

НЕМЕДИКАМЕНТОЗНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Шевченко Ю.Л., Свешников А.В., Башилов С.А.*, Гудимович В.Г.

Клиника грудной и сердечно-сосудистой хирургии имени Св. Георгия
Национального медико-хирургического Центра имени Н.И. Пирогова, Москва

УДК: 616.125-008.313.2/.3-08 «313»
DOI: 10.25881/BPNMSC.2019.82.28.020

Резюме. Детальный анализ современных подходов немедикаментозного лечения фибрилляции предсердий. Рассмотрены этапы развития хирургического лечения фибрилляции предсердий на открытом сердце от операции изоляции левого предсердия до операции «Лабиринт». Прослежена эволюция катетерных технологий, начиная с флуоресценции атриовентрикулярного соединения до применения систем трехмерного электроанатомического картирования. Отдельное внимание уделено торакоскопическим вмешательствам и гибриднему подходу в лечении пациентов с персистирующей формой фибрилляции предсердий. Приведены данные по новым технологиям лечения фибрилляции предсердий.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий, история, изоляция легочных вен, операция «Лабиринт», катетерные технологии, торакоскопическая РЧА, гибридный подход, роботизированные системы, новые технологии.

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) – наиболее распространенный вид нарушений сердечного ритма. Её частота в общей популяции составляет 1–2%. В 2010 г. в мире насчитывалось 20,9 млн. мужчин и 12,6 млн. женщин, страдающих ФП [5; 14]. Главной опасностью её является значительное увеличение риска тромбоэмболических осложнений. Она повышает риск инсульта в 5 раз [5]. У 20–30% пациентов с ишемическим инсультом ФП регистрируется до, во время или после возникновения неврологической симптоматики [32]. Она также ассоциируется с увеличением общей смертности, частоты госпитализаций, ухудшением качества жизни, снижением переносимости физических нагрузок, развитием сердечной недостаточности, в том числе, и у пациентов трудоспособного возраста. Поэтому ФП представляет собой большую социально-экономическую проблему [5; 45].

Современное медикаментозное лечение предусматривает или агрессивную антиаритмическую терапию для удержания ритма, или лечение, направленное на контроль частоты желудочковых сокращений [45]. Цель немедикаментозного лечения – восстановление и сохранение синусового ритма. Первые хирургические операции, направленные на устранение ФП, выполнялись на открытом сердце. Несмотря на высокую эффективность, они сопровождалась большим риском осложнений. По мере дальнейшего изучения электрофизиологических механизмов, приводящих к развитию ФП, были разра-

NON-PHARMACOLOGICAL TREATMENT OF ATRIAL FIBRILLATION: HISTORY, CONTEMPORARY STATUS, FUTURE DIRECTIONS

Shevchenko Yu.L., Sveshnikov A.V., Bashilov S.A.*, Gudimovich V.G.

Clinic of Thoracic and Cardiovascular Surgery St. George's of National Medical and Surgical Center. N.I. Pirogov, Moscow

Abstract. In the literature review performed comprehensive evaluation of contemporary non-drug management of atrial fibrillation. The stages of development of atrial fibrillation treatment in open heart surgery from left atrial isolation to «Maze» procedure are considered extensively. A detailed analysis of catheter technologies evolution from left atrial isolation to 3D electroanatomical mapping systems usage is given in the article. Special attention is paid to thoracoscopic interventions and hybrid approach in patients with persistent atrial fibrillation. Shown data with regard to advanced technologies of atrial fibrillation treatment.

Keywords: atrial fibrillation, history, pulmonary vein isolation, «Maze» procedure, catheter technologies, thoracoscopic ablation, hybrid approach, robotic systems, advanced technologies.

ботаны катетерные методики лечения. Сегодня широкое распространение получили торакоскопические технологии, которые сочетают высокую эффективность и малую травматичность. Они позволяют реализовать гибридный подход к лечению пациентов с ФП. В настоящее время также существует ряд перспективных технологий, внедрение которых в клиническую практику может привести к улучшению качества электрофизиологической диагностики, визуализации камер сердца, упрощению технологий, повышению эффективности и безопасности операций.

Хирургическое лечение фибрилляции предсердий: операции на открытом сердце

Изоляция левого предсердия

Хирургическая изоляция левого предсердия (ЛП), предложенная J.M. Williams в 1980 г., считается первой операцией для лечения ФП (Рис. 1) [48].

Для достижения электрического разобщения левого предсердия от правого выполнялась парасептальная атриотомия. В результате правое предсердие изолировалось от ЛП, в котором сохранялась ФП. Однако при этом восстанавливалась функция синхронизации работы правого предсердия с обоими желудочками сердца. Из-за того, что ФП сохранялась в ЛП и его транспортная функция оставалась нарушенной, пациентам пожизненно назначалась антикоагулянтная терапия.

* e-mail: bashilov.91@gmail.com

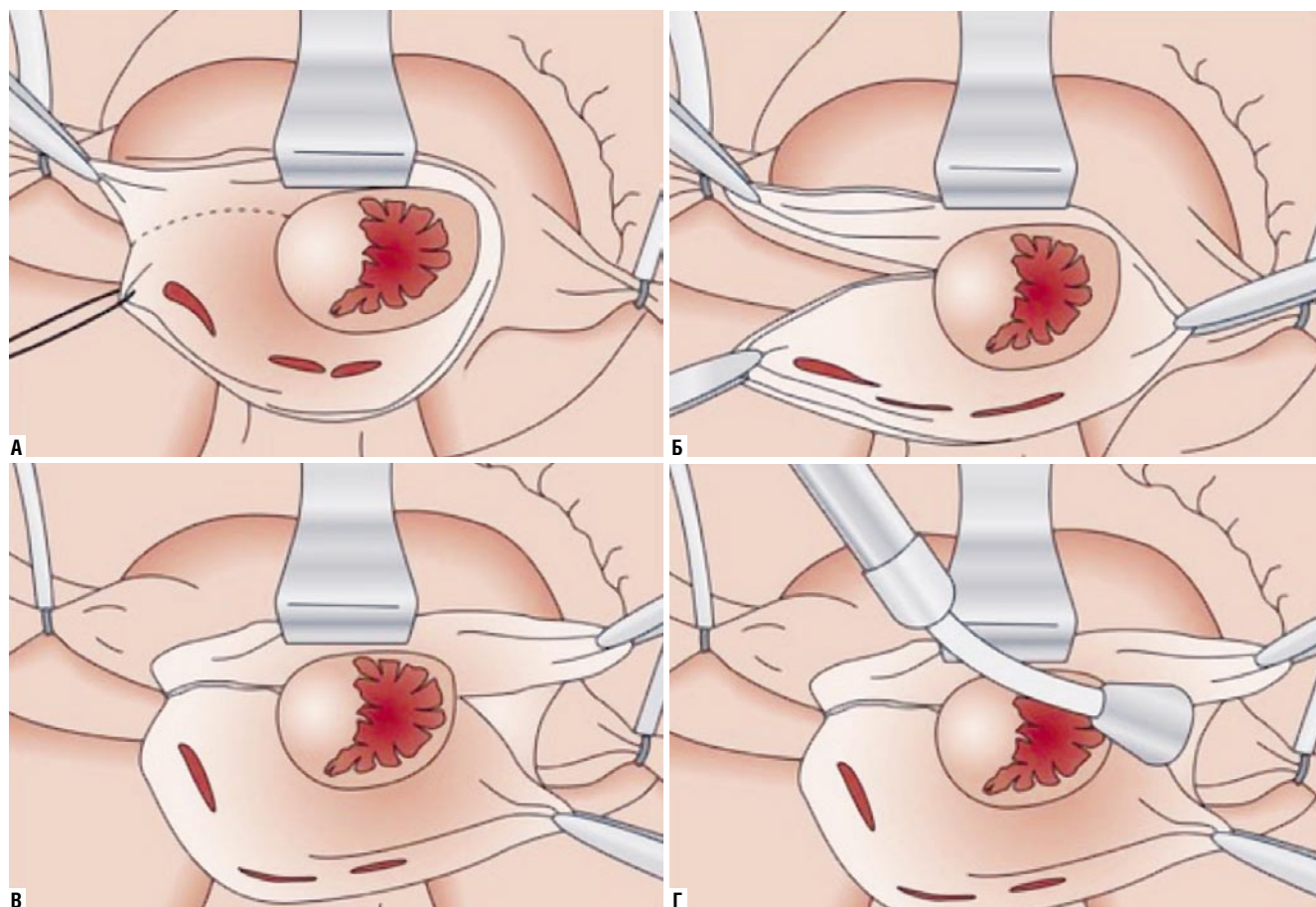


Рис. 1. Схема операции хирургической изоляции левого предсердия. А – левая атриотомия. Б – выполнение разреза до верхнего полюса кольца митрального клапана. В – продолжение атриотомии до нижнего полюса митрального клапана. Г – Выполнение криоаппликации с целью завершения линии изоляции. Из Williams JM, et al. J Thorac Cardiovasc Surg 1980; 80[3]: 373–380.

A. Graffigna и соавт. (1992 г.) было проведено исследование с участием 100 пациентов по одномоментной хирургической коррекции митрального порока и хирургической изоляции ЛП [29]. В раннем послеоперационном периоде синусовый ритм (СР) восстанавливался у 81% больных. Через два года наблюдения СР сохранялся у 71% пациентов.

Операция «коридор»

В 1985 г. G.M. Guiraudon и соавт. предложили операцию «Коридор», в ходе которой создавался хирургически изолированный участок миокарда от синусового узла (СУ) до атриовентрикулярного узла (АВУ) (Рис. 2) [26]. Это обеспечивало распространение электрического импульса в направлении от СУ до АВУ и приводило к восстановлению СР. С целью сохранения транспортной функции ПП и ЛП Л.А. Бокерия и А.Ш. Ревитшвили в 1992 г. была разработана модификация этой операции с максимальным сохранением межпредсердной перегородки и артерии синусового узла [1; 2]. Несмотря на высокую эффективность (86–92%), значительному количеству пациентов в связи с возникновением АВ-блокады III степени после операции требовались имплантации

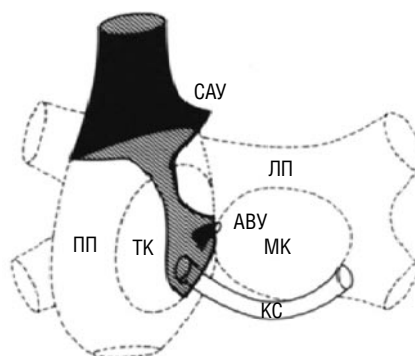


Рис. 2. Схема операции «Коридор». ЛП – левое предсердие, ПП – правое предсердие, САУ – синоатриальный узел, АВУ – атриовентрикулярный узел, ТК – трехстворчатый клапан, МК – митральный клапан, КС – коронарный синус. Из Guiraudon J. et al. JACC; 1991 17: 970-5.

постоянных электрокардиостимуляторов (ЭКС). Недостатками операции были: отсутствие гемодинамического вклада ЛП во внутрисердечную гемодинамику и сохранение фибрилляции предсердий. В связи с высоким

риском тромбоболитических осложнений, рекомендовался постоянный прием антикоагулянтных препаратов.

Операция «Лабиринт»

В 1991 г. J. Cox и соавт., основываясь на клинических и экспериментальных данных о патогенезе ФП, предложили новый метод хирургического лечения ФП – операцию «Лабиринт» (Maze) (Рис. 3) [17]. Идея операции заключалась в создании антеградного пути проведения для электрического импульса СУ до АВУ с возбуждением большей части миокарда обоих предсердий. Особенностью изолированного пути проведения возбуждения являлась его небольшая ширина, исключавшая возникновение и функционирование микро-риентри процессов. Первые операции «Лабиринт» показали высокую эффективность (77%), однако в ряде случаев сопровождались развитием дисфункции СУ (23%), что требовало имплантации ЭКС [4; 17]. С целью устранения этих недостатков и оптимизации хирургической техники операция «Лабиринт» претерпела четыре модификации. Недостатком операции «Лабиринт I» (Maze I) являлось возникновение дисфункции СУ в результате инцизионных повреждений в области устья верхней полой вены (ВПВ). В процессе модификации операции «Лабиринт II» (Maze II) было решено отказаться от выполнения разрезов вокруг СУ. Однако это значительно усложнило выполнение разрезов на крыше ЛПП и межпредсердной перегородке (МПП). Кроме того, после выполнения как операции «Лабиринт-I», так и «Лабиринт II» часто наблюдалась дисфункция ЛП за счет повреждения пучка Бахмана. Также требовалось использование заплаты для предотвращения сужения ВПВ. Операция «Лабиринт III» (Maze III) лишена описанных недостатков. В третьей модификации для предотвращения повреждения пучка Бахмана и сохранения межпредсердного проведения разрез по крыше ЛП был смещен еще больше кзади. Для исключения необходимости применения перикардиальной заплаты на ВПВ выполнялся лишь один разрез. Общеизвестно, что «Лабиринт III» (Maze III) является «золотым стандартом» хирургического лечения ФП на открытом сердце [16]. По данным J. Cox и соавт. в группе пациентов, насчитывающих 118 человек эффективность операции через 8,5 лет составила 93%, а летальность – 2%. Лишь 2% пациентов нуждались в постоянном приеме антиаритмических препаратов [18]. Несмотря на хорошие результаты операции «Лабиринт III», методика не получила широкого клинического применения в связи с длительным временем искусственного кровообращения, высоким риском интра- и послеоперационных кровотечений, значительной технической сложностью операции.

В последние десятилетия новые устройства для радиочастотной абляции позволили упростить процедуру и уменьшить время искусственного кровообращения. Модификация операции «Лабиринт» с использованием радиочастотной энергии, дополненной отдельными криоаппликациями, получила название «Лабиринт IV» (Maze IV) [20; 28]. В дальнейшем проводился поиск дополнительных

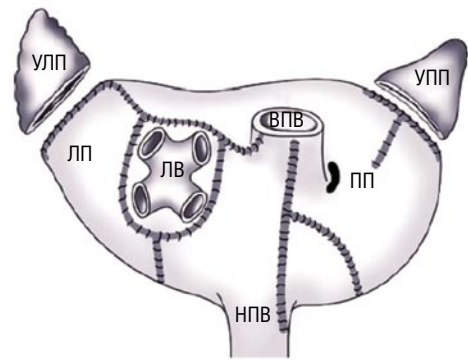


Рис. 3. Схема операции «Лабиринт» в модификации Maze III. ЛВ – легочные вены, ЛП – левое предсердие, ПП – правое предсердие, УЛП – ушко левого предсердия, УПП – ушко правого предсердия, НПВ – нижняя полая вена ВПВ – верхняя полая вена. Из Cox JL et al. J Thorac Cardiovasc Surg 1991; 101: 569–583.

видов энергии, которые можно было бы применить для деструкции биологических тканей. Так, в ряде наблюдений применялись микроволновая энергия, высокоинтенсивный фокусированный ультразвук и лазерное излучение. Однако применение этих технологий в клинической практике пока ограничено и требует дальнейшего изучения [4]. Внедрение новых технологий и источников энергии стимулировало развитие минимально инвазивных методов лечения.

Эволюция катетерных технологий

Фульгурация атриовентрикулярного соединения

Первой методикой успешного катетерного лечения ФП была процедура фульгурации атриовентрикулярного соединения, с целью создания искусственной полной поперечной блокады сердца, выполненная в 1982 г. J. Gallagher и M. Scheinman [35]. Предварительно пациентам был имплантирован постоянный электрокардиостимулятор. Для выполнения фульгурации применялся разряд постоянного электрического тока стационарного дифибриллятора. Таким образом, после операции ритм задавался только имплантированным кардиостимулятором. Операция позволяла достичь контроля частоты сердечных сокращений у пациентов, рефрактерных к профилактической антиаритмической терапии. Однако, мощный электрический разряд (около 200 Дж) вызывал баротравму, электротравму и термическое повреждение. Его было сложно дозировать [21]. В связи со значительной болезненностью, процедура выполнялась под общей анестезией. В дальнейшем у многих пациентов со временем развивалась хроническая сердечная недостаточность, связанная с постоянной желудочковой стимуляцией и диссинхронией желудочков сердца. Кроме того, процедура была сопряжена с риском таких осложнений как: тампонада сердца, желудочковая тахикардия. Радиочастотная (РЧ) энергия более дозируема, не вызывает баротравму. Для ее проведения не требуется общей анестезии. Регулируя время экспозиции и мощность энергии, можно контролировать глубину и площадь повреждения миокарда.

Изоляция устьев легочных вен (электрофизиологический подход)

В 1998 г. группа специалистов – аритмологов из Бордо (Франция), под руководством М. Haissaguerre, установила, что важную роль в индукции и поддержании ФП играют очаги триггерного автоматизма, расположенные в устьях легочных вен (ЛВ). Точечные РЧ воздействия на эти очаги позволяют в ряде случаев добиться устранения ФП (Рис. 4) [30]. Предложенная операция не требовала торакотомии, искусственного кровообращения, длительного пребывания пациента в стационаре. В исследование было включено 45 пациентов страдавших пароксизмальной формой ФП и рефрактерных к приему двух и более антиаритмических препаратов. При помощи специально разработанных многополюсных катетеров проводилось картирование эктопической электрической активности в обоих предсердиях и выполнялась радиочастотная абляция (РЧА). Очаги триггерного автоматизма были успешно устранены у 38 (84%) пациентов. Эффективность наблюдения за период наблюдения 7 месяцев составила 62%. В послеоперационном периоде пациенты не принимали антиаритмическую терапию.

С целью совершенствования операции, повышения ее эффективности и увеличения безопасности в 2000 г. М. Haissaguerre был разработан и внедрен в клиническую практику циркулярный многополюсный катетер Lasso, облегчающий процедуру картирования участков триггерного автоматизма (Рис. 5). Установленный в устье ЛВ, он позволял регистрировать электрические потенциалы аритмогенных фокусов.

В настоящее время стандартом хирургического лечения пароксизмальной формы ФП является циркулярная изоляция ЛВ до полного устранения электрической активности. Достижение двустороннего блока проведения электрического импульса (со стороны легочной вены на предсердие и наоборот) является обязательной конечной точкой процедуры.

Радиочастотная абляция левого предсердия с использованием системы трехмерного электроанатомического картирования

В 1999 г. итальянским аритмологом С. Рарроне была разработана методика изоляции триггеров устьев ЛВ с применением системы трехмерного электроанатомического картирования [36]. Перед началом операции под операционным столом размещают магнитный эмиттер, создающий низкоэнергетическое магнитное поле. Управляемый навигационный катетер, который через венозное русло проводится в сердце пациента, имеет на своем окончании специальный магнитный датчик. Он позволяет отслеживать положение абляционного катетера по трехмерным осям пространства (x, y, z) с точностью до 1 мм. Его движения в виртуальной трехмерной среде отображаются на мониторе. При построении модели каждая точка пространства полости ЛП, в которой находился катетер, сохраняется системой. В результате формируется

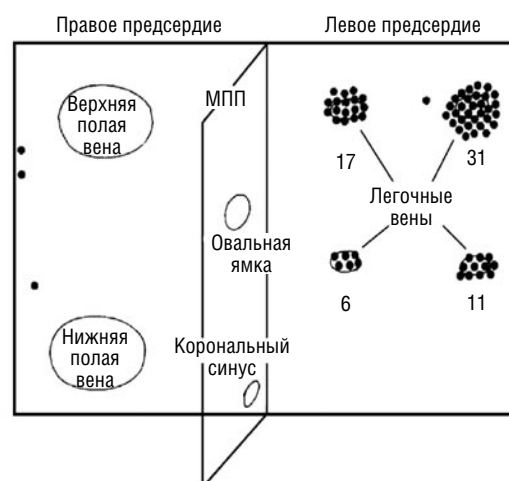


Рис. 4. Схема расположения 69 эктопических фокусов фибрилляции предсердий в правом и левом предсердиях у 45 прооперированных пациентов. МПП – межпредсердная перегородка. Из Haissaguerre M. et al N Engl J Med. 1998; 10: 659-666.

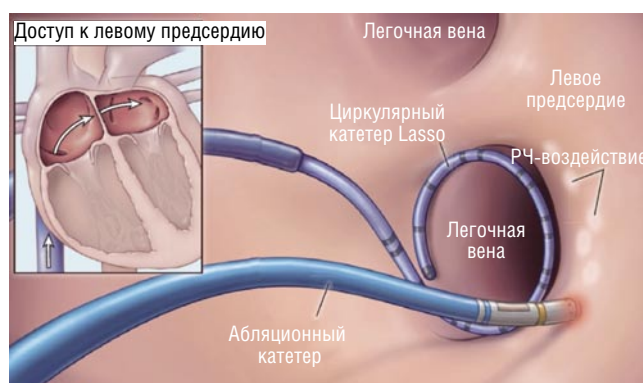


Рис. 5. Радиочастотная абляция легочных вен с использованием циркулярного многополюсного катетера Lasso. РЧ-воздействия – радиочастотные воздействия. Из Kuck KH, N Engl J Med 2016; 374: 2235-2245.

виртуальная копия ЛП и легочных вен (ЛВ) с точностью до 1 мм (Рис. 6).

Применение рентгеноскопии необходимо лишь в начале операции. Этап радиочастотной изоляции ЛВ выполняется с использованием построенной 3D модели. Области, где были нанесены воздействия, сохраняются в памяти системы и отмечаются красными точками.

Преимуществами электроанатомического картирования являются: высокая точность позиционирования катетера, наглядность, возможность более качественного выполнения линейных радиочастотных воздействий, значительно меньшее время флюороскопии. Недостатком – относительно высокая стоимость. Необходимым условием является идеально отточенная и слаженная работа хирурга и электрофизиолога. По данным С. Рарроне эффективность операции РЧА с использованием 3D навигационных систем при пароксизмальной форме ФП составляет 91%, при персистирующей форме ФП – 83%.

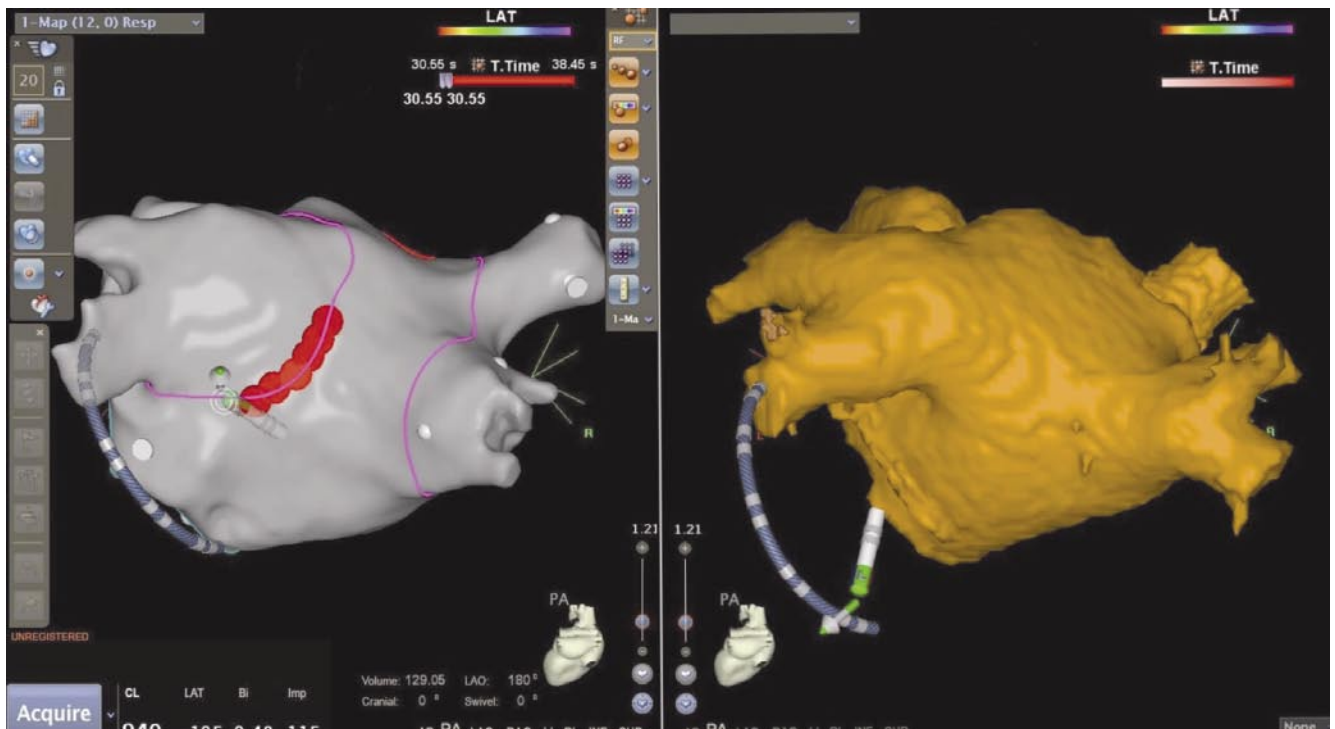


Рис. 6. Радиочастотная изоляция легочных вен с применением системы трехмерного навигационного картирования. Слева: модель левого предсердия построенная в магнитном поле системы. Справа: компьютерная томография левого предсердия. Из архива отделения хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца и электрокардиостимуляции НМХЦ им. Н.И. Пирогова.

Дальнейшее развитие технологии радиочастотной абляции происходило в соответствии с основной целью процедуры: выполнение надежной изоляции ЛВ. Было установлено, что непрерывность и трансмуральность повреждения линии циркулярного радиочастотного воздействия являются обязательными условиями успешного выполнения операции. Трансмуральность повреждения может быть достигнута путем применения энергии достаточной мощности при условии стабильного положения катетера в целевой точке. Ранее, применение РЧ энергии необходимой мощности сопровождалось явлением выраженного обугливания на окончании катетера и образованием кровяных сгустков. Данная проблема была решена после появления ирригационных абляционных катетеров, имеющих специальные отверстия для орошения физиологическим раствором. Для контроля стабильного положения катетера были разработаны специальные датчики силы контакта, измеряющие в режиме on-line величину давления окончания катетера на ткань сердца (Рис. 7).

Такие сенсоры не только позволяют, с одной стороны, добиться трансмуральности повреждения, увеличивая эффективность процедуры, а с другой стороны – повышают её безопасность, значительно снижая риск перфорации миокарда.

РЧА легочных вен в настоящее время является «золотым стандартом» катетерного лечения пароксизмальной формы ФП. По результатам недавно завершено крупного исследования SABANA, катетерная абляция



Рис. 7. Современный абляционный катетер. Из Lin T. Arrhythmia & Electrophysiology Review 2013; 3(1): 44-7.

снижает риск рецидива предсердных тахикардий на 40% по сравнению с медикаментозной терапией [39]. Однако, данная процедура отличается технической сложностью и длительностью выполнения. С целью оптимизации операции, снижения времени вмешательства и уменьшения лучевой нагрузки в течение последних десятилетий разрабатывался ряд устройств для изоляции ЛВ с использованием других источников энергии. Наибольшее распространение получила криобаллонная технология.

Криобаллонная технология

С момента своего появления в 2010 году криобаллонная технология зарекомендовала себя как эффективный и безопасный метод, позволяющий одномоментно создать

непрерывную повреждающую ткань линию (single-shot procedure) (Рис. 8). В ходе процедуры криобаллон позиционируется в устье легочной вены и приводит к окклюзии её просвета. Затем в сферу баллона подается оксид азота (N_2O). В области контакта баллона с эндокардом он переходит из жидкого состояния в газообразное, что сопровождается понижением температуры ткани (ниже $-50^\circ C$). Кристаллы льда, образующиеся из внеклеточной и внутриклеточной жидкостей, приводят к деструкции клеток и повреждению микроциркуляторного русла. В ходе криовоздействия достигается сохранение целостности структуры эндотелия и соединительного матрикса ткани. Воспалительная реакция в ответ на криовоздействие менее выражена по сравнению с РЧА [8]. Данная технология имеет следующие преимущества перед РЧА: меньший риск интра- и постоперационных осложнений и меньшее время вмешательства. Необходимым условием для надежной изоляции является полная окклюзия каждой ЛВ баллоном. Только при его соблюдении температура по всей окружности криобаллона снижается до достаточно низких значений, вызывая равномерное повреждение прилежащих тканей.

По результатам крупнейшего многоцентрового рандомизированного исследования Fire and Ice, в которое был включен 741 пациент с симптомной пароксизмальной формой ФП, РЧА и криобаллонная технология продемонстрировали сопоставимую эффективность и безопасность [15; 34].

Другой передовой технологией, позволяющей добиться надежной изоляции ЛВ, является лазерная абляция (ЛА).

Лазерная абляция

Система для выполнения ЛА состоит из специального баллонного катетера, внутри которого расположен миниатюрный эндоскоп диаметром 2F, позволяющий визуализировать процесс абляции в режиме on-line. (Рис. 9). Катетер устанавливается в устье ЛВ при помощи специального управляемого интродьюсера. Затем выполняется циркулярная абляция.

Визуальный контроль позволяет точно оценить, как плотность контакта баллона с тканью сердца, так и степень наносимого повреждения. Это особенно важно у пациентов с нетипичной анатомией ЛВ. По данным S.R. Dukkipati, J. Kautzner, L. Šedivá и соавт. у пациентов с пароксизмальной формой ФП эффективность процедуры в течение 1 года составила от 60,2% до, 82,3% [22; 42].

Торакоскопические вмешательства

Высокая эффективность лечения катетерными технологиями продемонстрирована только в отношении пароксизмальной формы ФП. При персистирующей форме ФП, по результатам различных клинических исследований, эффективность изоляции ЛВ, выполненной как на открытом сердце, так и с использованием катетерных технологий, составляет не более 20% [13; 27; 46]. Важным



Рис. 8. Криобаллонный катетер. Из Zuchowski B. Expert Rev Med Devices. 2014, 6: 595-603.

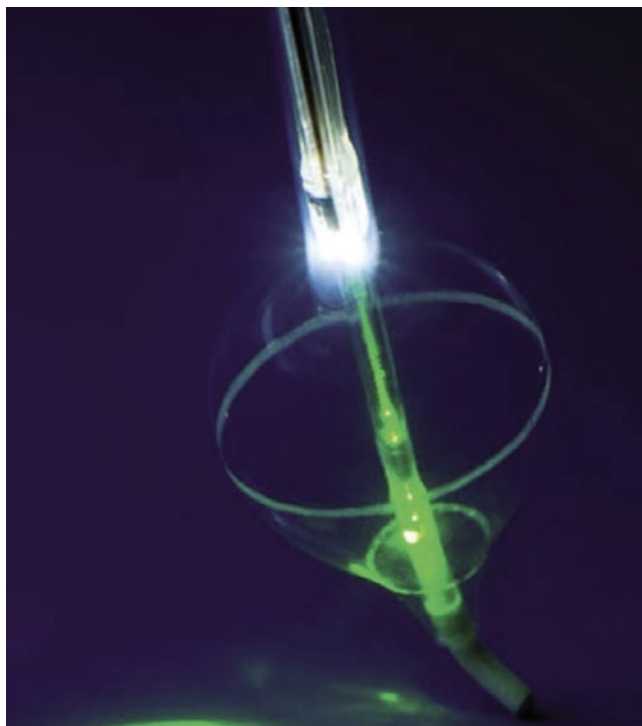


Рис. 9. Лазерный баллон. Из Wissner E. et al. Future Cardiol. 2015; 11(6): 663-71.

дополнительным фактором патогенеза при персистирующей форме является вначале структурное, а затем и электрическое ремоделирование миокарда, приводящее к его рефрактерной неомогенности. Таким пациентам более предпочтительно выполнение операции «Лабиринт».

Методики выполнения катетерных линейных воздействий в ЛП, воспроизводящих операцию «Лабиринт», очень трудоемки и сопряжены с большой лучевой нагрузкой на пациента и персонал, риском возникновения вторичных нарушений сердечного ритма, связанных с несостоятельностью линии абляции и наличием участков прорыва возбуждения через нее [40]. Операция «Лабиринт» является оператор-зависимой и трудно

тиражируется в повседневной клинической практике. Она связана с риском возникновения осложнений. Поэтому не может рассматриваться как метод выбора при изолированной ФП.

В настоящее время активно развиваются торакоскопические вмешательства, сочетающие в себе высокую эффективность операций на открытом сердце и малую травматичность катетерных методик. (Рис. 10). В большинстве случаев торакоскопическая РЧА выполняется или у пациентов с персистирующей ФП, или при неудачных неоднократных катетерных вмешательствах.

В 2005 г. R.K. Wolf и соавт. опубликовали работу, в которой сообщалось об успешном выполнении торакоскопической биполярной изоляции ЛВ и удалении ушка ЛП у 27 пациентов с изолированной ФП [1].

О выполнении первых успешных торакоскопических процедур, воспроизводящих левопредсердный этап операции «Лабиринт III» в 2009 г. докладывали J.R. Edgerton и соавт [24]. Эффективность достигала 90–96%. Ими была предложена наиболее удачная схема торакоскопической абляции левого предсердия – Dallas lesion set (Рис. 11) [24]. По данным исследования FAST, в котором приняло участие 124 пациента, торакоскопическая абляция ЛП превосходит РЧА у пациентов с дилатацией ЛП, или неэффективностью ранее выполненной процедуры катетерной РЧА [12].



Рис. 10. А – торакоскопический инструментарий. (С официального сайта www.atricure.com) Б – торакоскопическая изоляция левых легочных вен с использованием биполярного радиочастотного зажима. ЛВПВ – левая верхняя полая вена, ЛНПВ – левая нижняя полая вена. Из Wolf RK. Ann Cardiothorac Surg. 2014 Jan; 3(1): 98–104.

Известно, что электрическое ремоделирование миокарда у пациентов с ФП распространяется на оба предсердия. Поэтому торакоскопическая технология демонстрирует меньшую эффективность по сравнению с операциями на открытом сердце («Лабиринт III» и «Лабиринт IV»). S.D. Barnett и N. Ad показали наибольшую эффективность выполнения биатриальной абляционной процедуры [10]. Для преодоления недостатков мининвазивной хирургической абляции были разработаны гибридные операции, включающие в себя выполнение катетерной процедуры как одного из этапов операции (Рис. 12).

Гибридный подход

Выполнение РЧА в качестве одного из этапов операции позволяет не только дополнить торакоскопические линии абляции воздействиями на правом предсердии, но также выполнить ревизию состоятельности эпикардальных воздействий.

Выделяют несколько вариантов гибридной процедуры: одномоментный подход, когда операция на открытом сердце и катетерная процедура выполняются одновременно, секвенциальный, или последовательный подход, когда катетерный этап осуществляется спустя несколько дней, но в рамках той же госпитализации и

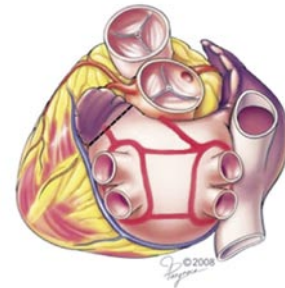


Рис. 11. Схема операции по методике Dallas lesion set. Из Zembala MO. Journal of Thoracic Disease, 2013; 5: S704–S712 • November 2013.

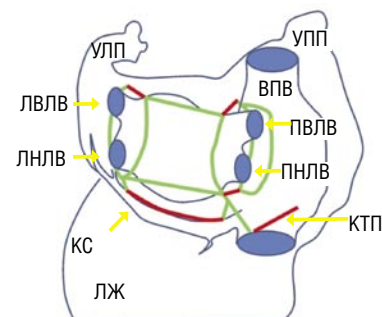


Рис. 12. Схематичное изображение эпикардальных (зеленый цвет) и эндокардиальных (красный цвет) линий абляции. УЛП – ушко левого предсердия, УПП – ушко правого предсердия, ВПВ – верхняя полая вена, КТП – кавотрикуспидальный перешеек, КС – коронарный синус, ЛВЛВ – левая верхняя легочная вена, ЛНЛВ – левая нижняя легочная вена, ПВЛВ – правая верхняя легочная вена, ПНЛВ – правая нижняя легочная вена. Из Laurent P. J Atr Fibrillation. 2013 Aug 31; 6(2): 857.

позаправный подход – катетерная абляция выполняется в другом стационаре спустя длительное время, но не более 6 месяцев [47]. Le Meir и соавт. в 2012 г. показали высокую эффективность одномоментного гибридного вмешательства по сравнению с изолированной торакоскопической абляцией ЛП: 91% и 82% соответственно [34].

Недостатком одномоментного выполнения торакоскопической и катетерной операций является увеличение риска геморрагических осложнений в связи с необходимостью введения прямых антикоагулянтов во время РЧА. Поэтому наиболее предпочтителен последовательный или поэтапный подход [3]. При этом выполнение РЧА спустя несколько месяцев целесообразно рассматривать лишь у пациентов с рецидивом ФП. Это приводит не только к уменьшению риска осложнений, но также снижает экономические затраты на лечение одного пациента.

Новые технологии

Гибридный подход, позволяет значительно снизить травматичность операции и демонстрирует эффективность сопоставимую с открытым оперативным вмешательством. Современное развитие технологий для лечения ФП идет по пути сокращения продолжительности процедуры, её упрощения, уменьшения лучевой нагрузки, снижения риска осложнений и повышения эффективности.

С целью уменьшения времени процедуры РЧА ЛВ, одномоментного нанесения циркулярного РЧ воздействия, получения непрерывной линии абляции начаты и продолжаются в настоящее время разработки многополюсных РЧ абляционных катетеров, а так же РЧ баллона [19; 33; 51]. Первое поколение лечебного многополюсного катетера nMARQ (BiosenseWebster) не показало достаточной эффективности и его использование сопровождалось большим количеством осложнений. В настоящее время разработан более совершенный прототип многополюсного лечебного РЧ катетера [34]. Это устройство, а также циркулярный многополюсный катетер PVAC (Medtronic Inc.) и радиочастотный баллон (Biosense Webster) сейчас проходят клинические испытания (Рис. 13).

В криотехнологии сейчас применяются не только баллоны но и специальные криокатетеры, позволяющие выполнять воздействия в тех анатомических областях сердца, где адекватное позиционирование баллона невозможно. С их помощью можно также устранять участки триггерной активности вне устьев ЛП, выполнять линейные воздействия в правом предсердии для лечения типичного трепетания предсердий [6; 52].

В настоящее время активно расширяется область применения ультразвука в лечении ФП. Трехмерное ультразвуковое исследование обеспечивает получение качественного изображения структур ЛП в режиме on-line (Рис. 14) [25].



Рис. 13. А – циркулярный многополюсный катетер PVAC (Medtronic Inc.). Из Zuchowski B. Expert Rev Med Devices. 2014, 6:595-603. Б – циркулярный многополюсный ирригационный катетер nMARQtm (Тот же источник) В – многополюсный ирригационный баллон (Biosense Webster). Из Fornell D. DAIC. May 2017 www.dicardiology.com.

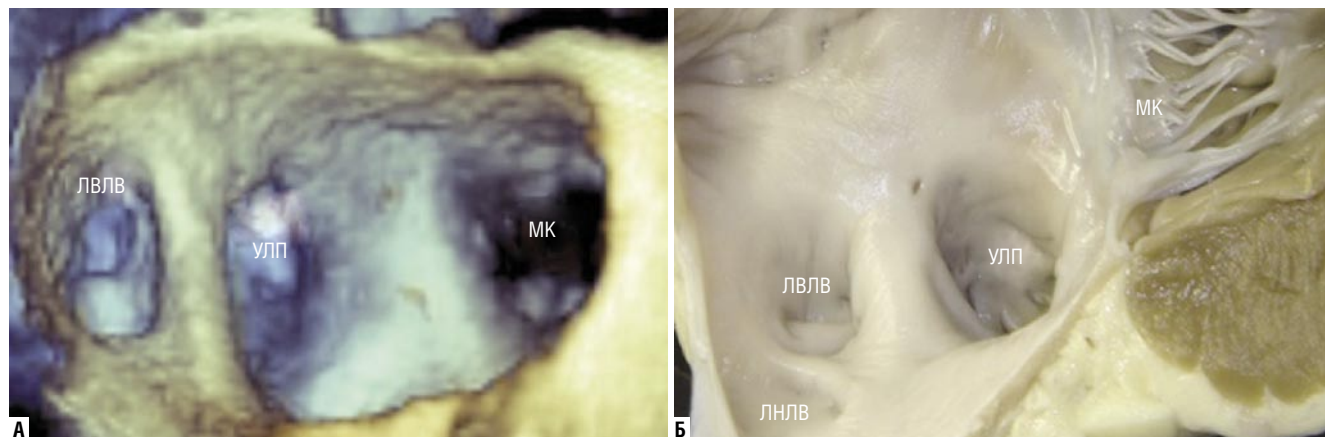


Рис. 14. А – чреспищеводная 3D эхокардиография левого предсердия. Б – соответствующий анатомический препарат. Из Faletra FF et al. JACC Cardiovasc Imaging. 2012 Apr; 5(4): 456-62.

Использование современных внутрисердечных ультразвуковых катетеров значительно улучшает визуализацию структур сердца и, при одновременном построении 3D модели ЛП с применением навигационных систем, повышает точность нанесения радиочастотных воздействий, минимизирует время рентгеноскопии [31].

В настоящее время одним из перспективных направлений является неинвазивная радиохирургия аритмий сердца, в частности желудочковых тахикардий [11; 50]. Возможно, этот метод в будущем будет применяться и для лечения ФП.

В аритмологии, так же как и в других хирургических направлениях, все чаще используются роботизированные системы. В электрофизиологической лаборатории они позволяют значительно уменьшить лучевую нагрузку на персонал, а также увеличить точность и стабильность позиционирования катетеров в полости сердца [41]. Роботизированная система NIOBE magnetic navigation system (Stereotaxis (STXS), США) (Рис. 15) получила наиболее



Рис. 15. Система Stereotaxis. Из Petra J. et al. Cor et Vasa Volume 2012; 6: 408-413.

широкое распространение в клинической практике [15]. Она осуществляет навигацию и механическое поступательное движение катетеров, используя магнитное поле двух больших электрических магнитов, расположенных по обеим сторонам операционного стола. Управление катетерами происходит удаленно при помощи специального джойстика. С данной установкой могут коммутироваться трехмерные навигационные системы.

Система Sensei (Hansen Medical, Inc., США) (Рис. 16) является электромеханическим устройством, которое также управляется дистанционно [39]. Как и при использовании STXS, возможна коммутация с системами трехмерной навигации. Особенности системы являются относительная простота применения и низкая стоимость оборудования (по сравнению с системой STXS).

Роботизированная система, разработанная компанией Magnetecs (Catheter Guidance Control and Imaging (CGCI), США) включает 8 магнитов, которые расположены на 2 полусферах вокруг операционного стола (по 4 магнита на каждой полусфере) [44]. Для работы с данным оборудованием может быть использован любой катетер с намагниченным окончанием. Предусмотрен полностью автоматический режим работы без участия оператора, согласно заранее выбранному дизайну вмешательства (например, изоляция ЛВ). Конструкция держателей магнитов полностью исключает проникновение магнитного поля за пределы установки.

Система Amigo (Catheter Robotics Inc; Mount Olive, NJ, USA) состоит из роботизированной руки и пульта управления и технически является самым простым робот-ассистированным устройством из представленных выше. Она может работать с катетерами любых производителей. Во время вмешательства катетер может быть временно удален из роботической руки для работы в ручном режиме, а затем повторно возвращен в устройство [41]. Применение данных систем у пациентов с ФП демонстрируют сопоставимые показатели эффективности и



Рис. 16. Система Sensei. А – рука робота, в которой зафиксирован абляционный катетер, проведенный в сердце пациента через правую бедренную вену. Б – рабочая станция для удаленного управления катетером при помощи джойстика (в центре рисунка). Из Petra J. et al. Cor et Vasa Volume 2012; 6: 408-413.

безопасности по сравнению с классической методикой радиочастотной изоляции ЛВ [39; 41; 43].

В нашей стране и зарубежом все чаще применяются хирургические роботы Da Vinci (Intuitive Surgical, США). Вероятно, их дальнейшее внедрение в клиническую практику повысит безопасность и эффективность торакоскопических процедур, выполняемых по поводу ФП, уменьшит их продолжительность

Заключение

За последние 20 лет медикаментозное, катетерное и хирургическое лечение ФП достигло больших успехов. Развитие абляционных технологий, применение различных источников энергии для деструкции биологической ткани и миниинвазивных доступов значительно повысило эффективность немедикаментозного лечения ФП. Катетерная изоляция ЛВ сегодня является «золотым стандартом лечения» пациентов с пароксизмальной формой ФП. Лучшие результаты у пациентов с персистирующей формой ФП получают при выполнении операций на открытом сердце. Обе методики требуют приобретения хирургом большого практического опыта, совершенных манипуляционных навыков. Учитывая техническую сложность выполнения, как операции «Лабиринт», так и РЧ катетерной абляции, современный вектор развития технологий немедикаментозного лечения ФП направлен в сторону тиражируемости и минимизации отрицательного влияния человеческого фактора. Большое клиническое значение в настоящее время имеют устройства для одномоментной изоляции ЛВ: баллонные системы и многополюсные РЧ катетеры, применение которых значительно упрощает и ускоряет выполнение операции. Соединяя в себе высокую эффективность открытых операций и малую травматичность катетерных методик, важную роль приобретают торакоскопические и гибридные оперативные вмешательства. Использование большого количества медицинских технологий лечения пациентов с ФП клинически оправдано, так как с патогенетической точки зрения эта группа больных не является однородной. Немедикаментозное лечение пациентов с ФП целесообразно с экономической точки зрения, так как значительно уменьшает количество госпитализаций и снижает общую стоимость лечения [7; 9; 12; 23; 37; 38; 49].

В отличие от пароксизмальной формы ФП, ведущую роль в инициации которой играют очаги триггерного автоматизма, патогенез персистирующей формы ФП, вероятно, является многофакторным. Ожидается, что в течение последующей декады большой акцент будет сделан на детальное изучение механизмов этой формы ФП. Это позволит выявить мишени для воздействия на миокард, разработать обоснованную тактику лечения.

Другим важным аспектом, с пониманием которого связывается дальнейший прогресс в лечении данной болезни, является мультидисциплинарность проблемы. Только совместная согласованная работа кардиологов,

анестезиологов-реаниматологов, сердечно-сосудистых и торакальных хирургов может привести к улучшению качества оказания медицинской помощи пациентам с данной сложной патологией.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Бокерия, Л.А., Ревшвили, А.Ш. и др. Наш опыт хирургического лечения фибрилляции предсердий в сочетании с коррекцией митрального порока сердца // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2003. С. 12–18. [Bokeriya, L.A., Revishvili, A.SH. M.R.M. i dr. Nash opyt hirurgicheskogo lecheniya fibrillyacii predserdij v sochetanii s korrekciej mitral'nogo poroka serdca // Grudnaya i serdechno-sosudistaya hirurgiya. 2003. S. 12–18].
2. Бокерия, Л.А., Ревшвили, А.Ш., Ольшанский, М.С. Хирургическое лечение фибрилляции предсердий: опыт и перспективы развития. // Грудная и серд.-сосуд. хир. 1889. № 1. С. 7–14. [Bokeriya, L.A., Revishvili, A.SH. Ol'shanskij, M.S. Hirurgicheskoe lechenie fibrillyacii predserdij: opyt i perspektivy razvitiya. // Grudnaya i serd.-sosud. hir. 1889. № 1. S. 7–14].
3. Пиданов, О.Ю. Торакоскопическая абляция - новые горизонты хирургического лечения фибрилляции предсердий. // Анналы аритмологии. 2016. Vol. 13. № 4. С. 204–210. [Pidanov, O.YU. Torakoskopicheskaya ablyaciya - novye grizonty hirurgicheskogo lecheniya fibrillyacii predserdij. // Annaly aritmologii. 2016. Vol. 13. № 4. S. 204–210].
4. Свешников, А.В. Воробьев, А.С. Хирургическое лечение фибрилляции предсердий у больных с клапанной патологией сердца: эффективность, безопасность, отдаленные результаты. // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2012. Vol. 7. № 4. С. 29–35. [Sveshnikov, A.V. Vorob'ev, A.S. Hirurgicheskoe lechenie fibrillyacii predserdij u bol'nyh s klapannojo patologiej serdca: ehffektivnost', bezopasnost', otdalennye rezul'taty. // Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo Centra im. N.I. Pirogova. 2012. Vol. 7. № 4. S. 29–35].
5. Сулимов, В.А., Голицын, С.П., Панченко, Е.П., Попов, С.В., Ревшвили, А.Ш., Шубик, Ю.В. и др. Редакционная с. Диагностика и лечение фибрилляции предсердий // Российский кардиологический журнал. 2013. Vol. 4s3. С. 5–100. [Sulimov, V.A., Golitsyn, S.P., Panchenko, E.P., Popov, S.V., Revishvili, A.SH., Shubik, YU.V. i dr. Redakcionnaya s. Diagnostika i lechenie fibrillyacii predserdij // Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. 2013. Vol. 4s3. S. 5–100].
6. U.S. National Library of Medicine ClinicalTrials.gov // STOP Persistent AF [Электронный ресурс]. URL: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03012841>.
7. Adragão, P.P., Cavaco, D., Ferreira, A.M. et. al. Safety and Long-Term Outcomes of Catheter Ablation of Atrial Fibrillation Using Magnetic Navigation versus Manual Conventional Ablation: A Propensity-Score Analysis. // Journal of cardiovascular electrophysiology. 2016. Vol. 27 Suppl 1. № S1. P. S11–6.
8. Andrade, J.G., Dubuc, M., Guerra, P.G. et. al. The Biophysics and Biomechanics of Cryoballoon Ablation // Pacing and Clinical Electrophysiology. 2012. Vol. 35. № 9. P. 1162–1168.
9. Aronsson, M., Walfridsson, H., Janzon, M. et. al. The cost-effectiveness of radiofrequency catheter ablation as first-line treatment for paroxysmal atrial fibrillation: results from a MANTRA-PAF substudy. // Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology. 2015. Vol. 17. № 1. P. 48–55.
10. Barnett, S.D., Ad, N. Surgical ablation as treatment for the elimination of atrial fibrillation: A meta-analysis // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2006. Vol. 131. № 5. P. 1029–1035.
11. Blanck, O., Ipsen, S., Chan, M.K. et. al. Treatment Planning Considerations for Robotic Guided Cardiac Radiosurgery for Atrial Fibrillation // Cureus. 2016.
12. Boersma, L.V., Castella, M., Boven, W. van et. al. Atrial Fibrillation Catheter Ablation Versus Surgical Ablation Treatment (FAST) A 2-Center Randomized Clinical Trial 2011.
13. Calkins, H., Hindricks, G., Cappato, R. et. al. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHSR/SOLACE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation // EP Europace. 2018. Vol. 20. № 1. P. e1–e160.
14. Castellá, M., Pereda, D., Mestres, C.A. et. al. Thoracoscopic pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation and failed percutaneous ablation // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2010. Vol. 140. № 3. P. 633–638.

15. Chugh, S.S., Havmoeller, R., Narayanan, K. et. al. Worldwide epidemiology of atrial fibrillation: a Global Burden of Disease 2010 Study. // *Circulation*. 2014. Vol. 129. № 8. P. 837–47.
16. Chun, K.R.J., Metzner, A., Kuck, K. et. al. Cryoballoon or radiofrequency ablation for symptomatic paroxysmal atrial fibrillation: reintervention, rehospitalization, and quality-of-life outcomes in the FIRE AND ICE trial 2016. P. 2858–2865.
17. Costa, A. Da, Guichard, J.B., Maillard, N. et. al. Substantial superiority of Niobe ES over Niobe II system in remote-controlled magnetic pulmonary vein isolation. // *International journal of cardiology*. 2017. Vol. 230. P. 319–323.
18. Cox, J.L., Boineau, J.P., Schuessler, R.B., Jaquiss, R.D., Lappas, D.G. Modification of the maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation. I. Rationale and surgical results. // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1995. Vol. 110. № 2. P. 473–84.
19. Cox, J.L., Schuessler, R.B., D'Agostino, H.J. et. al. The surgical treatment of atrial fibrillation. III. Development of a definitive surgical procedure. // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1991. Vol. 101. № 4. P. 569–83.
20. Cox, J.L., Schuessler, R.B., Lappas, D.G., Boineau, J.P. An 8 1/2-year clinical experience with surgery for atrial fibrillation. // *Annals of surgery*. 1996. Vol. 224. № 3. P. 267–73; discussion 273–5.
21. Fornell, D. Multi-Electrode RF Balloon Efficient for Acute Pulmonary Vein Isolation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dicardiology.com/article/multi-electrode-rf-balloon-efficient-acute-pulmonary-vein-isolation>.
22. Damiano, R.J., Bailey, M. The Cox-Maze IV procedure for lone atrial fibrillation // *Multimedia Manual of Cardio-Thoracic Surgery*. 2007. Vol. 2007. № 0723.
23. Denes P. Radiofrequency catheter ablation of the AV node. // *Journal of the American College of Cardiology*. 1991. Vol. 18. № 7. p. 1759–60.
24. Dukkupati, S.R., Kuck, K.-H., Neuzil, P. et. al. Pulmonary Vein Isolation Using a Visually Guided Laser Balloon Catheter: The First 200-Patient Multicenter Clinical Experience // *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2013. Vol. 6. № 3. P. 467–472.
25. Eckard, N., Davidson, T., Walfridsson, H., Levin, L.-Å. Cost-Effectiveness Of Catheter Ablation Treatment For Patients With Symptomatic Atrial Fibrillation. // *Journal of atrial fibrillation*. Vol. 2. № 2. 195 p.
26. Edgerton, J.R., Jackman, W.M., Mack, M.J. A New Epicardial Lesion Set for Minimal Access Left Atrial Maze: The Dallas Lesion Set // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2009. Vol. 88. № 5. P. 1655–1657.
27. Faletra, F.F., Nucifora, G., Regoli, F. et. al. Anatomy of pulmonary veins by real-time 3D TEE: implications for catheter-based pulmonary vein ablation. // *JACC. Cardiovascular imaging*. 2012. Vol. 5. № 4. P. 456–62.
28. G.M. Guiraudon, C.S. Campbell, D.L. Jones, J.L. McLellan J.L.M. Combined sino-atrial node atrioventricular node isolation: a surgical alternative to his bundle ablation in patients with atrial fibrillation // *Circulation*. 1985. Vol. 72. p. 220.
29. Ganesan, A.N., Shipp, N.J., Brooks, A.G. et. al. Long-term Outcomes of Catheter Ablation of Atrial Fibrillation: A Systematic Review and Meta-analysis // *Journal of the American Heart Association*. 2013. Vol. 2. № 2. P. e004549–e004549.
30. Gaynor, S.L., Diodato, M.D., Prasad, S.M. et. al. A prospective, single-center clinical trial of a modified Cox maze procedure with bipolar radiofrequency ablation. // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2004. Vol. 128. № 4. P. 535–42.
31. Graffigna, A., Pagani, F., Minzioni, G., Salerno, J., Viganò, M. Left atrial isolation associated with mitral valve operations. // *The Annals of thoracic surgery*. 1992. Vol. 54. № 6. P. 1093–7; discussion 1098.
32. Haissaguerre, M., Jais, P., Shah, D.C. et. al. Spontaneous Initiation of Atrial Fibrillation by Ectopic Beats Originating in the Pulmonary Veins // *New England Journal of Medicine*. 1998. Vol. 339. № 10. P. 659–666.
33. Inoue, K. CartoMerge using SoundStar Catheter and Time Force Integral-Based Ablation for Atrial Fibrillation // *International Journal of Arrhythmia*. 2017. Vol. 18. № 1. P. 27–32.
34. Kishore, A., Vail, A., Majid, A. et. al. Detection of Atrial Fibrillation After Ischemic Stroke or Transient Ischemic Attack: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Stroke*. 2014. Vol. 45. № 2. P. 520–526.
35. Kuck, K.-H., Brugada, J., Fürnkranz, A. et. al. Cryoballoon or Radiofrequency Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation // *New England Journal of Medicine*. 2016. Vol. 374. № 23. P. 2235–2245.
36. Laish-farkash, A., Suleiman, M. Comparison of the Efficacy of PVAC® and nM-ARQ TM for paroxysmal Atrial Fibrillation 2017. Vol. 9. № 6. P. 1–9.
37. Meir, M. La, Gelsomino, S., Lucà, F. et. al. Minimal invasive surgery for atrial fibrillation: an updated review. // *Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*. 2013. Vol. 15. № 2. P. 170–82.
38. Melvin, M., Morady, F., Hess, D.S., Gonzalez, R. Catheter-Induced Ablation of the Atrioventricular Junction to Control Refractory Supraventricular Arrhythmias 1985. Vol. 248. № 7. P. 851–5.
39. Packer, D.L., Mark, D.B., Robb, R.A. et. al. Catheter Ablation versus Antiarrhythmic Drug Therapy for Atrial Fibrillation (CABANA) Trial: Study Rationale and Design // *American Heart Journal*. 2018. Vol. 199. P. 192–199.
40. Pappone, C., Rosanio, S., Oreto, G. et. al. Circumferential radiofrequency ablation of pulmonary vein ostia: A new anatomic approach for curing atrial fibrillation. // *Circulation*. 2000. Vol. 102. № 21. P. 2619–28.
41. Quenneville, S.P., Xie, X., Brophy, J.M. The cost-effectiveness of Maze procedures using ablation techniques at the time of mitral valve surgery // *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2009. Vol. 25. № 04. P. 485–496.
42. Reynolds, M.R., Lamotte, M., Todd, D. et. al. Cost-effectiveness of cryoballoon ablation for the management of paroxysmal atrial fibrillation. // *Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*. 2014. Vol. 16. № 5. P. 652–9.
43. Rillig, A., Schmidt, B., Biase, L. Di et. al. Manual Versus Robotic Catheter Ablation for the Treatment of Atrial Fibrillation: The Man and Machine Trial. // *JACC. Clinical electrophysiology*. 2017. Vol. 3. № 8. P. 875–883.
44. Sawhney, N., Anousheh, R., Chen, W., Feld, G.K. Circumferential pulmonary vein ablation with additional linear ablation results in an increased incidence of left atrial flutter compared with segmental pulmonary vein isolation as an initial approach to ablation of paroxysmal atrial fibrillation. // *Circulation. Arrhythmia and electrophysiology*. 2010. Vol. 3. № 3. P. 243–8.
45. Schmidt, B., Chun, K.R.J., Tiltz, R.R. et. al. Remote navigation systems in electrophysiology // *Europace*. 2008. Vol. 10. № Supplement 3. P. iii57–iii61.
46. Šedivá, L., Petrů, J., Škoda, J. et. al. Visually guided laser ablation: a single-centre long-term experience. // *Europace: European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology: journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*. 2014. Vol. 16. № 12. P. 1746–51.
47. Shurrab, M., Danon, A., Lashevsky, I. et. al. Robotically assisted ablation of atrial fibrillation: A systematic review and meta-analysis // *International Journal of Cardiology*. 2013. Vol. 169. № 3. P. 157–165.
48. Skoda, J., Petru, J. Robot-assisted navigation in atrial fibrillation ablation – Of any benefits? // 2012. Vol. 54. P. 408–413.
49. Steinberg, B.A., Kim, S., Fonarow, G.C. et. al. Drivers of hospitalization for patients with atrial fibrillation: Results from the Outcomes Registry for Better Informed Treatment of Atrial Fibrillation (ORBIT-AF). // *American heart journal*. 2014. Vol. 167. № 5. P. 735–42.e2.
50. Verma, A., Jiang, C., Betts, T.R. et. al. Approaches to Catheter Ablation for Persistent Atrial Fibrillation // *New England Journal of Medicine*. 2015. Vol. 372. № 19. P. 1812–1822.
51. Vroomen, M., Pison, L. Hybrid ablation for atrial fibrillation: a systematic review // *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2016. Vol. 47. № 3. P. 265–274.
52. Williams, J.M., Ungerleider, R.M., Lofland, G.K., Cox, J.L. Left atrial isolation: new technique for the treatment of supraventricular arrhythmias. // *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 1980. Vol. 80. № 3. P. 373–80.
53. Wodchis, W.P., Bhatia, R.S., Leblanc, K., Meshkat, N., Morra, D. A review of the cost of atrial fibrillation // *Value in Health*. 2012. Vol. 15. № 2. P. 240–248.
54. Zei, P.C., Soltys, S. Ablative Radiotherapy as a Noninvasive Alternative to Catheter Ablation for Cardiac Arrhythmias 2017. P. 1–9.
55. U.S. National Library of Medicine ClinicalTrials.gov // PVAC GOLD Versus Irrigated RF Single Tip Catheter With Contact FORCE Ablation of the Pulmonary Veins for Treatment of Drug Refractory Symptomatic Paroxysmal and Persistent Atrial Fibrillation (GOLD-FORCE) [Электронный ресурс]. URL: <https://clinicaltrials.gov>.
56. medtronic.com // Freezor Cardiac Cryoablation Catheters [Электронный ресурс]. URL: <http://www.medtronic.com/us-en/healthcare-professionals/products/cardiac-rhythm/ablation-atrial-fibrillation/freezor-max-cardiac-cryoablation-catheter.html>.