

© Коллектив авторов, 2021

УДК 616.125.2-089.168

Г.А. Аванесян ✉, **А.А. Сапарбаев**, **А.Г. Филатов**, **А.С. Ковалев**, **Р.З. Шалов**

Абляция импульсным полем в лечении фибрилляции предсердий

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

✉ **Аванесян Грайр Араратович**, аспирант; orcid.org/0000-0001-5367-8382, e-mail: grair707@mail.ru

Сапарбаев Айдин Акматбекович, мл. науч. сотр.; orcid.org/0000-0002-2478-501X

Филатов Андрей Геннадьевич, д-р мед. наук, заведующий отделением; orcid.org/0000-0002-7026-7814

Ковалев Алексей Сергеевич, канд. мед. наук, науч. сотр.; orcid.org/0000-0002-3420-7814

Шалов Руслан Замирович, мл. науч. сотр.; orcid.org/0000-0002-4403-2536

Резюме

С момента появления катетерной абляции данная методика стала «золотым стандартом» в лечении фибрилляции предсердий (ФП). На сегодняшний день изоляция легочных вен считается методом выбора при лечении разных форм ФП, которая доказала свою эффективность большим количеством исследований и рутинно используется по сей день по всему миру. Для данных процедур наиболее часто используется два источника энергии: радиочастотная и криотермальная, которые уже доказали одинаковую эффективность при лечении ФП. Их механизм основывается на деструкции ткани миокарда путем замораживания или нагрева ткани. Данные методики считаются достаточно безопасными, однако все равно остаются риски возможных осложнений. Учитывая бурное развитие современных технологий в медицине, идет поиск альтернативных методов лечения ФП, которая может уменьшить возможные осложнения и одновременно эффективно лечить ФП. На сегодняшний день одним из таковых может стать абляция импульсным полем (АИП). Это новый, многообещающий метод лечения ФП. При АИП используется нетепловая энергия для деструкции тканей миокарда. АИП использует серию высокоамплитудных электрических импульсов, длительностью в микросекунды, которые повреждают только клетки миокарда, создавая микроскопические поры в мембране, что в конечном итоге приводит к гибели клетки.

Ключевые слова: абляция импульсным полем, фибрилляция предсердий, деструкция тканей миокарда, электропорация

Для цитирования: Аванесян Г.А., Сапарбаев А.А., Филатов А.Г., Ковалев А.С., Шалов Р.З. Абляция импульсным полем в лечении фибрилляции предсердий. *Креативная кардиология*. 2021; 15 (3): 332–41. DOI: 10.24022/1997-3187-2021-15-3-332-341

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 26.04.2021

Поступила после доработки 16.08.2021

Принята к печати 28.08.2021

Г.А. Avanesyan ✉, **A.A. Saparbaev**, **A.G. Filatov**, **A.S. Kovalev**, **R.Z. Shalov**

Pulsed field ablation in the treatment of atrial fibrillation

Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russian Federation

✉ **Grayr A. Avanesyan**, Postgraduate; orcid.org/0000-0001-5367-8382, e-mail: grair707@mail.ru

Aydin A. Saparbaev, Junior Researcher; orcid.org/0000-0002-2478-501X

Andrey G. Filatov, Dr. Med. Sci., Head of Department; orcid.org/0000-0002-7026-7814

Aleksey S. Kovalev, Cand. Med. Sci., Researcher; orcid.org/0000-0002-3420-7814

Ruslan Z. Shalov, Junior Researcher; orcid.org/0000-0002-4403-2536

Abstract

Since the advent of catheter ablation, the technique has become the gold standard in the treatment of atrial fibrillation (AF). Today, the method of choice is used in the treatment of various forms of AF. The most commonly used energy sources for procedures are radiofrequency and cryothermal, which have already proven equally effective in the treatment of AF. Their mechanism is based on the destruction of myocardial tissue by freezing or tissue systems. These techniques are considered safe, but there are still risks. Using the rapid development of modern technologies in medicine, there is a search for alternative methods of treatment of AF, which can reduce complications and at the same time treat AF. Today, one of these can be pulsed field ablation (PFA). This is a new, promising method of treating AF. In PFA non-thermal energy is used for the destruction of myocardial tissues. PFA uses a series of high-amplitude electrical pulses, lasting microseconds, which damage only the myocardial cells, creating microscopic pores in the membrane, which ultimately leads to cell death.

Keywords: pulsed field ablation, atrial fibrillation, destruction of myocardial tissues, electroporation

For citation: Avanesyan G.A., Saparbaev A.A., Filatov A.G., Kovalev A.S., Shalov R.Z. Pulsed field ablation in the treatment of atrial fibrillation. *Creative Cardiology*. 2021; 15 (3): 332–41 (in Russ.). DOI: 10.24022/1997-3187-2021-15-3-332-341

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received April 26, 2021
Revised August 16, 2021
Accepted August 28, 2021

Введение

С момента появления катетерной аблации данная методика стала «золотым стандартом» в лечении фибрилляции предсердий (ФП). На сегодняшний день катетерная изоляция легочных вен считается методом выбора при лечении разных форм ФП, которая доказала свою эффективность большим количеством исследований и рутинно используется по сей день по всему миру [1–2]. Для изоляции легочных вен наиболее часто используется два источника энергии: радиочастотная и криотермальная. Оба эти источника доказали одинаковую эффективность при лечении ФП. Их механизм основывается на деструкции ткани миокарда путем замораживания ткани или, наоборот, путем нагрева [3–4]. Общим признаком для всех тепловых энергий является их склонность к деструкции всех близлежащих тканей, так как данные источники энергии не обладает какой-либо тропностью к тканям. Поэтому современные методики хоть и считаются достаточно безопасными, имеют риски возможных осложнений, таких как стеноз легочных вен, паралич диафрагмального нерва, тампонада сердца и наиболее грозное осложнение – предсердно-пищеводный свищ [5]. Учитывая бурное развитие современных

технологий в медицине, идет поиск альтернативных методов лечения ФП, которые могут уменьшить возможные осложнения и одновременно эффективно лечить ФП [6].

На сегодняшний день аблация импульсным полем (АИП) – это новый, многообещающий метод лечения ФП. При АИП используется нетепловая энергия для деструкции тканей миокарда [7]. Она использует серию высокоамплитудных электрических импульсов длительностью в микросекунды, которые повреждают клетки миокарда, создавая микроскопические поры в мембране, что в конечном итоге приводит к гибели клетки. АИП сегодня широко применяется в онкологии при лечении опухолей больших размеров [8]. Однако исследования выявили, что данная энергия также имеет высокую специфичность к кардиомиоцитам по сравнению с другими тканями организма. Высокая чувствительность миокарда потенциально может ограничить деструкцию нецелевых тканей во время изоляции легочных вен [9]. В свою очередь это может привести к широкому терапевтическому диапазону и улучшению профиля безопасности в лечении ФП. Эффективная изоляция легочных вен может быть достигнута в течение нескольких секунд, что позволяет сократить время процедуры при АИП. Эта

привлекательная новая технология обещает стать главным достижением в области лечения ФП [10].

Биофизика АИП

Абляция импульсным полем использует высоковольтные электрические поля, применяемые в непосредственной близости к целевым тканям, чтобы создать деструкцию. Это приводит к необратимой форме электропорации клетки, вызывая повышенную проницаемость плазматической мембраны за счет образования пор в липидном бислое [11]. В зависимости от напряжения электрического поля на клеточную мембрану электропорация может быть обратимой или необратимой. Если поры, образованные в клеточной мембране после воздействия, способны к обратному восстановлению, то клетка выживает. Данный механизм называется «обратимой электропорацией» [12]. Обратимая электропорация сегодня используется в генетике для введения генов в клетку, а также для введения непроницаемых лекарственных препаратов в опухолевые ткани [13].

Если поры, образующиеся в клеточной мембране, не способны восстановиться после воздействия электрическим полем, то это называется «необратимой электропорацией» [14]. Она приводит к гомеостатическим изменениям и гибели клеток в результате индуцированного апоптоза за счет инактивации мембранных белков. Этот механизм был первоначально использован для бактерицидного действия при стерилизации и впоследствии для абляции неопластической ткани [15].

Параметры АИП

Создание высоковольтного электрического поля на ткани является технически сложной задачей. Генератор АИП содержит высоковольтный конденсатор, способный подавать энергию с контролируемыми переменными характеристиками напряжения и длительности импульса тока [16]. Параметры, управляемые генератором

АИП, включают пиковое подаваемое напряжение (от сотен до тысяч вольт), форму и наклон волны, длительность импульса (от наносекунд до миллисекунд), фазность (моно- или бифазная), межфазную задержку, межимпульсную задержку, общее число импульсов (от одного до сотен) и число последовательностей импульсов [17]. Стандартные диапазоны параметров генератора включают подаваемое напряжение 500–3000 В/см, подаваемые импульсные волны от 1 до 100, с частотным диапазоном 1–5 Гц. Импульсы могут подаваться в монофазном или двухфазном формате, а формы сигналов могут быть изменены с учетом спада напряжения. Двухфазные импульсы могут подаваться асимметричным образом, так увеличивается глубина поражения ткани. Увеличение титра подаваемого напряжения, длительности импульса и количество подаваемых импульсов приводит к увеличению электрического поля и к последующему разрушению тканей [18].

Методы термической абляции требуют от нескольких секунд до нескольких минут воздействия для достижения качественного повреждения ткани. Напротив, желаемый эффект от АИП почти мгновенный. Однократная доставка импульса осуществляется в течение одного сокращения сердца, и обычно деструкция достигается 3–4 воздействиями. Таким образом, для изоляции вен может потребоваться 4 сокращения сердца [19].

Гистологическое исследование при АИП

В нескольких исследованиях сравнили гистологические повреждения, создаваемые АИП и радиочастотной абляцией (РЧА). В отличие от тканевого повреждения при радиочастотном воздействии, повреждения от АИП не вызывают коагуляционного некроза. Легочные вены, подверженные необратимой электропорации, окружены здоровой миокардиальной тканью, в то время как РЧА легочных вен приводит к образованию рубцовой ткани [20].

Абляция импульсным полем приводила к более гомогенному фиброзу без нарушения эндокарда, несколько затяжных секвестрированных миоцитов и минимальное предсердное ремоделирование по сравнению с РЧА воздействием [21]. Также АИП не приводила к эпикардиальному жировому воспалению, к медиальной гиперплазии, тромбозу в отличие от РЧА. Поражение от АИП по сравнению с РЧА не продемонстрировало никаких признаков шадящего воздействия миокарда на крупные артерии вследствие конвективного охлаждения. Оба источника энергии показали отсутствие эндокардиального тромбообразования. После АИП отмечается резкая демаркация пораженной ткани, и отчетливо видны резко очерченные границы абляционного воздействия [22]. Одним из главных преимуществ данной методики является отсутствие поражения близлежащих тканей и органов. Высокая тропность к кардиомиоцитам данной методики исключает возможное повреждение пищевода и диафрагмального нерва. Локальное и эффективное повреждение целевой ткани увеличивает эффективность и безопасность процедуры [23].

Тканевая специфичность электропорации

Отдельные ткани обладают уникальной чувствительностью к определенным напряжениям электрических полей. Импульсная полевая абляция может позволить увеличить безопасность воздействия на легочные вены, что связано с более высокой тропностью и чувствительностью миокарда на АИП. Кардиомиоциты имеют более низкое пороговое значение жизнеспособности при АИП по сравнению с другими клеточными тканями, причем достоверная деструкция кардиомиоцитов происходит при интенсивности полевых импульсов выше 375 В/см. Различные сердечные структуры имеют разную чувствительность к электропорации, причем желудочковый эндокард более восприимчив,

чем эпикард. Точный механизм того, почему сердечная ткань более чувствительна к АИП, до конца не изучен, но может быть связан с размером клеток, ориентацией, характеристиками мембран и чувствительностью к неспецифическому поступлению катионов [24].

Электрофизиология

Непосредственный эффект АИП заключается в разрушении мембраны сарколеммы, что приводит к блокированию проводимости в сердечной ткани и ее электрической изоляции. Исследования показали, что необратимая электропорация приводит к снижению электрического потенциала легочной вены, а также к эффективной деструкции ганглионарного сплетения после эпикардиальной АИП. В исследовании М.Т. Stewart амплитуды локальных электрограмм, регистрируемых с биполярного абляционного электрода, были достоверно снижены менее чем до 0,5 мВ ($p < 0,001$). Кроме того, после АИП отмечается отсутствие стимуляционного захвата ткани на 100%, против 92,0% после применения РЧА ($p = 0,005$) [25].

Контактная зависимость

Для методов термической абляции необходим контакт ткани с катетером, что имеет ключевое значение для достижения адекватного размера поражения и предполагаемого эффекта. Недостаточный контакт и возникающее в результате этого неполное образование трансмурального поражения часто являются одной из причин рецидива ФП после абляции. В отличие от термических воздействий, воздействия на ткани при АИП являются не контактно зависимыми, поскольку они являются результатом создаваемого электрического поля. Этот эффект называется зависимостью напряженности электрического поля, что является результатом расстояния и области на которое подается напряжение. Увеличение приложенного напряжения приведет к усилению воздействия на ткань.

Создание электрического поля, а не контактно-зависимых поражений является привлекательной альтернативой для абляции легочных вен [26].

Конструкция катетера

Конфигурация электрода играет критическую роль в производстве электрического поля и влиянии ткани. Было описано несколько конструкций электродов: игольчатые, эпикардиальные линейные, эндокардиальные баллонные, решетчатые и круговые катетеры. На сегодняшний день наиболее изучены игольчатые и решетчатые катетеры. Игольчатый катетер размером 12 F для АИП (Farawave, Farapulse) имеет 5 шлицев, каждый из которых содержит 4 электрода. Его можно развернуть в форме лепестка цветка (см. рисунок). При полном раскрытии в позу цветка диаметр дистальной части составляет 31 мм. Когда катетер продвигается по проводнику, так что шлице достигают кругового контакта с антральным отделом левого предсердия (ЛП). Абляционная энергия передается со всех электродов; третий электрод на каждом шлице также может записывать электрограммы. Электрическое поле может быть сформировано униполяр-



Мультиэлектродный катетер для абляции в импульсном поле, развернутый в форме цветка
Multielectrode catheter for ablation in a pulsed field, deployed in the flower form

ным способом, подаваемым током между электродом и дисперсионным электродом, помещенным на кожу. В то время как биполярная доставка, поставляемая между локальными электродами, может ограничивать электрическое поле, что приводит к более фокальному эффекту, и это вызывает минимальный дистальный полевой эффект [27].

Уникальностью данного катетера является то, что к нему прилагается навигационная система для построения электроанатомической карты сердца, два генератора, которые позволяют переключаться между РЧА и АИП без удаления катетера или переключения кабелей. Каждый мини-электрод включает в себя датчик температуры для РЧА с регулируемой температурой, орошаемой физиологическим раствором. Физиологический раствор равномерно распыляется из защищенной ирригационной насадки в центре с микропорами со скоростью 4 или 15 мл/мин во время картирования или во время доставки радиочастотной энергии. Применение радиочастотной энергии возможно с продолжительностью 3–70 с, с целевой температурой поверхности 45–75 °С. Катетер с решетчатым наконечником может подавать двухфазную волну импульсного поля, генерируемую генератором [28].

Формы сигналов АИП могут состоять из серии импульсов микросекундного масштаба, подаваемых в течение 3–5 с, с общим током 24–32 А. Во время АИП орошение физиологическим раствором происходит со скоростью 15–30 мл/мин [28].

Экспериментальные исследования

J. Koruth et al. провели сравнительное исследование с использованием АИП и РЧА на экспериментальных свиньях. 7 свиньям провели изоляцию легочных вен (ЛВ) и верхней полой вены (ВПВ) с помощью пульсовой абляции, 3 свиньям – с помощью РЧА. Далее через 10 нед провели гистологическое исследование. Все целевые вены были успешно изолированы. Со-

хранность изоляции ЛВ была значительно выше в группе с АИП. Стенозирование легочных вен было выявлено только в когорте с РЧА. В гистологической картине в группе с АИП была четко видна демаркационная линия поражения ткани из организованного гомогенного фиброза, замещающий миокард. Гистологические картины, такие как трансмуральность и толщина повреждения, были без статистически значимых различий. В группе с РЧА зоны поражения ткани были неорганизованными и гетерогенными и по сравнению с АИП отмечалось большая инфильтрация мононуклеарных клеток, что свидетельствует о выраженной воспалительной реакции. В когорте с АИП нервные клетки вокруг ВПВ были без признаков повреждения, в то время как в группе с РЧА были выявлены зоны с выраженным поражением нервных клеток [29].

В другом экспериментальном исследовании V.Y. Reddy et al. провели сравнительную оценку повреждения пищевода при изоляции легочных с помощью АИП и РЧА, где 6 животным в области проекции пищевода со стороны ЛП выполнена АИП, 4 животным – РЧА. В результате гистологического исследования пищевода в группе с АИП не было выявлено повреждение пищевода. Напротив, в группе с РЧА у всех животных 100% отмечалось повреждение пищевода $p = 0,005$. Длина поражения составила $21,8 \pm 8,9$ мм, ширина $4,9 \pm 1,4$ мм. В одном случае выявлен предсердно-пищеводный свищ и глубокие язвенные поражения. Гистологическое исследование показало некроз тканей, окруженный острым и хроническим воспалением и фиброзом. Некротические поражения РЧА вовлекали несколько слоев ткани пищевода с признаками утолщения артериол и фиброза перизофагеальных нервов. Формирование абсцесса и разрывы стенки пищевода на всю толщину были замечены в области свища [30].

H. Yavin et al. также провели экспериментальное исследование на 25 животных

с использованием решетчатого катетера. Данный катетер имеет возможность переключаться с пульсовой аблации на радиочастотную аблацию. Целью исследования являлась оценка блока проведения в предсердиях, влияние АИП и РЧА на пищевод, диафрагмальный нерв и повреждения непосредственно пищевода при аблации. По результатам гистологического исследования в группе с АИП у всех животных регистрируется 100% блок проведения в предсердиях, трансмуральность повреждения составило 0,4–3,4 мм. Также было выявлено что при АИП избирательно поражаются кардиомиоциты и не затрагиваются кровеносные сосуды и нервная ткань. При проведении АИП по задней стенке предсердий отмечается трансмуральное повреждение кардиомиоцитов без повреждения пищевода. В группе с АИП не было зарегистрировано повреждения диафрагмального нерва, а в группе с РЧА у всех пациентов отмечался паралич диафрагмального нерва [31].

Клинические данные

V.Y. Reddy et al. провели исследование, куда включили 25 пациентов с персистирующей формой ФП. 24 пациентам была проведена изоляция легочных вен (96 из 96 легочных вен), 14 пациентам также была проведена изоляция задней стенки ЛП. Всем пациентам была построена электроанатомическая карта, для верификации изоляции легочных вен и изоляцию задней стенки ЛП. 13 пациентам с трепетанием предсердий (ТП) в анамнезе была проведена аблация кавотрикуспидального истмуса (КТИ). Для АИП были использованы 2 вида катетера: 5- и 4-шлицевый. 5-шлицевый катетер использовали для изоляции легочных вен и задней стенки. Данный катетер позволяет менять свою конфигурацию, его можно использовать в форме корзины при неполном раскрытии и в форме цветка при его полном раскрытии. Также использовали катетеры двух размеров – 31 и 35 мм при полном раскрытии. 4-шлицевый

катетер использовали для аблации КТИ. Его конструкция может приобретать продолговатую и сферическую форму при его максимальном раскрытии с диаметром 17 мм, что является более удобной для аблации КТИ. Среднее общее время процедуры заняло 120 мин (108–166 мин). Всем пациентам до и после процедуры выполнена компьютерная томография ЛП, по результатам которой ни у одного пациента не выявлено стеноза легочных вен, повреждения стенки ЛП и пищевода после процедуры. Возможных осложнений, связанных с АИП, таких как тампонада сердца и парез диафрагмального нерва, не наблюдалось. Всем пациентам дополнительно проведено эзофагогастроскопия, на которой не выявили повреждение пищевода после АИП [32].

Через 82 дня 14 пациентам из 24, которым выполнялась аблация задней стенки ЛП, было выполнено повторное инвазивное построение электроанатомической карты ЛП. 52 легочных вены из 56 (93%) имели стойкую изоляцию. В ЛВ, где отмечался прорывы электрического импульса, была проведена стандартная РЧА. У 3 пациентов из 14 отмечалось нарушение изоляции задней стенки ЛП. Чаще всего прорыв наблюдался вдоль крыши ЛП в сторону левой верхней легочной вены. У 12 пациентов отмечался низкий вольтаж активации задней стенки ЛП (менее 0,1 мВ), что указывает на эффективность изоляции. У всех пациентов, кому выполнялась аблация КТИ, сохранялась стойкая двунаправленная блокада в КТИ (100%) [32].

В другом исследовании V.Y. Reddy et al. провели АИП 81 пациентам с пароксизмальной формой ФП. После стандартной АИП достигнута 100% изоляция 324 ЛВ. После АИП всем пациентам построена электроанатомическая вольтажная карта, по результатам которой верифицирована изоляция легочных вен. Почти все процедуры прошли без осложнений, за исключением одного случая тампонады сердца, которая была связана с грубой манипуляцией

катетером. Данное осложнение разрешилось пункцией перикарда и не потребовала большой операции [33].

Через 3 мес пациентам выполнено повторное построение электроанатомической вольтажной карты. В результате полученных данных доказано сохранение 100% изоляции ЛВ. Кроме того, в рамках данного исследования проводилась оценка возможного стеноза ЛВ. При сравнении КТ-картины до процедуры и через 3 мес стеноза ЛВ не наблюдалось. Признаков нарушения стенок пищевода не обнаружено. В остром периоде после процедуры у пациентов не наблюдалось признаков нарушения мозгового кровообращения [33].

При оценке свободы от ФП в течение 12 мес по Каплану–Майеру эффективность данной процедуры составила $90,9 \pm 4,6\%$ (95% ДИ 82,0–99,9%) и $87,4 \pm 5,6\%$ (95% ДИ 76,5–98,4%) [33].

V.Y. Reddy et al. провели исследование, где использовали уникальный для своего рода катетер. Данный решетчатый катетер имеет сферическую форму и имеет возможность применять как пульсовую аблацию так и радиочастотную. Данный катетер имеет свою систему для навигационного картирования и генератор для подачи пульсовой или радиочастотной энергии. В исследование вошли 76 пациентов, из них 55 пациентов с пароксизмальной формой ФП и 21 пациент с персистирующей формой ФП. Всем пациентам была построена электроанатомическая вольтажная карта. Всем 76 пациентам выполнили изоляцию легочных вен (40 – РЧА/АИП, 36 – АИП), 14 больным дополнительно провели аблацию митрального перешейка (5 – РЧА/АИП, 9 – АИП), 34 пациентам провели линию аблации по крыше ЛП (18 – РЧА/АИП, 16 – АИП) и 44 больным провели аблацию кавотрикуспидального истмуса (22 – РЧА/АИП, 22 – АИП). При повторном картировании у всех пациентов регистрировалось 100% блок входа и выхода в ЛВ [34].

В раннем послеоперационном периоде у 5 (6,5%) пациентов выявлены сосудистые

осложнения связанных с доступом. В группе с РЧА у 2 (5,6%) пациентов из 36 выявлено незначительное повреждение слизистой оболочки пищевода. В группе у пациентов в АИП осложнений, связанных с самой аблацией, не выявлено [34].

В этом исследовании для анализа были доступны только ранние исходы процедур и краткосрочные данные о безопасности. Так как данное исследование проведено недавно, через 12 мес ожидаются результаты оценки свободы от ФП [34].

Это первое исследование на людях демонстрирует эффективность и безопасность интеграции картирования с высоким разрешением в один катетер, способный переключаться между радиочастотной и/или АИП при лечении пациентов с ФП [34].

В 2020 г. V.Y. Reddy на конгрессе Общества сердечного ритма доложил годовые результаты АИП. В докладе было указано что в двух центрах выполнено АИП 103 пациентам (возраст 58 ± 10 лет, 76% мужчин, диаметр ЛП $4,1 \pm 0,4$ см), проведена изоляция 401 ЛВ, то есть 100% ЛВ у всех пациентов. Средняя продолжительность пребывания в ЛП составила 35 ± 17 мин. Общее количество осложнений – 1,9% (1 тампонада, 1 гематома). У 26 пациентов, которым провели повторное построение электроанатомической карты, устойчивая изоляция ЛВ составила 98% (100 из 102 ЛВ). Через 307 ± 70 дней наблюдения годовая свобода от ФП составила $87,5 \pm 3,6\%$, свобода от других предсердных нарушений ритма – $78,5 \pm 4,5\%$. Среди 51 пациента, превысившего 1 год наблюдения, свобода от ФП составила 90,1% (46 из 51 пациента). Интересно, что пациентам с рецидивом ФП была проведена повторная аблация с использованием навигационной системы, где было доказано что все ЛВ остались изолированными [2].

Заключение

На сегодняшний день лечение ФП остается одной из главных задач в лечении нарушений ритма сердца. Классическая теп-

ловая изоляция устьев ЛВ является неоспоримым методом выбора при лечении ФП. Однако, к сожалению, у тепловой методики имеются свои недостатки, такие как стеноз ЛВ, предсердно-пищеводный свищ, паралич диафрагмального нерва, недостаточная трансмуральность повреждения ткани и т. д. Несмотря на огромный прорыв в развитии медицинских технологий, нивелировать вышеуказанные осложнения не удастся. АИП является перспективным методом, однако данная методика не имеет достаточной доказательной базы и требует крупных рандомизированных и мультицентровых исследований. Однако имеющиеся на сегодняшний день экспериментальные и клинические исследования дают обнадеживающие результаты. Особое внимание привлекает избирательная тропность к кардиомиоцитам и безопасность в отношении окружающих тканей и структур. Эффективность методики в рамках вышеуказанных исследований дают успешные результаты. Несомненно, нужно оценить отдаленные результаты эффективности методики и возможные осложнения. АИП представляется с собой большой потенциальный прорыв в лечении ФП, но судить об этом еще рано, так как число обследованных пациентов невелико. В связи с этим мировое сообщество ждет дополнительных доказательств, прежде чем принять эту новую технологию.

Литература/References

1. Reddy V.Y., Anic A., Koruth J., Petru J., Funasako M., Minami K. et al. Pulsed field Ablation in Patients with persistent atrial fibrillation. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 76 (9): 1068–80. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.007
2. Reddy V.Y., Koruth J., Jais P., Petru J., Timko F., Skalsky I. 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): 987–95. DOI: 10.1016/j.jacep.2018.04.005
3. Reddy V.Y., Anter E., Rackauskas G., Peichl P., Koruth J.S., Petru J. et al. Lattice-tip focal ablation catheter that toggles between radiofrequency and pulsed field energy to treat atrial fibrillation: a first-

- in-human trial. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2020; 13 (6): e008718. DOI: 10.1161/CIRCEP.120.008718
4. Shah D.C., Haïssaguerre M., Jaïs P. Catheter ablation of pulmonary vein foci for atrial fibrillation: PV foci ablation for atrial fibrillation. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1999; 47 (Suppl. 3): 352–6. DOI: 10.1055/s-2007-1013198
 5. Kampaktis P.N., Oikonomou E.K., Y. Choi D., Cheung J.W. Efficacy of ganglionated plexi ablation in addition to pulmonary vein isolation for paroxysmal versus persistent atrial fibrillation: a meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2017; 50 (3): 253–60. DOI: 10.1007/s10840-017-0285-z
 6. Tomlinson D.R., Mandrola J. Pulsed Field Ablation for Persistent Atrial Fibrillation (PersAFOne): Hope or Hype? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 76 (9): 1081–3. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.032
 7. Futyma P., Kułakowski P. Pulsed Field Ablation for Persistent Atrial Fibrillation: Do Electrophysiological Endpoints Predict Clinical Benefit? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 76 (25): 3064–5. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.10.045
 8. Reddy V.Y., Neužil P., Peichl P., Rackauskas G., Anter E., Petru J. et al. A lattice-tip temperature-controlled radiofrequency ablation catheter: durability of pulmonary vein isolation and linear lesion block. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2020; 6 (6): 623–35. DOI: 10.1016/j.jacep.2020.01.002
 9. Yavin H., Shapira-Daniels A., Barkagan M., Sroubek J., Shim D., Melidone R., Anter E. Pulsed field ablation using a lattice electrode for focal energy delivery: biophysical characterization, lesion durability, and safety evaluation. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2020; 13 (6): e008580. DOI: 10.1161/CIRCEP.120.008580
 10. Wittkamp F.H.M., van Es.R., Neven K. Electroporation and its relevance for cardiac catheter ablation. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2018; 4 (8): 977–86. DOI: 10.1016/j.jacep.2018.06.005
 11. Ramirez F.D., Reddy V.Y., Viswanathan R., Hocini M., Jaïs P. Emerging technologies for pulmonary vein isolation. *Circ. Res.* 2020; 127 (1): 170–83. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.120.316402
 12. Koruth J.S., Kuroki K., Iwasawa J., Batul S.A., Turagam M.K., Dukkipati S.R., Reddy V.Y. Feasibility, safety, and durability of porcine atrial ablation using a lattice-tip temperature-controlled radiofrequency ablation catheter. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2020; 31 (6): 1323–31. DOI: 10.1111/jce.14473
 13. Reddy V.Y., Dukkipati S.R., Neužil P., Anic A., Petru J., Funasako M. et al. Pulsed Field ablation of paroxysmal atrial fibrillation: 1-year outcomes of IMPULSE, PEFCAT, and PEFCAT II. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2021; 7 (5): 614–27. DOI: 10.1016/j.jacep.2021.02.014
 14. Mönnig G., Eckardt L. Multielectrode pulmonary vein ablation catheter (PVAC (®)): current data on results and risks. *Herzschrittmacherther Elektro-physiol.* 2014; 25 (4): 236–40. DOI: 10.1007/s00399-014-0330-x
 15. Zhao L., Rasko A., Drescher C., Maleki S., Cejnar M., McEwan A. Preliminary validation of electroporation-electrolysis (E2) for cardiac ablation using a parameterisable in-vivo model. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2019; 2019: 289–93. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857828
 16. Yavin H., Brem E., Zilberman I., Shapira-Daniels A., Datta K., Govari A et al. Circular multielectrode pulsed field ablation catheter lasso pulsed field ablation: lesion characteristics, durability, and effect on neighboring structures. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2021; 14 (2): e009229. DOI: 10.1161/CIRCEP.120.009229
 17. Caluori G., Odehnalova E., Jadczyk T., Pesl M., Pavlova I., Valikova L. et al. AC Pulsed field ablation is feasible and safe in atrial and ventricular settings: a proof-of-concept chronic animal study. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020; 8: 552357. DOI: 10.3389/fbioe.2020.552357
 18. Parameswaran R., Al-Kaisey A.M., Kalman J.M. Catheter ablation for atrial fibrillation: current indications and evolving technologies. *Nat. Rev. Cardiol.* 2021; 18 (3): 210–5. DOI: 10.1038/s41569-020-00451-x
 19. Anselmino M., De Ferrari G.M. Future perspectives and new “frontiers” in cardiac rhythmology. *Front. Cardiovasc. Med.* 2020; 7: 126. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00126
 20. Howard B., Haines D.E., Verma A., Packer D., Kirchhof N., Barka N. et al. Reduction in pulmonary vein stenosis and collateral damage with pulsed field ablation compared with radiofrequency ablation in a canine model. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2020; 13 (9): e008337. DOI: 10.1161/CIRCEP.120.008337
 21. Grimaldi M., Tondo C., Riva S., Neužil P., Ghaly N., Bishara M., Reddy V. Impact of workflow modifications in atrial fibrillation ablation for reducing the incidence of silent cerebral lesions with a new multi-electrode radiofrequency balloon catheter. *Eur. Heart J.* 2019; 40. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz747.0624
 22. Stewart M.T., Haines D.E., Verma A., Kirchhof N., Barka N., Grassl E., Howard B. Intracardiac pulsed field ablation: proof of feasibility in a chronic porcine model. *Heart Rhythm.* 2019; 16 (5): 754–64. DOI: 10.1016/j.hrthm.2018.10.030
 23. Deodhar A., Dickfeld T., Single G.W., Hamilton W.C., Jr., Thornton R.H., Sofocleous C.T. et al. Irreversible electroporation near the heart: ventricular arrhythmias can be prevented with ECG synchronization. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2011; 196 (3): W330–5. DOI: 10.2214/AJR.10.4490
 24. Mali B., Jarm T., Corovic S., Paulin-Kosir M.S., Cemazar M., Sersa G., Miklavcic D. The effect of electroporation pulses on functioning of the heart. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2008; 46 (8): 745–57. DOI: 10.1007/s11517-008-0346-7

25. Prado L.N., Goulart J.T., Zoccoler M., Oliveira P.X. Ventricular myocyte injury by high-intensity electric field: Effect of pulse duration. *Gen. Physiol. Biophys.* 2016; 35 (2): 121–30. DOI: 10.4149/gpb_2015047
26. Koruth J.S., Kuroki K., Kawamura I., Stoffregen W.C., Dukkipati S.R., Neuzil P., Reddy V.Y. Focal pulsed field ablation for pulmonary vein isolation and linear atrial lesions: a preclinical assessment of safety and durability. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2020; 13 (6): e008716. DOI: 10.1161/CIRCEP.120.008716
27. Bradley C.J., Haines D.E. Pulsed field ablation for pulmonary vein isolation in the treatment of atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2020; 31 (8): 2136–47. DOI: 10.1111/jce.14414
28. Santangeli P., Lin D. Catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation: have we achieved cure with pulmonary vein isolation? *Methodist Debaquey Cardiovasc. J.* 2015; 11 (2): 71–5. DOI: 10.14797/mdcj-11-2-71
29. Lindemann F., Nedios S., Seewöster T., Hindricks G. Pulmonalvenenisolation bei Vorhofflimmern mittels pulsed field ablation “[Pulmonary vein isolation in atrial fibrillation using pulsed field ablation]. *Herz.* 2021; 46 (4): 318–22 (in German). DOI: 10.1007/s00059-021-05047-w
30. Zhao Z.H., Chen Y.G., Ning Z.P., Chen X.H. Advances in the application of pulsed field ablation for pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi.* 2020; 48 (11): 990–2. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20200506-00371
31. Kuroki K., Whang W., Eggert C., Lam J., Leavitt J., Kawamura I. et al. Ostial dimensional changes after pulmonary vein isolation: Pulsed field ablation vs radiofrequency ablation. *Heart Rhythm.* 2020; 17 (9): 1528–35. DOI: 10.1016/j.hrthm.2020.04.040
32. Reddy V.Y., Schilling R., Grimaldi M., Horton R., Natale A., Riva S. et al. Pulmonary vein isolation with a novel multielectrode radiofrequency balloon catheter that allows directionally tailored energy delivery: short-term outcomes from a multicenter first-in-human study (RADIANCE). *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2019; 12 (12): e007541. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007541. PMID: 31826648
33. Reddy V.Y., Neuzil P., Koruth J.S., Petru J., Funosako M., Cochet H. et al. Pulsed Field Ablation for Pulmonary Vein Isolation in Atrial Fibrillation. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019; 74 (3): 315–26. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.04.021
34. Reddy V.Y., Neuzil P., Anic A. Reply: pulsed field ablation for persistent atrial fibrillation: do electrophysiological endpoints predict clinical benefit? *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 76 (25): 3065–6. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.10.044

Вклад авторов: Аванесян Г.А. — написание текста рукописи, написание текста: обзор и редактирование, подготовка иллюстраций, обзор публикаций по теме статьи; Сапарбаев А.А. — обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; Филатов А.Г. — проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации; Ковалев А.С. — проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации, Шалов Р.З. — обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи.

Contribution: Avanesyan G.A. — writing — original draft, writing — review & editing, visualization, resources; Sa-parbaev A.A. — resources, writing — original draft; Filatov A.G. — supervision and validation, approval of the final version; Kovalev A.S. — supervision and validation, approval of the final version; Shalov R.Z. — resources, writing — original draft.