

© Е.А. АРТЮХИНА, З.И. САТИНБАЕВ, 2022

© АННАЛЫ АРИТМОЛОГИИ, 2022

УДК 616-089.819.1

DOI: 10.15275/annaritmol.2022.1.5

КАТЕТЕРНАЯ АБЛАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ИНДЕКС АБЛАЦИИ»

Тип статьи: обзорная статья

Е.А. Артюхина¹, З.И. Сатинбаев²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, ул. Большая Серпуховская, 27, Москва, 115093, Российская Федерация

² ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.П. Боткина» ДЗ г. Москвы, 2-й Боткинский пр-д, 5, Москва, 125284, Российская Федерация

Артюхина Елена Александровна, д-р мед. наук, заведующий отделением; orcid.org/0000-0001-7065-0250
Сатинбаев Замирбек Иматиллаевич, сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением; orcid.org/0000-0001-9521-1457, e-mail: amplatzer007@mail.ru

Фибрилляция предсердий (ФП) – наиболее распространенный вид нарушения ритма сердца, встречающийся в популяции у 1,7% женщин и 2,2% мужчин. Изоляция легочных вен с использованием катетерной абляции (КА) – это вариант лечения симптоматической ФП, представленный в клинических рекомендациях и наиболее часто используемый в качестве терапии первого или второго ряда после антиаритмической терапии. Однако частота рецидивов ФП после абляции остается высокой, несмотря на использование новых технологий и катетеров с датчиками давления «сила контакта» (Contact-Force) и интегралом «сила-время» (Force-Time integral). Данные катетеры широко используются при катетерной абляции, но сила тока/контакта не учитывает радиочастотную силу. Поэтому оценить достоверную глубину повреждения не представляется возможным. Восстановление проведения патологических импульсов между легочными венами и по левому предсердию после успешной катетерной абляции приводит к рецидивам ФП. Технология индекс абляции (ИА) (ablation index) – это новый маркер качества абляции, объединяющий силу контакта, время и силу тока в одной формуле. Данная технология позволяет получить трансмуральное повреждение миокарда при радиочастотной абляции, при этом минимизирует фатальные осложнения, такие как тампонада сердца. При сравнении абляции с использованием технологии ИА и стандартной методики при изоляции легочных вен частота рецидива аритмии в течение 12 мес G. Dhillon et al., A. Hussein et al., T. Philips et al. показали в своих исследованиях статистически значимую разницу. Частота развития ФП/предсердной тахикардии/трепетания предсердий была ниже в группе ИА (отношение рисков 0,35 [0,17, 0,73], $p = 0,005$; I^2 58%, $p = 0,07$). Процедуры с использованием технологии ИА привели к значительному снижению частоты развития ФП, предсердной тахикардии, а также трепетания предсердий, что связывают с более коротким периодом флюороскопии и абляции при одинаковом общем времени самой процедуры абляции. Частота первичной изоляции была выше в группе ИА, а частота острой реконнекции легочных вен – ниже. Абляция с использованием технологии ИА по безопасности идентична традиционной абляции. Исследования с большим размером выборки необходимы для определения уровня безопасности технологии ИА.

Ключевые слова: индекс абляции, фибрилляция предсердий, изоляция легочных вен, радиочастотная абляция, трехмерная навигация

CATHETER ABLATION USING “ABLATION INDEX” TECHNOLOGY

E.A. Artyukhina¹, Z.I. Satinbaev²

¹ Vishnevskiy Institute of Surgery, Moscow, 117997, Russian Federation

² Botkin City Clinical Hospital, Moscow, 125284, Russian Federation

Elena A. Artyukhina, Dr. Med. Sci., Head of Department; orcid.org/0000-0001-7065-0250

Zamirbek I. Satinbaev, Cardiovascular Surgeon, Head of Department; orcid.org/0000-0001-9521-1457, e-mail: amplatzer007@mail.ru

Atrial fibrillation (AF) is the most common type of heart rhythm disorder. In the population, 1.7% of women and 2.2% of men have AF. Pulmonary vein isolation using catheter ablation (CA) is a clinical practice guide-

line option for symptomatic AF and is most used as first- or second-line therapy after antiarrhythmic therapy. However, the recurrence rate of AF after ablation remains high despite the use of new technologies and catheters with pressure sensors (Contact-Force) and force-time integral (Force-Time integral). These catheters are widely used in catheter ablation, but current/contact strength does not account for RF strength. Therefore, it is not possible to estimate the reliable depth of damage. Restoration of the conduction of pathological impulses between the pulmonary veins and in the left atrium after successful catheter ablation leads to recurrence of AF. Ablation Index (AI) technology is a new marker of ablation quality that combines contact strength, time, and current strength in one formula. This technology allows to obtain transmural myocardial damage with radiofrequency application, while minimizing fatal complications such as cardiac tamponade. When comparing ablation using AI technology and the standard technique for isolation of pulmonary veins, the frequency of arrhythmia recurrence within 12 months G. Dhillon et al., A. Hussein et al., T. Philips et al. showed a statistically significant difference in their studies. The incidence of AF/atrial tachycardia/atrial flutter was lower in the AI group (HR, 0.35 [0.17, 0.73], $p=0.005$; I^2 , 58%, $p=0.07$). Procedures using AI technology resulted in a significant reduction in the incidence of AF, atrial tachycardia, and atrial flutter, which is associated with a shorter period of fluoroscopy and ablation with the same total time of the ablation procedure itself. The rate of primary isolation was higher in the AI group, and the rate of acute pulmonary vein reconnection was lower. Ablation using AI technology is identical in safety to traditional ablation. Studies with large sample sizes are needed to determine the level of safety of AI technology.

Keywords: ablation index, atrial fibrillation, isolation of pulmonary veins, radiofrequency ablation, three-dimensional navigation

Введение

Изоляция легочных вен с использованием катетерной аблации (КА) — это вариант лечения симптоматической фибрилляции предсердий (ФП), представленный в клинических рекомендациях и наиболее часто используемый в качестве терапии первого или второго ряда после антиаритмической терапии [1–5]. Существует две технологии для изоляции легочных вен при КА: радиочастотная технология и криоаблация.

Частота рецидивов ФП после аблации остается высокой, несмотря на использование новых технологий и датчиков «сила контакта» (СК) (Contact-Force) и интеграла «сила-время» (ИСВ) (Force-Time integral). Катетер с использованием датчика силы тока/контакта широко используется при КА, но сила тока/контакта не учитывает радиочастотную силу [6]. Недостаточная радиочастотная подача/поток может привести к формированию субоптимального повреждения, а чрезмерная — к таким осложнениям, как тампонада сердца [7].

Реконнекция между легочными венами и левым предсердием приводит к рецидивам всех типов ФП после успешной аблации [8–10]. Таким образом, длительная изоляция легочных вен необходима для предотвращения рецидивов аритмий. Однако соотношение легочных вен, которые остаются хронически изолированными после радиочастотной аблации (РЧА), остается низким [1, 11, 12]. Можно сказать, что технология индекс аблации (ИА) (ablation index) — это новый маркер качества аблации, объединяю-

щий силу контакта, время и силу тока в одной формуле [13, 14].

Позднее восстановление ткани после аблации можно назвать ахиллесовой пятой РЧА, с поздней реконнекцией как минимум одной легочной вены примерно у 70% пациентов даже после успешно завершённой острой изоляции легочных вен. Введение катетеров, чувствительных к силе контакта, и использование ИСВ-аблации улучшило исход процедур, но не до необходимого уровня. От 38 до 65% пациентов имеют позднюю реконнекцию легочных вен [12]. ИА — новый маркер качества поражения при аблации, объединяющий силу прижатия, силу тока и время в формуле, которая в доклинических исследованиях точно оценивала глубину поражения при аблации [13, 14]. Формула ИА представлена ниже, где константы заменены буквами.

$$\text{Индекс аблации} = (K \times \int_0^t CF^a(\tau) P^b(\tau) d\tau)^c,$$

где CF — сила контакта (contact force); P — сила тока (power); d — время воздействия (application duration). Формула была недавно внедрена для мониторинга качества повреждения при аблации в автоматизированную систему оценки повреждения (VisiTag) в CARTO 3, Version 4, 3D-электроанатомической системы картирования (Biosense Webster Inc., Diamond Bar, США). Мультицентровое ретроспективное исследование, включавшее в себя пациентов, которым проводились повторные РЧА в течение 2 мес, представило данные о минимальной зоне ранней реконнекции легочных вен при применении ИА (рис. 1) [13, 15].

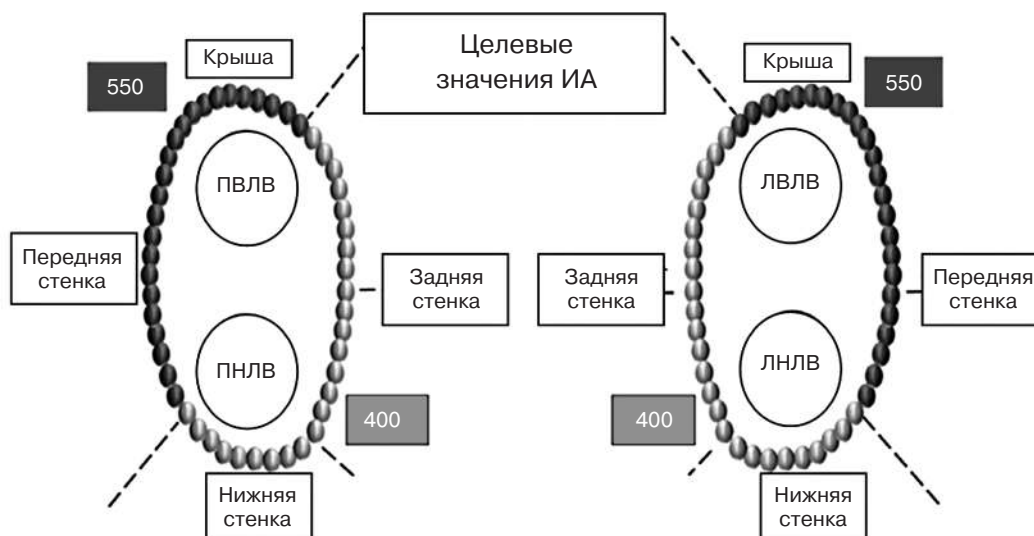


Рис. 1. Передний сегмент/крыша и задний/нижний сегмент, а также целевые значения ИА для данных зон. Черные точки представляют собой участки повреждения при абляции 550 и более, серые – целевые значения при абляции 400 и более, но менее 550.

ЛВЛВ – левая верхняя легочная вена; ЛНЛВ – левая нижняя легочная вена; ПВЛВ – правая верхняя легочная вена; ПНЛВ – правая нижняя легочная вена [15]

Сравнение радиочастотной и криоабляции

Изоляция легочных вен является наиболее важной стратегией абляции при ФП. Однако для проведения безопасной и точной РЧА под 3D-контролем необходимы определенные навыки. Были разработаны новые катетеры с альтернативными источниками энергии. Многие из таких катетерных технологий основаны на системах баллонной абляции, использующих разные источники энергии – криоэнергию, лазер и радиочастоты [16, 17]. Среди них криоабляция – это наиболее распространенный метод, который рекомендован существующими руководствами как альтернатива РЧА [1, 4]. В нескольких рандомизированных клинических исследованиях сравнивали эффективность и безопасность применения радиочастотного и криобаллонного катетеров [18–20]; однако только некоторые из таких опубликованных исследований включали в себя передовые технологии, применяемые при КА [19, 21, 22]. Более того, исследование FIRE AND ICE, включившее в себя более современные технологии, нельзя назвать полноценным [23, 24]. В частности, было использовано около 75% криобаллонов второго поколения для криоабляции, а катетеров второго поколения для РЧА было применено только у 25%. Таким образом, материалов исследования было недостаточно для сравнения результатов применения более современных технологий [25, 26].

Использование технологии ИА в РЧА позволяет проводить изоляцию легочных вен с отсутствием рецидивов аритмии после процедуры в течение 12 мес [27]. Один из недостатков криоабляции заключается в том, что она зависит от размеров и анатомии легочных вен и что место абляции обычно расположено дистально у пациентов с леворасположенными общими легочными венами или широкими воронкообразными венами. Точечная РЧА имеет преимущества в гибкости катетеров при абляции разных анатомических вариантов легочных вен. До использования технологии ИА это преимущество ставилось под сомнение из-за высокой частоты реконнекций, однако сейчас технология ИА показала высокую частоту стойкой изоляции легочных вен и это преимущество вышло на первый план.

Из-за отсутствия исследований, напрямую сравнивающих результаты ИА и криоабляции, F. Solimene et al. провели скорректированное непальное сравнение для оценки влияния ИА на частоту рецидивов аритмии в сравнении с криоабляцией через 12 мес после КА с учетом разных протоколов и участников исследований. Настоящий анализ приводит четкие доказательства преимущества использования катетеров ThermoCool Smart Touch в рамках технологии ИА и катетера Arctic Front Advance для криоабляции. В некорректированном сравнении у пациентов после ИА отмечался лучший исход, чем

у общей группы после криоабляции [14]. При проведении скорректированного сравнения для минимизации различий между группами пациентов было также доказано, что в группе ИА исход лучше (59% уменьшение в частоте, отношение рисков (ОР) 0,41, доверительный интервал (ДИ) 95%, 0,20–0,85). Когда данные F. Solimene et al. и A. Hussein et al. были объединены, использование ИА привело к 39% уменьшению рецидива аритмии в течение 12 мес по сравнению с результатами криоабляции (ОР 0,61, ДИ 95%, 0,32–1,15) [14, 15]. Уменьшение относительной эффективности ИА после объединения обеих баз данных было связано с более низкой оценкой абсолютной эффективности ИА (суммарная вероятность рецидива аритмии 0,12, 95% ДИ 0,08–0,16) по сравнению с данными F. Solimene et al. (суммарная вероятность 0,09, 95% ДИ 0,05–0,14) [14]. Этот результат был ожидаем, так как некорректированное сравнение индивидуальных данных пациентов с пароксизмальной формой ФП и ИА A. Hussein et al. с объединенными данными криобаллонной абляции показало отсутствие разницы в частоте рецидивов аритмии (ОР 0,98, 95% ДИ 0,42–2,29) (рис. 2) [15].

При кросс-секционном сравнении было предположено, что время проведения процедуры с технологией ИА и длительность криоабляции идентичны. Среднее время проведения процедуры первого типа варьировало в пределах

95–175 мин [28], в то время как продолжительность криоабляции составляла 90,5–250,5 мин [29]. В среднем длительность флюороскопии при ИА меньше, 5–11,9 мин [28] по сравнению с промежутком в 0–61 мин при криобаллонной абляции [29].

Контакт между концом катетера и тканью, длительность и сила воздействия, импеданс и температура являются важными детерминантами размера и глубины поражения при последовательной РЧА [27]. В течение последних 10 лет несколько новых характеристик способствовали расширению возможностей мониторинга поражений при РЧА: позволяли проводить безопасную и эффективную изоляцию легочных вен вместе с образованием стойких непрерывных трансмуральных поражений. Использование современных технологий РЧА значительно уменьшает частоту повторных абляций после первой изоляции легочных вен и частоту реконнекции легочных вен во время второй процедуры изоляции легочных вен, как было показано в двух крупных одноцентровых исследованиях [30, 31]. Недавнее исследование подтвердило, что реконнекция легочных вен не встречалась у большинства пациентов после одной процедуры изоляции легочных вен с использованием ИА и протокола CLOSE [32]. Это может объяснять результаты нашего анализа, который показал значительно более низкую

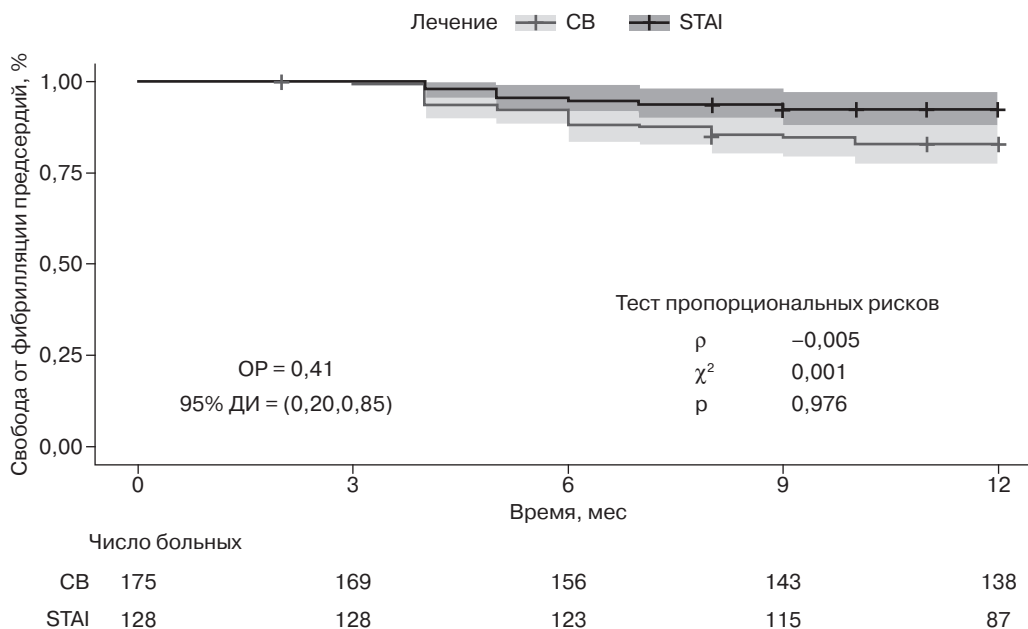


Рис. 2. Кривая свободы от фибрилляции предсердий Каплана–Мейера: сравнение данных F. Solimene et al. с объединенными исследованиями по криоабляции [15].

CB – криобаллон второго поколения; STAI – ThermoCool SmartTouchtm с технологией ИА

частоту рецидивов пароксизмальной ФП в течение 12 мес после аблации, чем было продемонстрировано ранее [20, 21].

Сравнение аблации с использованием технологии ИА и стандартной методики при изоляции легочных вен

Приводим метаанализ R. Pranata et al., в который было включено 1727 участников из 5 исследований, 1081 (62,6%) прошли через аблацию с использованием технологии ИА (группа сравнения) и 646 (37,4%) прошли через стандартную процедуру аблации (контрольная группа). Частота пароксизмальной ФП была 49,8%, а персистирующей – 51,2% [27].

Частота развития ФП/предсердной тахикардии/трепетания предсердий в течение 12 мес. G. Dhillon et al., A. Hussein et al., T. Philips et al. показали в своих исследованиях статистически значимую разницу в 12-месячном исходе: 10,8 против 13,3%, 17 против 37% и 6 против 20% соответственно в пользу методики ИА [15, 26, 32]. Частота развития ФП/предсердной тахикардии/трепетания предсердий была ниже в группе ИА (ОР 0,35 [0,17, 0,73], $p=0,005$; I^2 58%, $p=0,07$).

Первая изоляция легочных вен. Изоляция легочных вен при первой же аблации с технологией ИА в трех исследованиях: G. Dhillon et al. – 82 против 34%, A. Hussein et al. – 87 против 84% и T. Philips et al. – 98 против 54%. Объединенный анализ трех исследований показал, что ОР 11,29, $p<0,001$; I^2 58%, $p=0,09$ [26, 32].

Ранняя реконнекция легочных вен. G. Dhillon et al. в своих исследованиях сообщили о ранней реконнекции легочных вен (14 против 24%) и сравнительно низкой ее встречаемости в группе ИА. Схожие данные опубликовали также A. Hussein et al. и T. Philips et al.: 6 против 11% и 3 против 18% соответственно. Объединенный ОР для ранней реконнекции легочных вен составил 0,43 [0,29, 0,64], $p<0,001$; I^2 46%, $p=0,16$ [15, 26, 32].

Время процедуры. В двух исследованиях было продемонстрировано, что ИА уменьшает время флюороскопии, другие два исследования также показали уменьшение продолжительности процедуры, но без статистической значимости. В одном исследовании не сообщалось о времени проведения флюороскопии. При объединенном анализе в группе ИА отмечалось уменьшение времени флюороскопии: 1,62 [2,62, 0,62] мин, $p=0,001$; I^2 51%, $p=0,13$. Во всех 5 исследованиях было отмечено более короткое время аблации

в группе ИА. При объединенном анализе время аблации составило 9,96 [–17,16, 2,76] мин, $p<0,001$; I^2 –95%, $p<0,001$. О более коротком времени процедуры в группе ИА говорилось в трех исследованиях, в то время как в двух не было статистически значимых различий. При объединенном анализе результаты группы ИА не отличались от итогов стандартной процедуры аблации. При анализе чувствительности и исключении одного исследования гетерогенность общего времени аблации и процедуры не снижалась.

Осложнения. Осложнения встречались чаще в группе стандартной аблации, но различия не были статистически значимыми. В исследовании G. Dhillon et al. отмечался один перикардит и две венозные гематомы в проекции илиофemorального венозного сегмента. У N. Reinsch et al. 7 и 17 тампонад сердца произошли в группе ИА и стандартной аблации соответственно [33]. A. Hussein et al. сообщили об одном параличе диафрагмального нерва и одной ретроперитонеальной гематоме, случившейся в группе стандартной аблации [15]. T. Philips et al. привели данные о тампонаде сердца, потребовавшей перикардиоцентеза и более длительной госпитализации [26]. В одном исследовании сообщалось о более частых осложнениях в группе ИА (один перикардиальный выпот и две паховые гематомы, не требующие вмешательств), но при проведении метаанализа стало ясно, что эти данные статистически не значимы. При проведении анализа чувствительности и исключении исследования N. Reinsch et al. частота осложнений статистически значимо не менялась [33].

Выводы

Процедуры с использованием технологии ИА привели к значительному снижению частоты развития ФП, предсердной тахикардии, а также трепетания предсердий, что связывают с более коротким периодом флюороскопии и аблации при одинаковом общем времени самой процедуры аблации. Частота первичной изоляции была выше в группе ИА, а частота острой реконнекции легочных вен ниже. Аблация с использованием технологии ИА по безопасности идентична традиционной аблации. Длительное ЭКГ-мониторирование рекомендуется для определения асимптоматических предсердных аритмий. Наконец, исследования с большим размером выборки необходимы для определения уровня безопасности технологии ИА.

Конфликт интересов. Конфликт интересов не заявляется.

Библиографический список/References

1. Бокерия Л.А., Филатов А.Г. Картирование аритмий. *Анналы аритмологии*. 2012; 9 (1): 5–13.
Bockeria L.A., Filatov A.G. Mapping of arrhythmias. *Annaly Aritmologii (Annals of Arrhythmology)*. 2012; 9 (1): 5–13 (in Russ.).
2. Филатов А.Г., Ковалев А.С. Отдаленные результаты применения конвергентных методик радиочастотной абляции левого предсердия у пациентов с различными формами фибрилляции предсердий. *Анналы аритмологии*. 2012; 9 (3): 22–30.
Filatov A.G., Kovalev A.S. Remote results of the application of the convergent methods of left atrial radiofrequency ablation in patients with different atrial fibrillations. *Annaly Aritmologii (Annals of Arrhythmology)*. 2012; 9 (3): 22–30 (in Russ.).
3. Бокерия Л.А., Филатов А.Г., Ковалев А.С. Влияние исходных параметров электромеханического ремоделирования левого предсердия на эффективность радиочастотной абляции у пациентов с различными формами фибрилляции предсердий. *Анналы аритмологии*. 2014; 11 (2): 118–29. DOI: 10.15275/annaritmol.2014.2.6
Bockeria L.A., Filatov A.G., Kovalev A.S. The impact of initial electromechanical remodeling of left atrium on the outcome of radiofrequency ablation in patients with different types of atrial fibrillation. *Annaly Aritmologii (Annals of Arrhythmology)*. 2014; 11 (2): 118–29 (in Russ.). DOI: 10.15275/annaritmol.2014.2.6
4. Бокерия Л.А., Филатов А.Г., Яхьяев Я.Б. и др. Методика интраоперационного эпикардального картирования предсердий у пациентов с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий. *Анналы аритмологии*. 2012; 9 (2): 48–56.
Bockeria L.A., Filatov A.G., Yakh'yaev Ya.B., Technique of intraoperative atrial epicardial mapping in patients with paroxysmal form of atrial fibrillation. *Annaly Aritmologii (Annals of Arrhythmology)*. 2012; 9 (2): 48–56 (in Russ.).
5. Васковский В.А., Сергуладзе С.Ю. Возможности и перспективы хирургического лечения фибрилляции предсердий. *Анналы аритмологии*. 2016; 13 (2): 64–72. DOI: 10.15275/annaritmol.2016.2.1
Vaskovskiy V.A., Serguladze S.Yu. Possibilities and prospects of surgical treatment of atrial fibrillation. *Annaly Aritmologii (Annals of Arrhythmology)*. 2016; 13 (2): 64–72 (in Russ.). DOI: 10.15275/annaritmol.2016.2.1
6. Kirchhof P., Benussi S., Kotecha D. et al. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur. Heart J*. 2016; 37 (38): 2893–962.
7. Calkins H., Hindricks G., Cappato R. et al., 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHRS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2017; 14 (10): e275–444.
8. Cappato R., Negroni S., Pecora D. et al. Prospective assessment of late conduction recurrence across radiofrequency lesions producing electrical disconnection at the pulmonary vein ostium in patients with atrial fibrillation. *Circulation*. 2003; 108 (13): 1599–604.
9. Nanthakumar K., Plumb J.V., Epstein A.E. et al. Resumption of electrical conduction in previously isolated pulmonary veins: rationale for a different strategy? *Circulation*. 2004; 109 (10): 1226–9.
10. Ouyang F. et al. Long-term results of catheter ablation in paroxysmal atrial fibrillation: lessons from a 5-year follow-up. *Circulation*. 2010; 122 (23): 2368–77.
11. Neuzil P., Reddy V.Y., Kautzner J. et al. Electrical reconnection after pulmonary vein isolation is contingent on contact force during initial treatment: results from the EFFICAS I study. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2013; 6 (2): 327–33.
12. Kautzner J., Neuzil P., Lambert H. et al. EFFICAS II: optimization of catheter contact force improves outcome of pulmonary vein isolation for paroxysmal atrial fibrillation. *Europace*. 2015; 17 (8): 1229–35.
13. Das M., Jonathan J.L., Gareth J. W. et al. AI, a novel marker of ablation lesion quality: prediction of pulmonary vein reconnection at repeat electrophysiology study and regional differences in target values. *Europace*. 2017; 19 (5): 775–83.
14. Solimene F., Vincenzo S., Gergana S. et al. Safety and efficacy of atrial fibrillation ablation guided by AI module. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2019; 54 (1): 9–15.
15. Hussein A., Stabile G., Dawkins K. et al. Use of ai-guided ablation results in high rates of durable pulmonary vein isolation and freedom from arrhythmia in persistent atrial fibrillation patients: the PRAISE study results. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2018; 11 (9): e006576.
16. Kuck K.H., Hoffmann B.A., Sabine E. et al. Impact of complete versus incomplete circumferential lines around the pulmonary veins during catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation: results from the gap-atrial fibrillation-german atrial fibrillation competence network 1 trial. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2016; 9 (1): e003337.
17. Mikhaylov E.N., Lebedev D.S., Pokushalov E.A. et al. Outcomes of cryoballoon ablation in high- and low-volume atrial fibrillation ablation centres: a russian pilot survey. *Biomed. Res. Int.* 2015; 2015: 591603.
18. Davtyan K., Shatakhtsyan V., Poghosyan H. et al. Radiofrequency versus cryoballoon ablation of atrial fibrillation: an evaluation using ECG, holter monitoring, and implantable loop recorders to monitor absolute and clinical effectiveness. *Biomed. Res. Int.* 2018; 2018: 3629384.
19. Kuck K.H., Brugada J., Fürnkranz A. et al. Cryoballoon or radiofrequency ablation for paroxysmal atrial fibrillation. *N. Engl. J. Med.* 2016; 374 (23): 2235–45.
20. Hunter R.J., Baker V., Finlay M. et al. Point-by-point radiofrequency ablation versus the cryoballoon or a novel combined approach: a randomized trial comparing 3 methods of pulmonary vein isolation for paroxysmal atrial fibrillation (the cryo versus RF trial). *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2015; 26 (12): 1307–14.
21. Luik A., Radzewitz A., Kieser M. et al. Cryoballoon versus open irrigated radiofrequency ablation in patients with paroxysmal atrial fibrillation: the prospective, randomized, controlled, noninferiority freeze AF study. *Circulation*. 2015; 132 (14): 1311–9.
22. Perez-Castellano N., Fernández-Cavazos R., Moreno J. et al. The COR trial: a randomized study with continuous rhythm monitoring to compare the efficacy of cryoenergy and radiofrequency for pulmonary vein isolation. *Heart Rhythm*. 2014; 11 (1): 8–14.
23. Gunawardene M.A., Hoffmann B.A., Schaeffer B. et al. Influence of energy source on early atrial fibrillation recurrences: a comparison of cryoballoon vs. radiofrequency current energy ablation with the endpoint of unexcitability in pulmonary vein isolation. *Europace*. 2018; 20 (1): 43–9.
24. Kuck K.H., Brugada J., Schlüter M. et al. 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.
25. Kuck K.H., Brugada J., Schlüter M. et al. Repeat ablation for atrial fibrillation recurrence post cryoballoon or radiofrequency ablation in the FIRE AND ICE Trial. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2019; 12 (6): e007247.
26. Taghji P., Haddad M., Philips T. et al. Evaluation of a strategy aiming to enclose the pulmonary veins with contiguous and optimized radiofrequency lesions in paroxysmal atrial fibrillation: a pilot study. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2018; 4 (1): 99–108.

27. Pranata R., Vania R., Huang I. Ablation-index guided versus conventional contact-force guided ablation in pulmonary vein isolation – systematic review and meta-analysis. *Indian Pacing Electrophysiol. J.* 2019; 19 (4): 155–60. DOI: 10.1016/j.ipej.2019.05.001
28. Patel N., Patel K., Shenoy A. et al. Cryoballoon ablation for the treatment of atrial fibrillation: a meta-analysis. *Curr. Cardiol. Rev.* 2019; 15 (3): 230–8.
29. Mohanty S., Trivedi C., Gianni C. et al. Procedural findings and ablation outcome in patients with atrial fibrillation referred after two or more failed catheter ablations. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2017; 28 (12): 1379–86.
30. Sandorfi G., Rodriguez-Mañero M., Saenen J. et al. Less pulmonary vein reconnection at redo procedures following radiofrequency point-by-point antral pulmonary vein isolation with the use of contemporary catheter ablation technologies. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2018; 4 (12): 1556–65.
31. De Pooter J., Strisciuglio T., Haddad M. et al. Pulmonary vein reconnection no longer occurs in the majority of patients after a single pulmonary vein isolation procedure. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2019; 5 (3): 295–305.
32. Dhillon G., Ahsan S., Honarbakhsh S. et al. A multicentered evaluation of ablation at higher power guided by AI: Establishing ablation targets for pulmonary vein isolation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2019; 30 (3): 357–65.
33. Reinsch N., Fütting A., Buchholz J. et al. Influence of ablation index on the incidence of cardiac tamponade complicating pulmonary vein isolation. *Herz.* 2021; 46: 228–34. DOI: 10.1007/s00059-020-04988-y

Поступила 17.03.2022

Принята к печати 24.03.2022