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; аспирант по специальности «сердеч-

## Author Information Form

Strebkova Elizaveta D., Researcher at the Department of Electrophysiological and Endovascular Image-guided Methods of Diagnosis and Treatment of Arrhythmias, Federal State Budgetary Educational Institution "A.V. Vishnevskiy National Medical Research Center of Surgery" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; Postgraduate Student, Department of Angiology, Cardiovascular, Endovascular Surgery and Arrhythmology named

но-сосудистая хирургия» кафедры ангиологии, сердечно-сосудистой, эндоваскулярной хирургии и аритмологии имени академика А.В. Покровского федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-5837-7255

*Артюхина Елена Александровна*, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отделения электрофизиологических рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения аритмий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; профессор кафедры ангиологии, сердечно-сосудистой, эндоваскулярной хирургии и аритмологии имени академика А.В. Покровского федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-7065-0250

*Ревишвили Амиран Шотаевич*, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; заведующий кафедрой ангиологии, сердечно-сосудистой, эндоваскулярной хирургии и аритмологии имени академика А.В. Покровского федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-1791-9163

after Academician A.V. Pokrovsky, Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-5837-7255

*Artyukhina Elena A.*, PhD, Professor, Head of the Department of Electrophysiological and Endovascular Image-guided Methods of Diagnosis and Treatment of Arrhythmias, Federal State Budgetary Educational Institution “A.V. Vishnevskiy National Medical Research Center of Surgery” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; Professor at the Department of Angiology, Cardiovascular, Endovascular Surgery and Arrhythmology named after Academician A.V. Pokrovsky, Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-7065-0250

*Revishvili Amiran S.*, Academician of the Russian Academy of Sciences, PhD, Professor, Director of the Federal State Budgetary Educational Institution “A.V. Vishnevskiy National Medical Research Center of Surgery” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; Head of the Department of Angiology, Cardiovascular, Endovascular Surgery and Arrhythmology named after Academician A.V. Pokrovsky, Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-1791-9163

### **Вклад авторов**

*Стребкова Елизавета Дмитриевна* – обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, подготовка и редактирование текста

*Артюхина Елена Александровна* – ответственность за целостность всех частей статьи

*Ревишвили Амиран Шотаевич* – утверждение окончательного варианта статьи

### **Литература**

1. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, et al. Рекомендации ESC 2020 по диагностике и лечению пациентов с фибрилляцией предсердий, разработанные совместно с Европейской ассоциацией

кардиоторакальной хирургии (EACTS). Российский кардиологический журнал. 2021;26(9): 4701 [Hindricks 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 of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Rus Card J.* 2021; 42: 373-498. (In Russ.)).

<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa945>.

2. Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke.* 2021;16(2): 217-221. <https://doi.org/10.1177/1747493019897870>

3. Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A, et al. Heart disease and stroke Statistics-2019 update: A report from the American Heart Association. *Circulation.* 2019;139: 56-528. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000659>.

4. Je HG, Shuman DJ, Ad N. A systematic review of minimally invasive surgical treatment for atrial fibrillation: a comparison of the Cox-Maze procedure, beating-heart epicardial ablation, and the hybrid procedure on safety and efficacy. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2015;48(4): 531-40. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu536>.

5. Haïssaguerre M, Jaïs P, Shah DC, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med.* 1998;339: 659-666.

<https://doi.org/10.1056/NEJM199809033391003>.

6. Wesselink R, Neefs J, van den Berg NWE, et al. Does left atrial epicardial conduction time reflect atrial fibrosis and the risk of atrial fibrillation recurrence after thoracoscopic ablation? Post hoc analysis of the AFACT trial. *BMJ Open.* 2022;12(3): 056829.

<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056829>.

7. Ревешвили АШ, Стребкова ЕД, Артюхина ЕА, Малышенко ЕС, Новиков МА, Кадырова М. Эффективность торакоскопического лечения непароксизмальных форм фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии.* 2023;30(3): 23-31. [Revishvili AS, Strebkova ED, Artyukhina EA, Malishenko ES, Novikov MA, Kadirova M. The effectiveness of thoracoscopic treatment of non-paroxysmal atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology.* 2023;30(3): 23-31. (In Russ.)). <https://doi.org/10.35336/VA-1160>.

8. Стребкова ЕД, Ревешвили АШ, Малышенко ЕС, и др. Отдаленные результаты торакоскопического лечения фибрилляции предсердий. *Вестник аритмологии.* 2023;30(2):59-69. [Strebkova ED, Revishvili AS, Malishenko ES, Artyukhina EA, Popov VA, Novikov M, et al. Long-term outcomes of thoracoscopic ablation for atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology* (In Russ.)) <https://doi.org/10.35336/VA-2023-2-08>.

9. Ревешвили АШ, Фетисова ЕА, Калинин ВВ, Калинин АВ, Чайковская МК, Миронович СА и др. Электрофизиологические механизмы прекращения фибрилляции предсердий: новое понимание, полученное на основе неинвазивного фазового картирования. *Вестник аритмологии.* 2017;(88):5-12. [Revishvili AS, Fetisova EA, Kalinin VV, Kalinin AV, Chaikovskaya MK, Mironovich SA, et al. Electrophysiological mechanisms underlying termination of atrial fibrillation: insights gained

from non-invasive phase mapping. *Journal of Arrhythmology.* 2017;(88):5-12. (In Russ.)).

10. Ревешвили АШ, Калинин ВВ, Калинин АВ, и др. Неинвазивная диагностика и результаты интервенционного лечения аритмий сердца с использованием новой системы неинвазивного поверхностного картирования «Амикард 01к». *Анналы аритмологии.* 2012;(3):40-47.

11. Хлынин МС, Баталов РЕ, Киселев НВ, и др. Развитие неинвазивной топической диагностики нарушений ритма сердца. *Сибирский медицинский журнал.* 2019;34(2):9-20. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-2-9-20>.

12. Wolf RK, Schneeberger EW, Osterday R, et al. Video-assisted bilateral pulmonary vein isolation and left atrial appendage exclusion for atrial fibrillation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005;130: 797-802. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.03.041>.

13. van Laar C, Kelder J, van Putte BP. The totally thoracoscopic maze procedure for the treatment of atrial fibrillation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;24: 102-111. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw311>.

14. Ревешвили АШ, Васковский ВА, Артюхина ЕА, Таймасова ИА, Голанов АВ, Антипина НА, и др. Применение стереотаксической радиоабляции в клинической практике для лечения пациента с желудочковой тахикардией: клиническое наблюдение. *Вестник аритмологии.* 2022;29(4):66-72. [Revishvili AS, Vaskovsky VA, Artyukhina EA, Taymasova IA, Golanov AV, Antipina NA, Nikolayeva AA, et al. Stereotactic radioablation in clinical practice for the treatment of a patient with ventricular tachycardia: case report. *Journal of Arrhythmology.* 2022;29(4):66-72 (In Russ.)) <https://doi.org/10.35336/VA-2022-4-10>.

15. Revishvili AS, Wissner E, Lebedev DS, Lemes C, Deiss S, Metzner A, et al. Validation of the mapping accuracy of a novel non-invasive epicardial and endocardial electrophysiology system. *Europace.* 2015;17(8):1282-8. <https://doi.org/10.1093/europace/euu339>.

16. Parreira L, Tsyganov A, Artyukhina E, Vernoooy K, Tondo C, Adragao P, et al. Non-invasive three-dimensional electrical activation mapping to predict cardiac resynchronization therapy response: site of latest left ventricular activation relative to pacing site. *Europace.* 2023;25(4):1458-1466. <https://doi.org/10.1093/europace/euad041>.

17. Васковский ВА, Таймасова ИА, Калинин ДВ, Антипина НА, Николаева АА, Смирнов ГЮ, и др. Применение стереотаксической радиохирургии в эксперименте на крупных животных для проведения неинвазивных вмешательств в аритмологии. *Вестник аритмологии.* 2021;28(1): 5-13. [Vaskovskiy VA, Taymasova IA, Kalinin DV, Antipina NA, Nikolaeva AA, Smirnov GY, Golanov AV, Potapov AA, Revishvili AS. Experimental use of stereotactic radiosurgery for non-invasive interventions in arrhythmology. *Journal of Arrhythmology.* 2021;28(1): 5-13. (In Russ.)) <https://doi.org/10.35336/VA-2021-1-5-13>.

18. Moher D, Altman DG, Liberati A, Tetzlaff J. PRISMA statement. *Epidemiology*. 2011;22(1):128; author reply 128. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fe7825>.
19. Артюхина ЕА, Яшков МВ, Ревিশвили АШ. Неинвазивное электрофизиологическое картирование сердца: от разработок к практике. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2020;24(4):33-41. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-33-41>.
20. Revishvili AS, Wissner E, Lebedev DS, Lemes C, Deiss S, Metzner A, et al. Validation of the mapping accuracy of a novel noninvasive epicardial and endocardial electrophysiology system. *Europace*. 2015;17(8):1282-1288. <https://doi.org/10.1093/europace/euu339>.
21. Knecht S, Sohal M, Deisenhofer I, Albenque JP, Arentz T, Neumann T, et al. Multicentre evaluation of non-invasive biatrial mapping for persistent atrial fibrillation ablation: the AFACART study. *Europace*. 2017;19(8):1302-1309. <https://doi.org/10.1093/europace/euw168>.
22. Ревিশвили АШ, Кадырова М, Стребкова ЕД, Малышенко ЕС, Новиков МА, Ялова ЕВ, и др. Ампутиация ушка левого предсердия с использованием эндостеплера при торакоскопической абляции фибрилляции предсердий. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2023;12(1):58-71. [Revishvili AS, Kadirova M, Strebkova ED, Malishenko ES, Novikov MA, Yalova EV, et al. Left atrial appendage exclusion using a stapler with thoracoscopic ablation of atrial fibrillation. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023;12(1):58-71. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-1-58-71>.
23. Ревিশвили АШ, Артюхина ЕА, Стребкова ЕД, Малышенко ЕС, Кадырова М. Эволюция торакоскопического лечения фибрилляции предсердий: от становления до современного этапа. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2023;12(2):107-121. [Revishvili AS, Artyukhina EA, Strebkova ED, Malyschenko ES, Kadyrova M. Evolution of thoracoscopic treatment of atrial fibrillation: from inception to contemporary approaches. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023;12(2):107-121. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-2-107-121>.
24. Leksell L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand*. 1951;102:316-9.
25. Sharma A, Wong D, Weidlich G et al. Noninvasive stereotactic radiosurgery (cyberheart) for creation of ablation lesions in the atrium. *Heart Rhythm*. 2010; 7: 802-810. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2010.02.010>.
26. Lehmann HI, Graeff C, Simoniello P et al. Feasibility study on cardiac arrhythmia ablation using high-energy heavy ion beams. *Sci Rep*. 2016; 6: 38895. <https://doi.org/10.1038/srep38895>.
27. Loo Jr BW, Soltys SG, Wang L et al. Stereotactic ablative radiotherapy for the treatment of refractory cardiac ventricular arrhythmia. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2015; 8: 748-750. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.002765>.
28. Cvek JNR, Knybel L et al. Cardiac radiosurgery for malignant ventricular tachycardia. *Cureus*. 2014;6(7): e190. <https://doi.org/10.7759/cureus.190>.
29. van der Ree MH, Dieleman EMT, Visser J, Planken RN, Boekholdt SM, de Bruin-Bon RHA, et al. Non-invasive stereotactic arrhythmia radiotherapy for ventricular tachycardia: results of the prospective STARNL-1 trial. *Europace*. 2023;25(3):1015-1024. <https://doi.org/10.1093/europace/euad020>.
30. Di Monaco A, Gregucci F, Bonaparte I, Troisi F, Surgo A, Di Molfetta D, et al. Paroxysmal Atrial Fibrillation in Elderly: Worldwide Preliminary Data of LINAC-Based Stereotactic Arrhythmia Radioablation Prospective Phase II Trial. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:832446. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.832446>.