

<https://doi.org/10.35336/VA-1297>

<https://elibrary.ru/ZMDDKH>

МНОГОКОНТАКТНОЕ КАРТИРОВАНИЕ В ЛЕЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА

Н.З.Гасимова¹, В.В.Шабанов², Н.В.Сафонов³, Ф.Г.Рзаев⁴, А.Г.Филатов⁵,

П.В.Рогалев⁶, Е.Б.Кропоткин⁷, Е.Н.Михайлов¹

¹ФГБУ «НМИЦ им. В.А.Алмазова» МЗ РФ, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;

²ФГБУ «НМИЦ им.ак.Е.Н.Мешалкина» МЗ РФ, Россия, Новосибирск, ул. Речкуновская, д. 15;

³ГБУЗ города Москвы «ГКБ № 1 им. Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 8; ⁴ГБУЗ города Москвы «ГКБ имени И.В.Давыдовского

Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, ул. Яузская, д. 1;

⁵ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ, Россия, Москва, Рублевское ш., д. 135;

⁶ГБУЗ «МОКБ им. П.А.Баяндина», Россия, Мурманск, ул. Академика Павлова, д. 6, корп. 3;

⁷ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии», Россия, Красноярск, ул. Караульная, д. 45.

Настоящий документ разработан по итогам экспертного совета ведущих специалистов России в области интервенционного лечения сложных нарушений ритма сердца. Данный документ резюмирует мнения авторов относительно преимуществ использования многоконтактного картирования и клинические особенности данного метода при катетерном лечении большинства тахиаритмий. В документе подробно обсуждаются особенности использования катетера PENTARAY® NAV eco в качестве инструмента многоконтактного картирования и клинический опыт его применения.

Ключевые слова: экспертное мнение; многоконтактное картирование; катетерная абляция; картирование субстрата; фибрилляция предсердий; предсердная тахикардия; желудочковая тахикардия; желудочковая экстрасистолия; электромагнитная навигация; лучевая нагрузка

Конфликт интересов: авторы сообщают о получении финансовых средств от ООО «Джонсон и Джонсон» за экспертную работу.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Джонсон и Джонсон»

Рукопись получена: 01.12.2023 **Исправленная версия получена:** 05.12.2023 **Принята к публикации:** 07.12.2023

Ответственный автор: Михайлов Евгений Николаевич, E-mail: e.mikhaylov@almazovcentre.ru

Н.З.Гасимова - ORCID ID 0000-0002-3878-8783, В.В.Шабанов - ORCID ID 0000-0001-9066-3227, Н.В.Сафонов - ORCID ID 0000-0003-3485-3936, Ф.Г.Рзаев - ORCID ID 0000-0002-4094-7771, А.Г.Филатов - ORCID ID 0000-0002-7026-7814, Е.Б.Кропоткин - ORCID ID 0000-0001-9094-378X, Е.Н.Михайлов - ORCID ID 0000-0002-6553-9141

Для цитирования: Гасимова НЗ, Шабанов ВВ, Сафонов НВ, Рзаев ФГ, Филатов АГ, Рогалев ПВ, Кропоткин ЕБ, Михайлов ЕН. Многоконтактное картирование в лечении различных нарушений ритма сердца. *Вестник аритмологии*. 2024;31(1): e34-e46. <https://doi.org/10.35336/VA-1297>.

MULTIPOLAR MAPPING IN THE MANAGEMENT OF DIFFERENT ARRHYTHMIAS

N.Z.Gasimova¹, V.V.Shabanov², N.V.Safonov³, F.G.Rzayev⁴, A.G.Filatov⁵,

P.V.Rogalev⁶, E.B.Kropotkin⁷, E.N.Mikhaylov¹

¹Almazov National Medical Research Center, Russia, St. Petersburg, 2 Akkuratova str.; ²Meshalkin National Medical Research Center, Russia, Novosibirsk, 15 Rechkunovskaya str.; ³City Clinical Hospital No. 1 of the State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow "Pirogov City Clinical Hospital No. 1 of the Department of Health of the Moscow", Russia, Moscow, 8 Leninsky ave.; ⁴Davydovsky City Clinical Hospital of the Department of Health of the Moscow", Russia, st. Yauzskaya, 1; ⁵Bakulev National Medical Research Center of the Cardiovascular Surgery, Russia, Moscow, 135 Rublevskoe r.; ⁶Bayandin Murmansk Regional Clinical Hospital, Russia, Murmansk, 6 Academician Pavlova str, building. 3; ⁷Federal Center of the Cardiovascular Surgery, Russia, Krasnoyarsk, 45 Karaulnaya, str.

This article brings together the opinions of leading experts in the field of cardiac arrhythmia interventional treatment using multipolar mapping. The advantages and applicability of the PENTARAY® NAV eco mapping catheter are discussed in detail.

Key words: experts opinion; multipolar mapping; catheter ablation; substrate mapping; atrial fibrillation; atrial tachycardia; ventricular tachycardia; ventricular premature beats; electroanatomic navigation; radiation exposure

Conflict of Interests: the authors report receiving consultation honoraria from Johnson and Johnson.

Funding: this work was supported by Johnson and Johnson.

Received: 01.12.2023 **Revision received:** 05.12.2023 **Accepted:** 07.12.2023

Corresponding author: Evgeny Mikhaylov, E-mail: e.mikhaylov@almazovcentre.ru

N.Z.Gasimova - ORCID ID 0000-0002-3878-8783, V.V.Shabanov - ORCID ID 0000-0001-9066-3227, N.V.Safonov - ORCID ID 0000-0003-3485-3936, F.G.Rzaev - ORCID ID 0000-0002-4094-7771, A.G.Filatov - ORCID ID 0000-0002-7026-7814, E.B.Kropotkin - ORCID ID 0000-0001-9094-378X, E.N.Mikhaylov - ORCID ID 0000-0002-6553-9141

For citation: Gasimova NZ, Shabanov VV, Safonov NV, Rzaev FG, Filatov AG, Rogalev PV, Kropotkin EB, Mikhaylov EN. Multipolar mapping in the management of different arrhythmias. *Journal of Arrhythmology*. 2024;31(1): e34-e46. <https://doi.org/10.35336/VA-1297>.

Интервенционное лечение аритмий является одним из быстроразвивающихся направлений в кардиологии. Все в большем количестве центров и клиник по всему миру устанавливаются навигационные системы для выполнения катетерных аблаций (КА) субстрата аритмий, проводится обучение операторов. Параллельно, продолжается усовершенствование трехмерных навигационных систем, электродов для картирования и КА. Современные системы картирования воссоздают 3D-реконструкцию сердца, а также отдельных его камер, позволяют определить месторасположение катетеров, сформировать цветокодированные активационные и вольтажные карты с маркировкой зон интереса.

Многоконтактные электроды были внедрены еще в 1990-х годах для лечения суправентрикулярных тахикардий [1], однако более широкое применение они получили в 2000-х с появлением трехмерных навигационных систем и электроанатомического картирования. Наиболее широко распространены следующие навигационные системы: CARTO[®]3 (Biosense Webster), EnSite NavX и EnSitePrecision[®] (Abbott), Rhythmia HDx (Boston Scientific). В системе CARTO[®]3 (Biosense Webster) многоконтактное картирование выполняется 20-полюсным картирующим электродом PENTARAY[®] NAV eco, в системе EnSite NavX и EnSitePrecision[®] (Abbott) - 16-полюсным картирующим электродом Advisor[™] HD Grid, а в системе Rhythmia HDx (Boston

Scientific) - 64-полюсным картирующим электродом INTELLAMAP ORION[™]. При сравнении с картированием «точка-за-точкой», у многоконтактного картирования есть ряд преимуществ. Среди них: высокая разрешающая способность, которая определяет степень гетерогенности в низкоамплитудных зонах, быстрое время картирования, более вероятная стимуляция с захватом целевых участков миокарда.

Несмотря на наличие большого количества клинических рекомендаций и других официальных документов профессиональных сообществ в области катетерного лечения, постоянно обновляющиеся научные данные и быстрый прогресс технологий КА диктуют необходимость сформулировать отдельные аспекты лечения в экспертных заключениях. Поскольку невозможно проведение рандомизированных контролируемых исследований по абсолютно всем аспектам интервенционного лечения, важно актуализировать и гармонизировать мнения экспертов по отдельным вопросам.

В настоящее время в научной литературе можно встретить наименование методики электрофизиологического и/или электроанатомического картирования миокарда и аритмий с использованием электродов, снабженных более чем четырьмя контактами: многополюсное, многоконтактное, высокоплотное картирование и т.п. Любое из этих определений имеет существенные ограничения, поскольку не отражает полной сути подхода - использование нескольких или множественных (то есть, более двух) пар электродов для биполярной и/или униполярной регистрации электрических потенциалов ткани миокарда одновременно на некоторой площади его поверхности, а также автоматическая обработка этих сигналов, их интерпретация и автоматическое цветовое кодирование.

Производители используют различные аспекты регистрации (количество и размер контактов, геометрия их расположения, расстояние между контактами, вектор регистрации потенциалов и проч.), более того, в каждой системе картирования используются свои методы фильтрации и обработки полученных сигналов. Таким образом, по многим параметрам многоконтактные электроды различных производителей оказываются не вполне сопоставимыми. Часто применяемый термин «высокоплотное» картирование не имеет четкого определения, поскольку нет единого представления о «плотности» картируемых точек регистрации активности для разграничения «низкоплотного», «среднеплотного» и «высокоплотного» видов картирования. В связи с этим, авторы настоящего документа согласовали использование термина «многоконтактное картирование» для описания процесса внутрисердечной навигации, картирования и



Рис. 1. Внешний вид многоконтактного катетера PENTARAY[®] NAV eco.

обработки электрических сигналов, получаемых с катетеров, снабженных более чем четырьмя контактами для электроанатомического картирования. Несмотря на естественные ограничения использования термина, более подходящий в настоящее время предложить не представляется возможным.

Для обсуждения актуальных вопросов многоконтактного картирования, его применения при лечении различных тахикардий был проведен экспертный семинар 31 мая 2023 года (Москва). Настоящий документ отражает основные результаты семинара и согласованную позицию экспертов, касательно терминологии современного инвазивного картирования, преимуществ многоконтактного картирования, а также его применения при отдельных видах предсердных и желудочковых аритмий.

Преимущества многоконтактных катетеров перед обычными 4-полюсными катетерами при картировании субстрата аритмий

На разрешающую способность активационной и вольтажной реконструкции камеры сердца влияет размер электрода и расстояние между этими электродами. Чем меньше электроды и расстояние между ними, тем более информативной будет зона регистрируемой патологической активации, особенно в области рубца. Механизм возникновения тахикардий часто связан с замедленным электрическим проведением в ранее существовавшей или ятрогенной рубцовой ткани.

До недавнего времени основным картирующим инструментом при сложных тахикардиях был стандартный 4-полюсный линейный катетер (наиболее часто, размер дистального контакта 3,5 или 4 мм, второго, третьего и четвертого - по 2 мм; стандартное расстояние между контактами - 2 мм, в результате чего расстояние между центрами электродов достигает 4,75 мм). Биполярный сигнал регистрируется между двумя соседними контактами. Униполярный - между дистальным контактом и референтным электродом на поверхности тела (чаще всего - обычные ЭКГ-электроды). При увеличении межэлектродного расстояния, - увеличивается среднее значение сигнала от пика к пику и больше сигналов отдаленного поля (far field) фиксирует катетер. В связи с чем уменьшается возможность разграничения локального сигнала (near field) от электрических сигналов отдаленных участков миокарда. Поэтому идеальным является электрод с минимальным размером контактов и минимальным расстоянием между ними, при котором сохраняется возможность регистрации сигналов достаточной амплитуды. В экспериментах показано, что при размере контактов 1 мм и расстоянии между контактами от 1 до 2 мм наблюдается оптимальная визуализация потенциалов с участков миокарда с нарушением скорости проведения, что характеризуется многокомпонентными (фрагментированными) электрограммами и поздними

потенциалами. В большинстве случаев так называемых субстратных тахикардий операторов интересуют зоны миокарда с низкой амплитудой электрической активности, отражающие нарушение миокардиальной архитектоники с фиброзом или иными изменениями (жировое замещение, амилоидный белок и другие). Нередко зоны с низкоамплитудными сигналами характеризуются наличием многокомпонентных потенциалов (фрагментированных, двойных, поздних), что получило название локальной аномальной активности. Преимущество многоконтактных катетеров в диагностике таких зон электрической активности очевидно, поскольку из-за конструктивных особенностей стандартного 4-полюсного катетера разрешающая способность вольтажной карты снижается, и могут быть пропущены важные для анализа низкоамплитудные сигналы.

Как показали исследования, использование многоконтактного катетера представляет собой более эффективный инструмент для картирования низкоамплитудной области с более высокой плотностью регистрируемых эндограмм [2]. В настоящем документе основное внимание уделяется одному из часто используемых вариантов многоконтактных картирующих электродов - «Пентарей» (*PENTARAY® NAVeco*, Biosense Webster, Inc, США); электрод имеет пять лучей (сплайнов) диаметром 3Fr, каждый снабжен 4 электродами размером 1 мм, межэлектродное расстояние 2-6-2 мм. Электрограммы регистрируются одновременно на площади более 7 см² поверхности миокарда (рис. 1). В исследованиях на животных [3] было

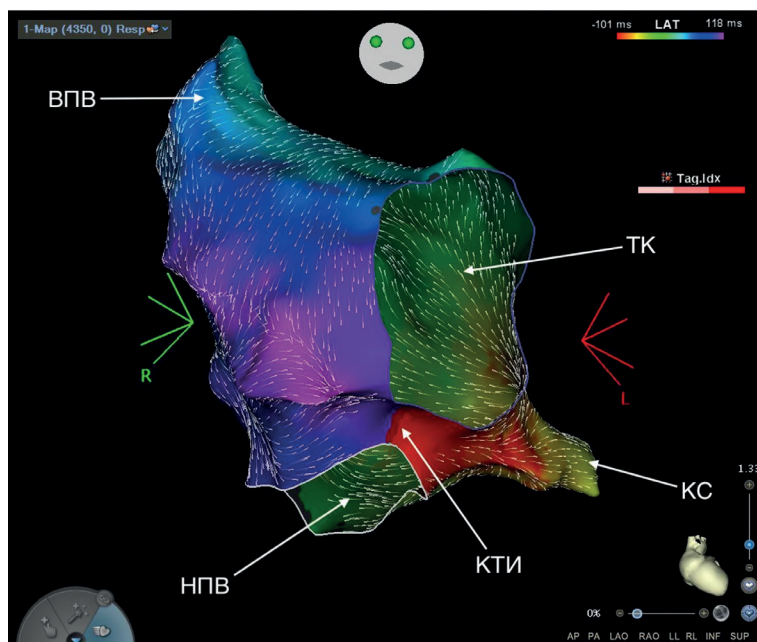


Рис. 2. Трехмерная электроанатомическая карта правого предсердия (система CARTO³, Biosense Webster, Johnson and Johnson, США). Передняя проекция с каудальной ангуляцией 20°. Визуализация электрической активации типичного кава-трикуспидального трепетания предсердий с использованием программного модуля Coherent (когерентное картирование). Здесь и далее: ВПВ - верхняя полая вена, НПВ - нижняя полая вена, ТК - трикуспидальный клапан, КТИ - кава-трикуспидальный истмус, КС - коронарный синус.

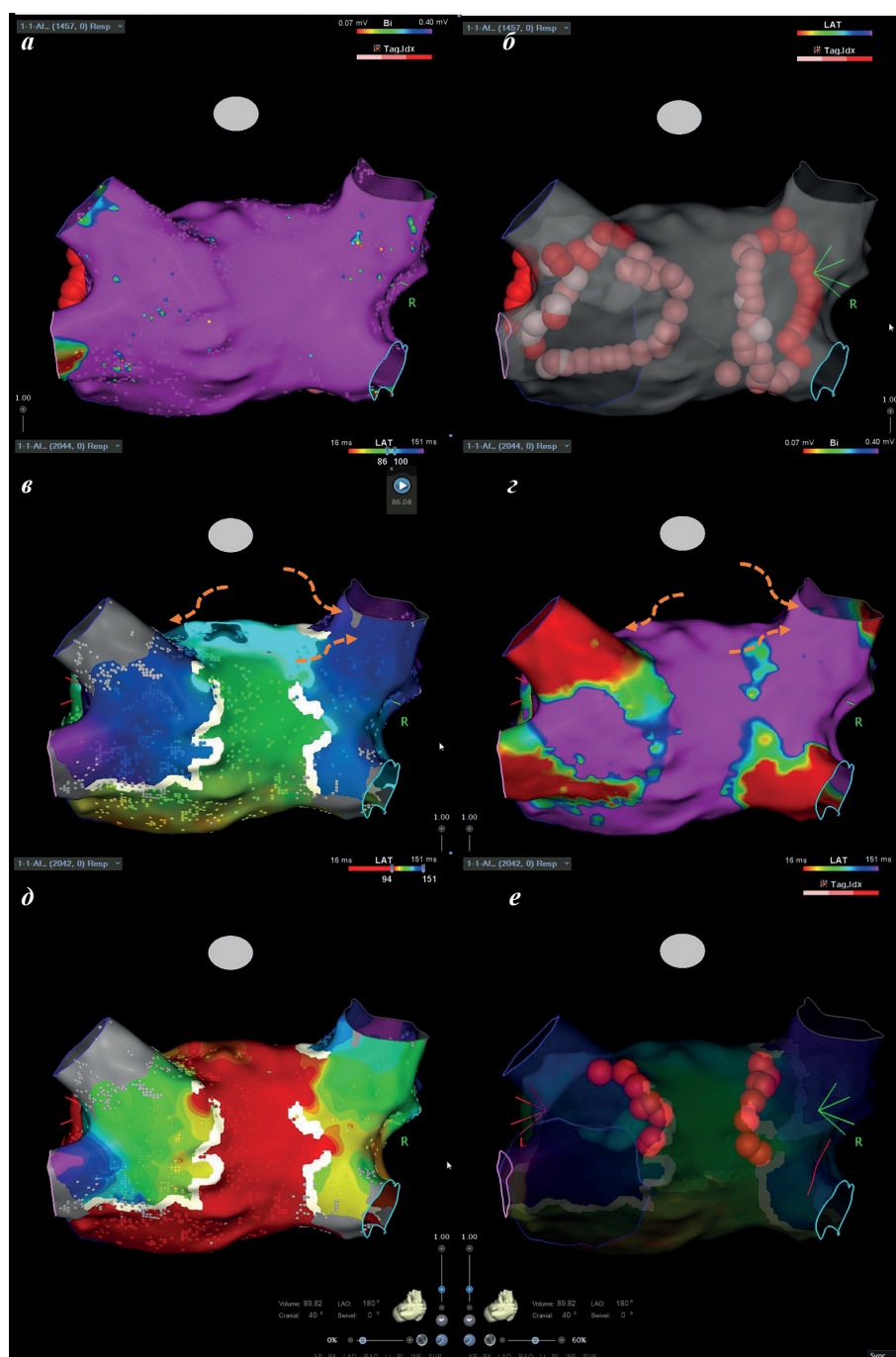


Рис. 3. Левое предсердие (ЛП), задняя проекция, где а - биполярная карта ЛП, построенная на стимуляции предсердий из коронарного синуса до нанесения воздействий (фиолетовый цвет характеризует нормальную амплитуду электрической активност); б - анатомическая карта ЛП с нанесенными воздействиями РЧ-током вокруг устьев легочных вен (красные и розовые точки); в - активационная карта ЛП, построенная на фоне стимуляции предсердий из коронарного синуса, после первичной абляции вокруг устьев ЛВ (очевидно, что сохраняется электрическая активность в легочных венах, пунктирными стрелками показаны вероятные места остаточного электрического проведения из предсердия в устья легочных вен); г - биполярная карта ЛП после первичной изоляции ЛВ (пунктирными стрелками показаны предполагаемые места электрического проведения в ЛВ); д - изохронная карта ЛП, построенная на фоне стимуляции коронарного синуса после первичной абляции вокруг устьев ЛВ (в ручном режиме шкала LAT подстроена таким образом, чтобы лучше визуализировать места проведения в ЛВ); е - активационная карта ЛП, построенная на фоне стимуляции предсердий из коронарного синуса после дополнительных воздействий (красные точки), блокада проведения в ЛВ.

продемонстрировано преимущество картирования в низкоамплитудных областях при постинфарктной реципрокной желудочковой тахикардии (ЖТ) [4] и сокращении времени картирования при ЖТ [5] по сравнению со стандартным катетером. Картирование с помощью *PENTARAY® NAV eco* обеспечивает более высокую плотность картирования и более качественное (оптимальное) определение субстрата, более высокий уровень обнаружения низкоамплитудных измененных сигналов и каналов электрического проведения внутри рубцовых зон, за счет уменьшения вероятности детекции сигналов отдаленного поля и усиления локальных сигналов.

Радиочастотная (РЧА) / криобаллонная КА является зарекомендовавшим себя методом лечения пациентов с симптомной пароксизмальной/персистирующей формой фибрилляции предсердий (ФП). Одним из частых вариантов рецидива после РЧА ФП является повторная ФП, ассоциированная с восстановлением электрического проведения из легочных вен (ЛВ), и/или сопутствующая предсердная тахикардия (ПТ). Согласно различным исследованиям, частота развития ПТ после абляции ФП колеблется от 3 до 29% [6]. ПТ может сопровождаться более выраженной симптоматикой, нежели первичная ФП, и в большинстве случаев требует повторной КА. Предсердная тахикардия после абляции ФП может возникать с различными механизмами: макро re-entry или фокусным (локальный автоматизм). Электрофизиологические инструменты для абляции ПТ чаще всего включают картирование круга re-entry с использованием трехмерных систем электроанатомического картирования.

Традиционный метод картирования базируется на записи электрограмм с помо-

щью одной пары электродов, в соответствии с выбранным внутрисердечным референтом (обычно диагностический катетер в коронарном синусе). Однако этот метод может быть сложным и трудоемким из-за картирования «точка-за-точкой» или в случае наличия нескольких последовательных кругов ПТ. Другим методом является использование циркулярного диагностического электрода, снабженного возможностью нефлюороскопической навигации с визуализацией сигналов [7].

Многоконтактное картирование сложных ПТ, в том числе у пациентов с корригированными врожденными пороками сердца, при сравнении с картированием «точка-за-точкой» было связано с уменьшением времени процедуры в целом и времени рентгенографии в частности [8]. При более коротких процедурах КА требуется меньшее количество анестезиологического препарата, что также имеет значение у коморбидных пациентов, и у больных с низкой фракцией выброса левого желудочка.

Многоконтактные катетеры в сокращении времени процедуры

В 1999 г. с использованием 4-полюсного электрода и системы CARTO® на свином сердце Callans и соавт. была продемонстрирована взаимосвязь электрофизиологических и анатомических изменений в рубце после инфаркта миокарда, что стало основой для разработки «анатомически»-ориентированных подходов к абляции субстрата ЖТ [9]. В этих ранних экспериментах были маркированы от 77 до 100 точек с эндограммами. В 2008 г. Patel и соавт. впервые продемонстрировали использование катетера с пятью сплайнами для быстрого картирования левопредсердного трепетания предсердий (ТП) [10]. В 2011 году Koguth и соавт. показали, что карта левого предсердия (ЛП) и ЛВ, построенная с помощью многоконтактного катетера, достаточно точна и дает информацию о размерах и геометрии, аналогичную полученной при компьютерной томографии [11]. В 2014 году многоконтактное картирование было включено в систему на магнитной основе CARTO®. В дальнейшем была продемонстрирована возможность регистрации более 8000 точек при многоконтактном картировании [12]. Это позволило увеличить как анатомическое, так и электрофизиологическое разрешение и привело к уменьшению времени, необходимого для поиска субстрата аритмий.

Сравнение многоконтактного картирования с использованием специального картирующего катетера PENTARAY® NAV eso и традиционной методики картирования в контексте абляции ФП и ПТ, возник-

ающей после абляции ФП, одними из первых выполнили Вуп и соавт [6]. В их работе среднее значение зарегистрированных точек многоконтактным катетером составило 449 ± 520 в течение 14 ± 6 мин по сравне-

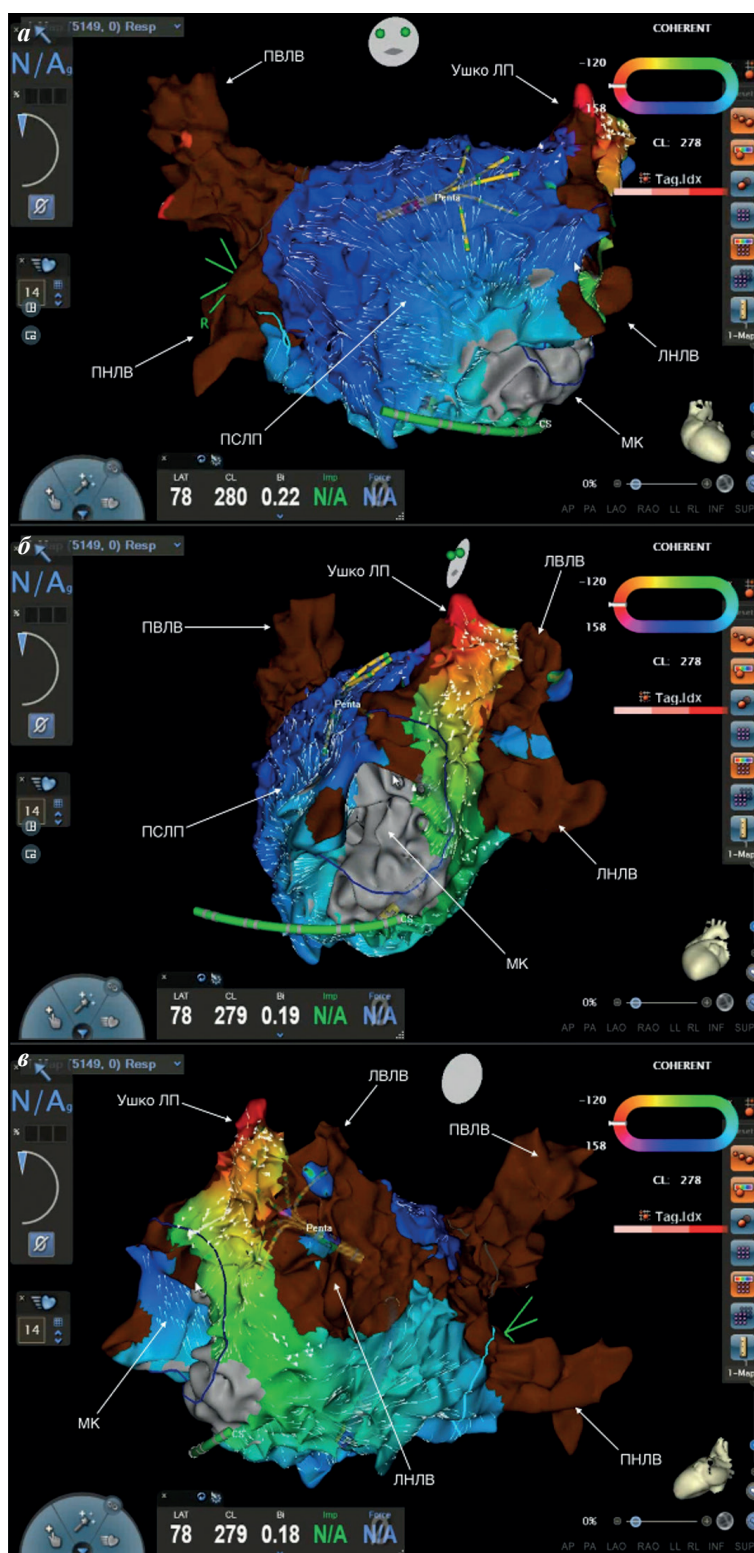


Рис. 4. Электроанатомическая карта левого предсердия (ЛП) в режиме Coherent на фоне атипичного трепетания предсердий с участием ушка ЛП и передней стенки ЛП (система CARTO® 3), где критическая зона цикла re-entry - у кольца митрального клапана в области несостоятельной предыдущей линейной абляции (коричневая линия, соединяющая крышу ЛП и кольцо митрального клапана): а - передняя проекция, б - левая боковая проекция, в - задняя проекция.

нию с 42 ± 18 точками ($p < 0,0001$) в течение 33 ± 25 мин ($p = 0,04$) в контрольной группе. В группе многоконтактного катетера зоны электрического замедления были легко идентифицированы и устранены с купированием тахикардии по сравнению с 20/23 (87%) в контрольной группе ($p = 0,056$). Среднее время КА было меньше в группе *PENTARAY® NAVeco* (760 ± 540 против 1347 ± 962 с; $p = 0,037$). Рецидив произошел у значительно меньшего числа пациентов в группе *PENTARAY® NAVeco* (0 против 23,5%; $p = 0,033$) в течение годовичного наблюдения. Эти результаты позволили сделать выводы о том, что у пациентов с ПТ многоконтактное картирование катетером выполнялось быстрее, чем при традиционной методике, с меньшим временем радиочастотного воздействия и лучшим среднесрочным результатом.

Однако было отмечено, что продолжительность процедуры и рентгеноскопии существенно не отличалась между двумя группами: 253 ± 77 в группе *PENTARAY® NAVeco* против 267 ± 73 мин в контрольной группе ($p = 0,80$) и $13,1 \pm 8,0$ мин против $15,1 \pm 10,0$ мин ($p = 0,98$), соответственно. Возможными причинами такого результата могли быть: отсутствие рандомизации и избирательность включения пациентов (существенная доля лиц с повторной изоляцией ЛВ в группе многоконтактного картирования [7 против 4 в контрольной группе]), а также большим количеством вариантов re-entry тахикардий у одного и того же пациента.

Часть авторов настоящего документа начинали освоение функций многоконтактного картирования с использованием катетера *PENTARAY® NAVeco* систем с зависимых трепетаний правого предсердия, когда заранее известен механизм и анатомическая локализация цикла тахикардии - вокруг кольца трикуспидального клапана. Это позволило отработать навык построения активационных карт, удостовериться в совпадении предполагаемых мест воздействий с отображаемыми на трехмерной карте. В дальнейшем эти навыки переносились на левопредсердные трепетания. На рис. 2 представлен пример картирования правопредсердного трепетания (4350 точек картирования получены за 2 минуты).

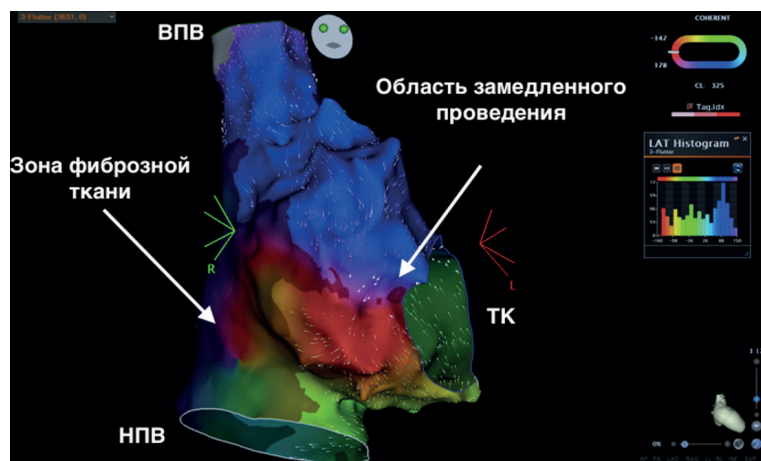


Рис. 5. Электроанатомическая карта правого предсердия (система CARTO® 3, модуль Coherent): атипичное правопредсердное трепетание на свободной стенке у пациентки после операции на открытом сердце.

Многоконтактные катетеры в повышении эффективности абляции

В настоящее время многоконтактные катетеры широко используются с целью улучшения визуализации анатомического и электрофизиологического субстрата при интервенционном лечении ФП. Картирование возможно выполнять, как на синусовом ритме, так и на фоне ФП. Основные преимущества многоконтактных электродов перед стандартными были показаны в нескольких исследованиях [6, 8]. Так, в работе Вуп и соавт. [6] продемонстрировано, что у пациентов с ПТ и атипичным ТП использование подобного электрода сокращает время картирования, снижает количество воздействий и улучшает отдаленные результаты.

В целом, повышение эффективности интервенционных процедур по лечению ФП с использованием многоконтактных электродов стало возможным благодаря целому ряду преимуществ по сравнению со стандартной методикой: быстрое построение анатомии ЛП [6], оптимизация построения вольтажной карты ЛП с целью определения электрической изоляции устьев ЛВ и картирование зон низкоамплитудных сигналов [4, 11, 13], картирование сложных фрагментированных предсердных электрограмм (CFAE) [14], картирование зон пространственно-временной дисперсии [15], активационное картирование атипичного ТП и ПТ [16].

Помимо предсердных нарушений ритма многоконтактные электроды также широко используются с целью лечения желудочковых аритмий (ЖА). Данные катетеры широко применяются в лечении как ЖА при структурных заболеваниях сердца, так без структурной патологии сердца. Повышение эффективности интервенционных процедур стало возможным благодаря целому ряду преимуществ: абляция ЖА после построения вольтажной карты высокого разрешения и с применением современного программного обеспечения сокращает время процедуры и снижает число осложнений [17, 18], абляция ЖА с использованием многоконтактных электродов снижает частоту срабатываний имплантируемых кардиовертер-дефибрилляторов, частоту госпитализаций по поводу ЖА и частоту развития электрического шторма [19].

Хорошо известно, что абляция субстрата ЖА эффективна в подавляющем количестве случаев [18]. Однако детекция локальной аномальной электрической активности зависит от используемого аппаратного и программного обеспечения, а ограниченная зона субстрата не всегда может быть идентифицирована при регистрации с помощью катетера с наконечником 3,5 мм [19]. В свою очередь, применение электродов меньшего размера, используемых в многоконтактных системах, повышает возможности идентификации аномальных низкоамплитудных, фрагментированных, поздних сигналов [20].

Многоконтактные катетеры в снижении лучевой нагрузки

На сегодняшний день продолжается использование рентгеноскопии в качестве основного инструмента визуализации во

время электрофизиологических исследований и катетерной абляции субстрата аритмий, однако при этом и на пациента и на персонал оказывается значительная лучевая нагрузка [21]. К основным осложнениям систематической лучевой нагрузки относят катаракту, риск развития которой составляет почти 50% (в случае отсутствия специальных защитных очков), лейкопению, болезни репродуктивной системы, щитовидной железы; повышенный риск развития онкологических заболеваний [22].

Согласно ранее представленным данным Н.Heidbuchi и соавт. (2014), средняя лучевая нагрузка во время выполнения РЧА ФП составляет 16,6 мЗв (от 6,6 мЗв до 59,6 мЗв) [21]. Следует отметить, что доза в 1 мЗв эквивалентна 50 рентгеновским снимкам, а 30 мЗв - это средняя доза радиации, полученная эвакуированными жителями Чернобыля после катастрофы на атомной электростанции.

Внедрение электроанатомического нефлюороскопического картирования позволило значительно снизить лучевую нагрузку как на самого пациента, так и на хирургическую бригаду. Помимо этого, ключевым моментом в использовании навигационного картирования является достижение большей эффективности абляции, благодаря более точной визуализации зон низкоамплитудной, неоднородной электрической активности, фронта распространения возбуждения [23-25].

ОТДЕЛЬНЫЕ НОЗОЛОГИИ

Первичная абляция фибрилляции предсердий

Применение многоконтактного картирования при первичных процедурах имеет ряд практических преимуществ: в ряде случаев возможно использование только одного трансептального интродьюсера в ЛПП; более быстрое построение анатомической и электрофизиологической карты ЛПП (в среднем 3-7 минут); при необходимости визуализации эффекта абляции (изоляция ЛВ или отдельных зон предсердий) - быстрое повторное картирование целевых зон. Повторное вольтажное и активационное картирование выполняется достаточно быстро и легко выявляет зоны остаточного электрического проведения (рис. 3).

В исследовании первичной радиочастотной изоляции ЛВ у 700 пациентов наличие низкоамплитудных зон миокарда (косвенного признака фиброза) в ЛПП оказалось значимым независимым предиктором рецидива аритмии, а также было ассоциировано с более низкой фракцией выброса левого желудочка, большим размером ЛПП, повышенными уровнями циркулирующих маркеров воспаления [26].

Повторные абляции фибрилляции предсердий

Рецидив ФП после КА - нередкая ситуация. Частота успеха (то есть, отсутствие рецидивов аритмии) однократной процедуры абляции ФП составляет 55-85%, в то время как 20% симптомным пациентам может потребоваться повторная абляция. Проведение

повторной абляции увеличивает вероятность удержания синусового ритма до 90%. Решение о повторной КА принимается на основании оценки риска и пользы для пациента. Так, некоторым пациентам может быть предложена медикаментозная антиаритмическая терапия для уменьшения выраженности симптомов в случае рецидивов аритмии [27, 28].

Частота рецидивов аритмии выше при исходной персистирующей ФП. В основе неуспешности КА ФП (возникновение рецидивов ФП по истечению «слепого периода») у пациентов с хроническими формами ФП лежит как тканевое ремоделирование предсердий на фоне длительно текущей аритмии, т.е. замещение миокарда предсердий фиброзной тканью и жировая инфильтрация [29], так и электрическое ремоделирование, заключающееся в анизотропии электрического проведения. Вышеописанное приводит к прогрессированию ФП и переходу пароксизмальной формы ФП в персистирующую, «триггерного» механизма запуска аритмии в «субстратный» механизм ее поддержания.

Поскольку после КА ФП нередко возникают ритмичные предсердные тахикардии (как исходно «сопутствующая» аритмия, так и в качестве следствия самой абляции с участками нетрасмурального повреждения), рост количества КА ФП привел к увеличению встречаемости ПТ. К наиболее частым типам постабляционных тахикардий относятся перимитральное re-entry, re-entry с проведением по крыше ЛП и в межпредсердной перегородке [30, 31].

Исходя из этого, в ряде случаев изоляции ЛВ может быть недостаточно для сохранения синусового ритма и профилактики дальнейших рецидивов тахикардий, становится необходимой модификация аритмического субстрата в ЛПП вне устьев ЛВ.

В ряде исследований был изучен вклад дополнительных абляций субстрата аритмий вне устьев ЛВ на частоту рецидивов тахикардий. К примеру, в проспективном, многоцентровом исследовании DECAAF II пациенты с персистирующей формой ФП были рандомизированы в две группы, где первой группе пациентов помимо изоляции ЛВ также выполнялась модификация субстрата вне ЛВ на основании данных

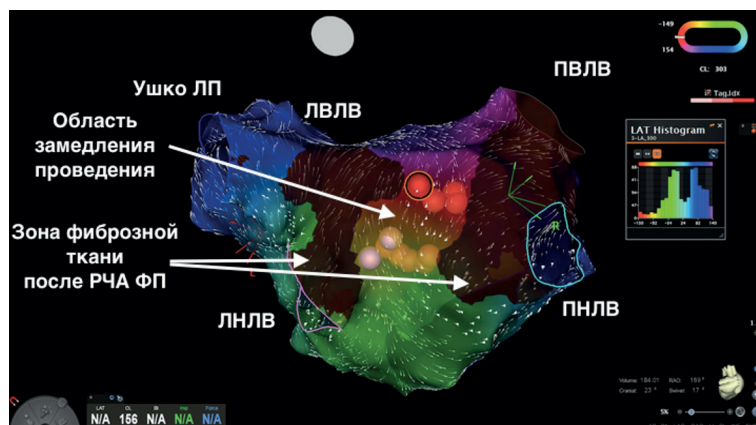


Рис. 6. Электроанатомическая карта левого предсердия, задняя проекция (система CARTO 3, модуль Coherent): атипичное левопредсердное трепетание после расширенной антральной изоляции устьев легочных вен (коричневым цветом обозначены области отсутствия электрической активности).

магнитно-резонансной томографии (МРТ) с отсроченным контрастированием гадолинием. При длительном наблюдении не было выявлено различий между группами по частоте рецидива ПТ (отношение рисков 95%, доверительный интервал: 0,95 (0,77-1,17), $p=0,63$). Авторы исследования заключили, что МРТ-ориентированная абляция зон «фиброза» в ЛП нецелесообразна [32]. Считается, что на результаты могло повлиять то, что решение об объеме и способе абляции принимал оператор и подход к абляции при одинаковом уровне фиброза не был унифицирован.

В отличие от результатов этого исследования, другими авторами было показано, что модификация субстрата ЛП на основании изоляции зон низкоамплитудной активности (вольтаж-ориентированная абляция) была ассоциирована с меньшим риском рецидива аритмии, даже без медикаментозной антиаритмической терапии [33]. Следует отметить, что модификация субстрата ЛП выполнялась на основании результатов электроанатомического картирования, с изоляцией низкоамплитудных зон (амплитуда сигнала $<0,5$ мВ). С другой стороны, эмпирическая абляция с изоляцией широких зон в ЛП исходно нормальной электрической активности может приводить к существенному ухудшению сократимости и растяжимости (податливости) ЛП, становясь основной для развития синдрома «жесткого ЛП». Это сопровождается увеличением давления в ЛП, а также в легочной артерии, что приводит к развитию трудно курабельного синдрома диспноэ [34]. Еще одним нежелательным аспектом расширенной абляции может быть непреднамеренная изоляция ушка ЛП, приводящая к резкому замедлению скорости кровотока в нем и сопровождающаяся повышенным риском тромбообразования. В таком случае встает вопрос об окклюзии ушка ЛП специальными устройствами, поэтому целесообразно воздерживаться от рутинной электрической изоляции ушка ЛП.

Множественные ПТ - отдельная проблема при повторных КА у пациентов с ФП. В ряде случаев такие ПТ трудно поддаются entrainment- и актива-

ционному картированию. При множественных тахикардиях многоконтактное картирование может значительно ускорить процесс и предоставить более достоверную информацию о механизмах каждой из имеющихся тахиаритмий. Однако к выполнению дополнительных линейных абляций следует относиться с осторожностью, так как это может привести уже к ятрогенным аритмиям. Описаны случаи, когда абляция передней стенки ЛП приводила к развитию сложных биатриальных тахиаритмий [35, 36], картирование которых является еще более сложной задачей. Во-первых, в данном случае необходима 3D-реконструкция обоих предсердий. Во-вторых, не всегда представляется возможным выполнить картирование полного цикла re-entry, поскольку часть цикла находится вне эндокардиальной поверхности - например, в пучке Бахмана [37-39].

Персистирующая форма фибрилляция предсердий

Хотя электрическая изоляция устьев ЛВ является ключевым этапом КА ФП, частота рецидивов персистирующей формы аритмии остается достаточно высокой, несмотря на совершенствование абляционных катетеров и появление новых технологий КА [40-42].

В качестве подходов к дополнительной модификации субстрата аритмии при персистирующей ФП были предложены следующие: абляция сложных фрагментированных предсердных электрограмм (CFAE), абляция ганглионарных сплетений ЛП, создание эмпирических линейных воздействий в ЛП, изоляция задней стенки ЛП [32, 33, 43, 44]. Однако по данным рандомизированных исследований (STAR-AF II, CHASE-AF, SMAN-PAF) такие подходы существенно не улучшают эффективность абляции [45].

Еще одним подходом к модификации аритмического субстрата при персистирующей ФП является изоляция зон низкоамплитудной электрической активности. И вновь, выявление таких зон становится более точным при применении многоконтактных картирующих катетеров [46, 47].

В 2022 году были продемонстрированы результаты мета-анализа [46], объединяющего результаты КА у 539 пациентов с персистирующей ФП (269 - стандартная изоляция ЛВ, у 270 - изоляция ЛВ с дополнительной изоляцией субстрата в ЛП). Расширенная абляция снижала риск рецидива аритмии (отношение шансов 1,30; 95% доверительный интервал 1,03-1,64, $p<0,04$). В другом исследовании авторы выполняли многоконтактное картирование миокарда предсердий и подтвердили преимущество абляции низкоамплитудных зон в сочетании с изоляцией ЛВ перед только изоляцией ЛВ [48].

Атипичные трепетания предсердий

К атипичным ТП относят предсердные re-entry тахикардии с предсердным циклом 170-260 мс, отличающиеся на поверхностной ЭКГ от типичного ТП (истмус-зависимого, циркулирующего против часовой стрелки вокруг кольца трикуспидального истмуса).

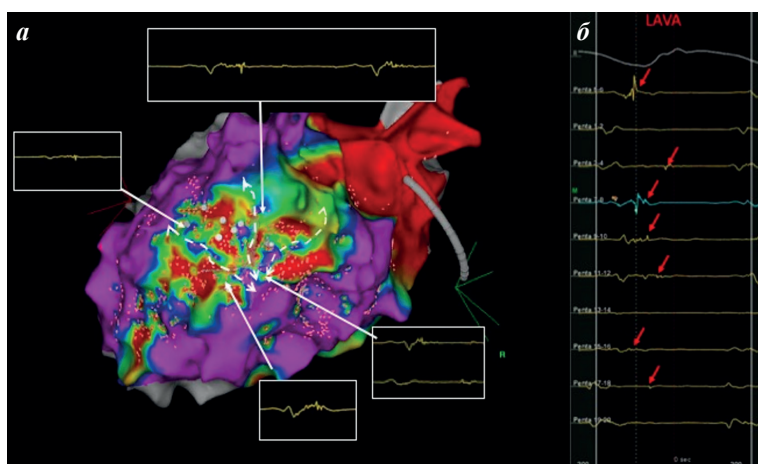


Рис. 7. Вольтажное картирование при желудочковой тахикардии: а - вольтажная реконструкция левого желудочка (на нижней стенке идентифицирована низковольтная область (постинфарктный рубец), белыми линиями обозначены каналы распространения замедленного проведения; б - аномальные желудочковые сигналы (LAVA) в рубцовой ткани.

Атипичное ТП возникает преимущественно у пациентов со структурной патологией сердца, особенно у тех, кому ранее была выполнена торакокопическая абляция или хирургическое вмешательство на «открытом сердце» с целью лечения ФП и созданием линейных воздействий - до 13-15% [49-51]. Интенсивное развитие РЧА ФП, целью которой является создание рубца в определенных областях ЛП, а иногда и правого предсердия стало причиной появления значительного количества пациентов с атипичным ТП, частота встречаемости ранжирруется в настоящее время от 3 до 30% [52, 53]. В основе таких аритмий чаще всего лежит механизм макро re-entry. Однако иногда могут встречаться случаи одновременного сосуществования фокусного и макро re-entry механизмов, значительно затрудняющих интерпретацию поверхностной ЭКГ. В таких случаях механизм формирования атипичного ТП и фронт активации миокарда предсердий удастся установить только с помощью развернутого электрофизиологического исследования, включая эндо-, а иногда и эпикардальное электроанатомическое картирование, включающее стимуляционные тесты.

Целью этого является выявление критического истмуса в петле re-entry для последующего нанесения в этой области радиочастотного воздействия и купирования аритмии. Однако, даже при использовании трехмерной навигационной системы и стандартных диагностических катетеров не всегда удается определить механизм ТП. Иногда цикл тахикардии может быть нестабильным, или их может быть два и даже более. В некоторых случаях часть цикла может быть локализована эпикардально [54]. Появление навигационных многоконтактных катетеров с малым межэлектродным расстоянием (например, *PENTARAY® NAV eco*) позволяет регистрировать значительно больше эндограмм за единицу времени, ускоряя и облегчая построение электроанатомической карты. Однако ключевое преимущество - более точное выявление цели для последующей КА: области гетерогенного рубца, области медленного проведения импульса (низкоамплитудные фрагментированные потенциалы). Такие сигналы не всегда удавалось выявить с помощью рутинных диагностических и тем более абляционных катетеров.

Конструктивная особенность новых диагностических инструментов способствовала уменьшению количества «некартируемых» атипичных ТП в сравнении с использованием «стандартных» катетеров [55]. Это, в свою очередь, привело к повышению эффективности КА атипичного ТП в остром периоде с одной стороны, и уменьшению количества рецидивов аритмии в отдаленном послеоперационном периоде - с другой. При выполнении линейных воздействий в предсердиях одномоментное использование многоконтактных катетеров для верификации надежности радиочастотного воздействия может уменьшить количество так называемых «псевдоблоков» проведения импульса до 30%, являющихся причиной рецидива аритмии [56].

Электроанатомическое картирование с использованием многоконтактных катетеров - это еще один

качественный шаг в направлении понимания механизмов возникновения сложных наджелудочковых тахикардий, в том числе атипичных ТП. Совместно с алгоритмом когерентного картирования (*Coherent mapping*) (рис. 4-6) можно получить прецизионную карту активации миокарда предсердий с четкой визуализацией области замедления активации, где и предстоит нанести радиочастотное воздействие для купирования аритмии. Использование многоконтактных катетеров позволяет значительно уменьшить время оперативного лечения, избежать избыточного воздействия на миокард предсердий, повысить эффективность РЧА атипичного ТП за счет визуализации низкоамплитудных фрагментированных потенциалов, которые ранее не удавалось выявить при использовании «рутинных» диагностических катетеров.

Преимущества многоконтактного картирования в лечении инцизионных аритмий и при макро re-entry ПТ заключаются в более высоком разрешении картирования, которое может идентифицировать неоднородность областей с низкой амплитудой, локализуя каналы с сохраненными сигналами; катетер с более близким расстоянием между электродами подвергаются меньшему усреднению сигнала и эффектам компенсации и, таким образом, может регистрировать более высокую амплитуду биполярного сигнала с более короткой продолжительностью электрограммы.

Желудочковая экстрасистолия

Желудочковые нарушения ритма являются одним из наиболее распространенных нарушений ритма сердца. Катетерная абляция - высокоэффективный и безопасный метод лечения желудочковой экстрасистолии (ЖЭ) [57]. При ЖЭ из выходного тракта правого желудочка (ВТПЖ) абляция считается наиболее эффективной, в то время как эффективность лечения ЖЭ из выходного тракта левого желудочка, папиллярных мышц, эпикардиальных ЖЭ ниже, отчасти из-за анатомической вариабельности и относительной нестабильности абляционного катетера в этих местах. Картирование ЖЭ «точка-за-точкой» для идентификации целевой зоны абляции может быть трудоемким и оператор-зависимым.

Использование многоконтактного картирования, в том числе катетером *PENTARAY® NAV eco*, позволяет точнее определить наиболее раннюю зону активации ткани для выполнения РЧА. Также следует отметить, что диагностический электрод *PENTARAY® NAV eco* позволяет использовать современные алгоритмы картирования миокарда желудочков [58-60]. Одномоментно регистрируя 20 электрограмм, многоконтактное картирование катетером *PENTARAY® NAV eco* может быть применено во время процедуры в случае относительно редкой формы ЖЭ.

Многоконтактное картирование ЖЭ сокращает время картирования и общее время процедуры, при равной традиционному картированию эффективности. В исследовании с участием 136 пациентов, рандомизированных в группы многоконтактного и традиционного картирования, применение первого было ассоциировано с уменьшением времени картирования (28 ± 19 мин против 49 ± 32 мин, $p < 0,01$) и времени про-

цедуры (110 ± 33 мин против 134 ± 50 мин, $p < 0,01$). В то время как острая эффективность лечения ($95,6\%$ против $90,1\%$, $p = 0,49$) и общее количество нежелательных явлений (4% против 7% , $p = 0,72$) между группами не отличались. При этом применение катетера *PENTARAY® NAV eco* оказалось независимым предиктором долгосрочной эффективности (отношение рисков $6,20$ [95% доверительный интервал $1,08-35,47$], $p = 0,003$) [61]. Отдельно стоит отметить, что за вышеуказанное время картирования многоконтактным катетером было зарегистрировано в 7 раз больше электрограмм (768 ± 728 против 110 ± 79 , $p < 0,01$), что позволяет наносить более прецизионные абляционные воздействия для лечения аритмии.

Многоконтактное картирование также было высокоэффективно в серии клинических случаев у пациентов с ЖЭ из папиллярных мышц левого желудочка (труднодоступная локализация). Показано, что нанесение всего $6,8 \pm 1,9$ аппликаций за $6,1 \pm 3,0$ мин в этой зоне было ассоциировано с высокой эффективностью и общая доля ЖЭ среди всех пациентов за $8,5 \pm 2,0$ месяцев наблюдения составила $0,7\%$ [62]. Предполагается, что, несмотря на увеличение общей стоимости процедуры абляции ЖЭ при использовании многоконтактного катетера, сокращение времени вмешательства может позволить выполнить большее количество процедур.

Постинфарктная желудочковая тахикардия

Абляция субстрата ЖТ при структурной патологии миокарда является эффективным даже при неиндуцируемых и гемодинамически нестабильных вариантах аритмии. Точная характеристика рубца (главного аритмогенного субстрата ЖТ) может быть получена при биполярном вольтажном картировании. Абляция на основе субстрата в решающей степени зависит от выявления локальной аномальной желудочковой активности (local anomaly ventricular (local abnormal ventricular activities, LAVA) внутри и на периферии рубца; к такой активности относят биполярные потенциалы со следующими характеристиками: многокомпонентная фрагментированная активность, низкоамплитудная активность (как правило, $< 0,5$ мВ), двойные и поздние потенциалы, диастолические потенциалы (рис. 7). Локальная аномальная активность на фоне синусового ритма свидетельствует о замедлении и неоднородности электрического проведения и часто является критической зоной цикла re-entry на фоне тахикардии.

У локальной аномальной активности желудочков выявляются следующие особенности: (1) острые, высокочастотные желудочковые потенциалы, отличные от электрограммы желудочков в отдаленном поле (far field), (2) возникает во время или (наиболее часто) после far field желудочка, (3) в виде двойных или множественных высокочастотных сигналов, разделенных сигналами очень низкой амплитуды или изоэлектрическим интервалом. Ключевым признаком, позволяющим подтвердить наличие локальной аномальной активности и отличить их от far field, является их взаимосвязь с остальной частью миокарда. При появлении локальной аномальной

активности желудочков, сливающихся с сигналами отдаленного поля желудочков, для их выделения из электрограммы желудочков проводятся маневры со стимуляцией. При проведении стимуляции правого желудочка иногда удаётся выявить зоны аномальной активности, которые не были очевидны на фоне синусового ритма. Важно отметить, что программированная стимуляция желудочков может увеличить задержку локальной аномальной активности от сигналов отдаленного поля желудочков, что обусловлено электрофизиологическими свойствами зон локальной аномальной активности.

Многоконтактное картирование рубцовых и пограничных зон имеет решающее значение в эффективности КА, поскольку более точно характеризует неоднородность рубца и позволяет более точно определять каналы остаточного и замедленного электрического проведения внутри рубца. Идентификация каналов замедленного проведения и локальной аномальной активности в области рубца зависит от пространственного разрешения электрода и может быть «скрыто» сигналом отдаленного поля (far-field) во время картирования стандартным электродом. Acosta J. с соавторами (2018) показали, что с использованием *PENTARAY® NAV eco* обеспечивалось наилучшее различение поздних потенциалов из-за меньшей чувствительности к сигналам отдаленного поля в сравнении со стандартным катетером [63]. Использование катетера *PENTARAY® NAV eco* значительно сократило время картирования и абляции. Следует упомянуть, что разрешающая способность вольтажной реконструкции также зависит от надежности контакта электрода с тканью, что нужно учитывать при проведении картирования. Для косвенной оценки контакта с миокардом в системе CARTO® используется функция Tissue Proximity Indication (TPI) - «отображение близости ткани», также активная при подключении многоконтактного катетера *PENTARAY® NAV eco* [64].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными преимуществами многоконтактного картирования являются быстрое и детальное воспроизведение анатомии камер сердца в навигационной системе, определение подробных характеристик электрофизиологического субстрата тахикардий, быстрая электрофизиологическая идентификация остаточного электрического проведения после абляции, а также надежная верификация линий абляции.

Авторы данной статьи единогласно считают, что современные данные и клинический опыт свидетельствуют о преимуществе многоконтактного картирования в точном определении субстрата тахиаритмий, прецизионности и сокращении длительности лечебных аппликаций. При этом сокращается количество «нецелевых» абляционных аппликаций. Важно, что это касается и рутинных процедур при наджелудочковых и желудочковых аритмиях, и случаев, когда невозможны классические диагностические электрофизиологические маневры, в том числе, при сосуществовании множественных вариантов тахикардий.

ЛІТЕРАТУРА

1. Feld GK, Fleck RP, Chen PS, et al. Radiofrequency catheter ablation for the treatment of human type 1 atrial flutter. Identification of a critical zone in the reentrant circuit by endocardial mapping techniques. *Circulation*. 1992;86(4): 1233-1240. <https://doi.org/10.1161/01.cir.86.4.1233>.
2. Berte B, Relan J, Sacher F, et al. Impact of Electrode Type on Mapping of Scar-Related VT. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2015;26(11): 1213-1223. <https://doi.org/10.1111/jce.12761>.
3. Tschabrunn CM, Roujol S, Dorman NC, et al. High-Resolution Mapping of Ventricular Scar: Comparison Between Single and Multielectrode Catheters. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2016;9(6): 10.1161/CIRCEP.115.003841 e003841. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.003841>.
4. Anter E, Tschabrunn CM, Buxton AE, et al. High-Resolution Mapping of Postinfarction Reentrant Ventricular Tachycardia: Electrophysiological Characterization of the Circuit. *Circulation*. 2016;134(4): 314-327. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.021955>.
5. Maagh P, Christoph A, Dopp H, et al. High-Density Mapping in Ventricular Tachycardia Ablation: A PentaRay® Study. *Cardiology Research*. 2017;8(6): 293-303. <https://doi.org/10.14740/cr636w>.
6. Bun S-S, Delassi T, Latcu DG, et al. A comparison between multipolar mapping and conventional mapping of atrial tachycardias in the context of atrial fibrillation ablation. *Archives of Cardiovascular Diseases*. 2018;111(1): 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2017.04.005>.
7. Hsu L-F, Jans P, Hocini M, et al. High-density circumferential pulmonary vein mapping with a 20-pole expandable circular mapping catheter. *Pacing and clinical electrophysiology: PACE*. 2005;28 Suppl 1: S94-98. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2005.00061.x>.
8. Dodeja AK, Tan Y, Ackley T, et al. PentaRay® Multielectrode Mapping Catheter for Atrial Tachyarrhythmia in Adults With Congenital Heart Disease. *Texas Heart Institute Journal*. 2022;49(5): e207535. <https://doi.org/10.14503/THIJ-20-7535>.
9. Callans DJ, Ren JF, Michele J, et al. Electroanatomic left ventricular mapping in the porcine model of healed anterior myocardial infarction. Correlation with intracardiac echocardiography and pathological analysis. *Circulation*. 1999;100(16): 1744-1750. <https://doi.org/10.1161/01.cir.100.16.1744>.
10. Patel AM, d'Avila A, Neuzil P, et al. Atrial tachycardia after ablation of persistent atrial fibrillation: identification of the critical isthmus with a combination of multielectrode activation mapping and targeted entrainment mapping. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2008;1(1): 14-22. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.107.748160>.
11. Koruth JS, Heist EK, Danik S, et al. Accuracy of left atrial anatomical maps acquired with a multielectrode catheter during catheter ablation for atrial fibrillation. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2011;32(1): 45-51. <https://doi.org/10.1007/s10840-011-9573-1>.
12. Tanaka Y, Genet M, Chuan Lee L, et al. Utility of high-resolution electroanatomic mapping of the left ventricle using a multispline basket catheter in a swine model of chronic myocardial infarction. *Heart Rhythm*. 2015;12(1): 144-54. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2014.08.036>.
13. Kottkamp H, Bender R, Berg J. Catheter ablation of atrial fibrillation: how to modify the substrate? *Journal of the American College of Cardiology*. 2015;65(2): 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.10.034>.
14. Jadidi AS, Cochet H, Shah AJ, et al. Inverse relationship between fractionated electrograms and atrial fibrosis in persistent atrial fibrillation: combined magnetic resonance imaging and high-density mapping. *Journal of the American College of Cardiology*. 2013;62(9): 802-12. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.03.081>.
15. Seitz J, Bars C, Théodore G, et al. AF Ablation Guided by Spatiotemporal Electrogram Dispersion Without Pulmonary Vein Isolation: A Wholly Patient-Tailored Approach. *Journal of the American College of Cardiology*. 2017;69(3): 303-21. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.10.065>.
16. Nakagawa H, Shah N, Matsudaira K, et al. Characterization of reentrant circuit in macroreentrant right atrial tachycardia after surgical repair of congenital heart disease: isolated channels between scars allow "focal" ablation. *Circulation*. 2001;103(5): 699-709. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.5.699>.
17. Sciacca V, Fink T, Bergau L, et al. Combination of High-Density and Coherent Mapping for Ablation of Ventricular Arrhythmia in Patients with Structural Heart Disease. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(9): 2418. <https://doi.org/10.3390/jcm11092418>.
18. Martinez BK, Baker WL, Konopka A, et al. Systematic review and meta-analysis of catheter ablation of ventricular tachycardia in ischemic heart disease. *Heart Rhythm*. 2020;17(1): e206-19. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.04.024>.
19. Di Biase L, Santangeli P, Burkhardt DJ, et al. Endo-epicardial homogenization of the scar versus limited substrate ablation for the treatment of electrical storms in patients with ischemic cardiomyopathy. *Journal of the American College of Cardiology*. 2012;60(2): 132-41. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.03.044>.
20. Glashan CA, Tofig BJ, Tao Q, et al. Multisize Electrodes for Substrate Identification in Ischemic Cardiomyopathy: Validation by Integration of Whole Heart Histology. *JACC Clinical Electrophysiology*. 2019;5(10): 1130-40. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2019.06.004>.
21. Heidbuchel H, Wittkamp FHM, Vano E, et al. Practical ways to reduce radiation dose for patients and staff during device implantations and electrophysiological procedures. *Europace*. 2014;16(7): 946-64. <https://doi.org/10.1093/europace/eut409>.
22. Houmsse M, Daoud EG. Radiation exposure: a silent complication of catheter ablation procedures. *Heart Rhythm*. 2012;9(5): 715-6. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2012.01.015>.
23. Сапельников ОВ, Ардус ДФ, Костин ВС, и др. Нефлюороскопический подход к катетерному лечению фибрилляции предсердий. *Российский Кардиологический Журнал*. 2020;25(12): 39-28. [Sapelnikov OV, Ardus DF, Kostin VS, et al. Nonfluoroscopic catheter ab-

- lation in patients with atrial fibrillation. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(12): 39-28. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3928>
24. Аванесян ГА, Темирбулатов ИА, Сапарбаев АА. Этапный подход в лечении фибрилляции предсердий у пациента с коморбидной патологией. *Анналы Аритмологии*. 2022;19: 90-5. [Avanesyan GA, Temirbulatov IA, Saparbaev AA. Staged approach in the treatment of atrial fibrillation in a patient with comorbid pathology. *Annals of arrhythmology*. 2022;19: 90-5].
25. Patil KD, Marine JE. Fluoro-less ablation: Fleeting fad or way of the future? *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2019;30(1): 89-91. <https://doi.org/10.1111/jce.13771>.
26. Verma A, Wazni OM, Marrouche NF, et al. Pre-existent left atrial scarring in patients undergoing pulmonary vein antrum isolation: an independent predictor of procedural failure. *Journal of the American College of Cardiology*. 2005;45(2): 285-92. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.10.035>.
27. Михайлов ЕН, Гасимова НЗ, Айвазян СА, и др. Факторы, ассоциированные с эффективностью радиочастотной катетерной абляции фибрилляции предсердий: мнение специалистов, применяющих технологию «индекс абляции». *Вестник аритмологии*. 2020;27(3): 9-24. [Mikhaylov EN, Gasimova NZ, Ayvazyan SA, et al. Factors associated with the efficacy of atrial fibrillation radiofrequency catheter ablation: opinion of the specialists who use the “ablation index” module. *Journal of Arrhythmology*. 2020;27(3): 9-24. (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2020-3-9-24>.
28. Arbelo E, Brugada J, Blomström-Lundqvist C, et al. Contemporary management of patients undergoing atrial fibrillation ablation: in-hospital and 1-year follow-up findings from the ESC-EHRA atrial fibrillation ablation long-term registry. *European Heart Journal*. 2017;38(17): 1303-16. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw564>.
29. Platonov PG, Mitrofanova LB, Orshanskaya V, et al. Structural abnormalities in atrial walls are associated with presence and persistency of atrial fibrillation but not with age. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011;58(21): 2225-32. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.05.061>.
30. Wasmer K, Mönnig G, Bittner A, et al. Incidence, characteristics, and outcome of left atrial tachycardias after circumferential antral ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2012;9(10): 1660-1666. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2012.06.007>.
31. Bun S-S, Latcu DG, Marchlinski F, et al. Atrial flutter: more than just one of a kind. *European Heart Journal*. 2015;36(35): 2356-63. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv118>.
32. Marrouche NF, Wazni O, McGann C, et al. Effect of MRI-Guided Fibrosis Ablation vs Conventional Catheter Ablation on Atrial Arrhythmia Recurrence in Patients With Persistent Atrial Fibrillation: The DECAAF II Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2022;327(23): 2296-305. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.8831>.
33. Kircher S, Arya A, Altmann D, et al. Individually tailored vs. standardized substrate modification during radiofrequency catheter ablation for atrial fibrillation: a randomized study. *Europace*. 2018;20(11): 1766-1775. <https://doi.org/10.1093/europace/eux310>.
34. Gibson DN, Di Biase L, Mohanty P, et al. Stiff left atrial syndrome after catheter ablation for atrial fibrillation: clinical characterization, prevalence, and predictors. *Heart Rhythm*. 2011;8(9):1364-71. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2011.02.026>.
35. Mikhaylov EN, Mitrofanova LB, Vander MA, et al. Batrial tachycardia following linear anterior wall ablation for the perimitral reentry: incidence and electrophysiological evaluations. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2015;26(1): 28-35. <https://doi.org/10.1111/jce.12543>.
36. Осадчий АМ, Каменев АВ, Семенюта ВВ, и др. Случай одномоментной изоляции легочных вен и абляция субстрата биатриального трепетания у пациента с механическим протезом митрального клапана: клиническое наблюдение. *Вестник аритмологии*. 2023;30(1):68-72. [Osadchiy AM, Kamenev AV, Semenyuta VV, et al. Simultaneous pulmonary vein isolation and ablation of the substrate of biatrial flutter in a patient with a mechanical mitral valve prosthesis: a case report. *Journal of Arrhythmology*. 2023;30(1): 68-72 (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2023-1-09>
37. De Martino G, Compagnucci P, Mancusi C, et al. Stepwise endo-/epicardial catheter ablation for atrial fibrillation: The Mediterranean approach. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2021;32(8): 2107-15. <https://doi.org/10.1111/jce.15151>.
38. Piorkowski C, Kronborg M, Hourdain J, et al. Endo-/Epicardial Catheter Ablation of Atrial Fibrillation: Feasibility, Outcome, and Insights Into Arrhythmia Mechanisms. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*. 2018;11(2): e005748. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.005748>.
39. Massoulié G, Schmitt B, Andronache M. Batrial mapping of two simultaneous tachycardia using parallel mapping module. *Europace*. 2020; 22(10): 1494. <https://doi.org/10.1093/europace/eaab203>.
40. Steven D, Fiedler L, Roca I, et al. High-density mapping in catheter ablation for persistent atrial fibrillation. *Europace*. 2022;24(Issue Supplement_1): euac053.237. <https://doi.org/10.1093/europace/eaac053.237>.
41. Su WW, Reddy VY, Bhasin K, et al. Cryoballoon ablation of pulmonary veins for persistent atrial fibrillation: Results from the multicenter STOP Persistent AF trial. *Heart Rhythm*. 2020;17(11):1841-7. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2020.06.020>.
42. De Pooter J, Strisciuglio T, El Haddad M, et al. Pulmonary Vein Reconnection No Longer Occurs in the Majority of Patients After a Single Pulmonary Vein Isolation Procedure. *JACC. Clinical electrophysiology*. 2019;5(3): 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2018.11.020>.
43. Nademanee K, McKenzie J, Kosar E, et al. A new approach for catheter ablation of atrial fibrillation: mapping of the electrophysiologic substrate. *Journal of the American College of Cardiology*. 2004;43(11): 2044-2053. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2003.12.054>.
44. Рачкова ЮИ, Сергеева ОА, Горев МВ, и др. Влияние дополнительных воздействий в левом предсердии на эффективность криобаллонной абляции у пациентов с пароксизмальной формой фибрилляции предсер-

- дий. Вестник аритмологии. 2023;30(2): 27-34. [Rachkova II, Sergeeva OA, Gorev MV, et al. Additional left atrial lesions improve the effect of cryoballoon pulmonary vein isolation in paroxysmal atrial fibrillation patients. *Journal of Arrhythmology*. 2023;30(2): 27-34 (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2023-2-04>.
45. Wynn GJ, Panikker S, Morgan M, et al. Biatial linear ablation in sustained nonpermanent AF: Results of the substrate modification with ablation and antiarrhythmic drugs in nonpermanent atrial fibrillation (SMAN-PAF) trial. *Heart Rhythm*. 2016;13(2): 399-406. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.10.006>.
46. Junarta J, Siddiqui MU, Riley JM, et al. Low-voltage area substrate modification for atrial fibrillation ablation: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Europace*. 2022;24(10): 1585-1598. <https://doi.org/10.1093/europace/eauc089>.
47. Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAAF study. *JAMA*. 2014;311(5): 498-506. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>.
48. Huo Y, Gaspar T, Schönbauer R, et al. Low-Voltage Myocardium-Guided Ablation Trial of Persistent Atrial Fibrillation. *NEJM Evidence*. 2022;1(11). <https://doi.org/10.1056/EVIDoa2200141>.
49. Kim TH, Park J, Uhm JS, et al. Challenging Achievement of Bidirectional Block After Linear Ablation Affects the Rhythm Outcome in Patients With Persistent Atrial Fibrillation. *Journal of the American Heart Association*. 2016;5(10): e003894. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003894>.
50. McElderry HT, McGiffin DC, Plumb VJ, et al. Proarrhythmic aspects of atrial fibrillation surgery: mechanisms of postoperative macroreentrant tachycardias. *Circulation*. 2008;117(2): 155-62. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.688358>.
51. Ляшенко ВВ, Иванченко АВ, Постол АС, и др. Электрофизиологические механизмы аритмий после торакоскопической процедуры Maze. Вестник аритмологии. 2020;27(2): 5-15. [Lyashenko VV, Ivanchenko AV, Postol AS, et al. Electrophysiological mechanisms of arrhythmias after thoracoscopic Maze procedure. *Journal of Arrhythmology*. 2020;27(2): 5-15. (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2020-2-5-15>.
52. Sawhney N, Anousheh R, Chen W, et al. 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;3(3): 243-248. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.109.924878>.
53. Мамчур СЕ, Хоменко ЕА, Бокхан НС, и др. Электрофизиологические варианты ятрогенного трепетания предсердий после радиочастотной аблации фибрилляции предсердий. Вестник аритмологии. 2016;(84): 54-64. [Mamchur SE, Khomenko EA, Bokhan NS, et al. Electrophysiological types of treatment-induced atrial flutter after radiofrequency ablation of atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology*. 2016;(84): 54-64. (In Russ.)]
54. Vlachos K, Denis A, Takigawa M, et al. The role of Marshall bundle epicardial connections in atrial tachycardias after atrial fibrillation ablation. *Heart Rhythm*. 2019;16(9): 1341-1347. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.05.019>.
55. Balt JC, Klaver MN, Mahmoodi BK, et al. High-density versus low-density mapping in ablation of atypical atrial flutter. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology: An International Journal of Arrhythmias and Pacing*. 2021;62(3): 587-599. <https://doi.org/10.1007/s10840-021-00939-7>.
56. Goyal R, Markowitz SM, Cheung JW, et al. Diagnosing pseudo-conduction block across an anteromedial mitral ablation line: Limitations of bidirectional and differential pacing. *HeartRhythm Case Reports*. 2020;6(1): 29-33. <https://doi.org/10.1016/j.hrcr.2019.10.009>.
57. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *European Heart Journal*. 2022;43(40): 3997-4126. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac262>.
58. De Potter T, Iliodromitis K, Bar-On T, et al. Premature ventricular contractions cause a position shift in 3D mapping systems: analysis, quantification, and correction by hybrid activation mapping. *Europace*. 2020;22(4): 607-612. <https://doi.org/10.1093/europace/eaab013>.
59. Sousa PA, António N, Barra S, et al. Pattern Matching Filter and multielectrode mapping catheter - A new approach for complex premature ventricular contraction ablation. *Revista Portuguesa De Cardiologia*. 2021;40(6): 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.repce.2021.07.006>.
60. Hiruma T, Sekiguchi Y, Nagase T, et al. Short-time ventricular tachycardia ablation for cardiac sarcoidosis using coherent map. *Journal of Arrhythmia*. 2022;38(3): 454-457. <https://doi.org/10.1002/joa3.12706>.
61. Sousa PA, Barra S, Cortez-Dias N, et al. Multielectrode mapping for premature ventricular contraction ablation - A prospective, multicenter study. *International Journal of Cardiology*. 2023;383: 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2023.04.044>.
62. Cai C, Wang J, Niu H, et al. Multipolar mapping for catheter ablation of premature ventricular complexes originating from papillary muscles in the structurally normal heart: a case series. *BMC cardiovascular disorders*. 2020;20(1): 464. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01747-z>.
63. Acosta J, Penela D, Andreu D, et al. Multielectrode vs. point-by-point mapping for ventricular tachycardia substrate ablation: a randomized study. *Europace*. 2018;20(3): 512-519. <https://doi.org/10.1093/europace/eurw406>.
64. Stinnett-Donnelly, Justin M.a.b; Thompson, et al. Effects of electrode size and spacing on the resolution of intracardiac electrograms. *Coronary Artery Disease*. 2012;23(2): 126-132. <https://doi.org/10.1097/MCA.0b013e3283507a9b>.