

Рубрика: клиническая электрофизиология

© Г.Р. КУЛУМБЕГОВ, С.Ю. СЕРГУЛАДЗЕ, 2023

© АННАЛЫ АРИТМОЛОГИИ, 2023

УДК 616.124-008.313-089

DOI: 10.15275/annaritmol.2023.3.1

ИНТЕРВЕНЦИОННОЕ ЛЕЧЕНИЕ ИДИОПАТИЧЕСКИХ ЖЕЛУДОЧКОВЫХ АРИТМИЙ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ СУБСТРАТА В ОБЛАСТИ ВЫВОДНЫХ ОТДЕЛОВ ПРАВОГО И ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКОВ

Тип статьи: обзорная статья

Г.Р. Кулумбегов, С.Ю. Сергуладзе

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России, Рублевское ш., 135, Москва, 121552, Российская Федерация

Кулумбегов Георгий Роландович, сердечно-сосудистый хирург; orcid.org/0000-0002-8654-8354, e-mail: geor167@list.ru

Сергуладзе Сергей Юрьевич, доктор мед. наук, заведующий отделением; orcid.org/0000-0001-7233-3611

Выводные тракты правого и левого желудочков являются типичным местом аритмогенеза у пациентов без грубой органической патологии сердца. Наиболее часто у пациентов без структурной патологии встречаются желудочковые экстрасистолы и непароксизмальные желудочковые тахикардии. Ведущим механизмом для аритмий данных локализаций является триггерная активность по типу поздних постдеполяризаций, опосредованная действием циклического аденозинмонофосфата. Предположительно, причиной данного явления служит единое эмбриологическое происхождение обоих выводных трактов. Желудочковые аритмии из выводных отделов правого и левого желудочков имеют схожий и уникальный электрофизиологический и электрофармакологический профиль. Многообещающие результаты, с эффективностью до 80–95%, при лечении мономорфных желудочковых аритмий демонстрирует катетерная абляция.

В данном обзоре рассматриваются анатомические особенности выводных отделов желудочков, эмбриологические предпосылки аритмогенеза, электрофизиологические свойства, преимущества и недостатки различных способов картирования, а также результаты катетерной абляции с применением электроанатомического картирования. Отдельно рассмотрены перспективные направления лечения идиопатических желудочковых аритмий, в частности высокоплотное картирование и спектральный анализ. Высокоплотное картирование активно используется для субстратного картирования при лечении желудочковых тахиаритмий, ассоциированных с рубцом. Показано, что высокоплотное картирование позволяет провести четкую демаркацию рубцовой и окологрубцовой ткани, а также жизнеспособного миокарда, дает возможность идентификации каналов замедленного проведения импульса. В отношении пациентов с идиопатическими желудочковыми аритмиями высокоплотное картирование позволяет не только определить раннюю зону активации (с большей точностью по сравнению с картированием point-by-point), но и идентифицировать небольшие участки миокарда с измененными электрофизиологическими свойствами, которые являются аритмогенным субстратом. Такие зоны не всегда удается обнаружить при магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением.

Ключевые слова: желудочковая экстрасистолия, желудочковая тахикардия, высокоплотное картирование, радиочастотная абляция

INVASIVE TREATMENT OF IDIOPATHIC RIGHT AND LEFT OUTFLOW TRACT VENTRICULAR ARRHYTHMIAS

G.R. Kulumbegov, S.Yu. Serguladze

Bakoulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, 121552, Russian Federation

Georgiy R. Kulumbegov, Cardiovascular Surgeon; orcid.org/0000-0002-8654-8354, e-mail: geor167@list.ru
Sergey Yu. Serguladze, Dr. Med. Sci., Head of Department; orcid.org/0000-0001-7233-3611

The right and left ventricular outflow tracts are typical sources of arrhythmogenesis in patients without gross structural pathology of the heart: premature ventricular contractions and non-paroxysmal ventricular tachycardias are most common. The leading mechanism for arrhythmias of these localizations is trigger activity by the mechanism of delayed afterdepolarization, mediated by the action of cyclic adenosine monophosphate. Presumably, the cause of this phenomenon is a single embryological origin of both outflow tracts. Ventricular arrhythmias from the right and left ventricular outflow tracts have a similar and unique electrophysiological and electropharmacological profile. Catheter ablation shows promising results in the treatment of monomorphic ventricular arrhythmias with an efficiency of up to 80–95%.

This review examines the anatomical features of outflow ventricular tracts, embryological prerequisites for arrhythmogenesis, electrophysiological properties, advantages and disadvantages of various mapping methods, as well as the results of catheter ablation using electroanatomic mapping. Promising directions for the treatment of idiopathic ventricular arrhythmias, in particular high-density mapping and spectral analysis are also discussed. High-density mapping is actively used for substrate mapping in the treatment of ventricular tachyarrhythmias associated with scarring. It has been shown that high-density mapping allows for a clear demarcation of scar and transitional zone, as well as healthy myocardium, makes it possible to identify channels of delayed conduction. For patients with idiopathic ventricular arrhythmias, high-density mapping allows not only to determine the early activation zone (with greater accuracy compared to point-by-point mapping), but also to identify small areas of the myocardium with altered electrophysiological properties, which are an arrhythmogenic substrate. Such zones are not always detectable with contrast-enhanced magnetic resonance imaging.

Keywords: premature ventricular contraction, ventricular tachycardia, high-density mapping, radiofrequency ablation

Введение

Выводные тракты правого и левого желудочков являются типичным местом аритмогенеза у пациентов без грубой органической патологии сердца. Одним из основных следствий частой эктопической желудочковой активности является развитие дисфункции левого желудочка, поэтому данные аритмии требуют медикаментозного или хирургического лечения [1]. Кардиомиопатия, ассоциированная с частой желудочковой экстрасистолией или тахикардией, вызывается межжелудочковой диссинхронией и внутрижелудочковым нарушением геометрии сокращения. В экспериментах на животных было показано, что частая желудочковая экстрасистолия приводит к бивентрикулярному фиброзу, особенно если субстрат аритмии расположен эпикардиально. Отсюда также следует, что ширина комплекса QRS пропорциональна степени выраженности межжелудочковой и внутрижелудочковой диссинхронии [2].

Наиболее часто для медикаментозного лечения используются бета-адреноблокаторы, недигидропиридиновые блокаторы медленных кальциевых каналов, блокаторы натриевого тока. В случае неэффективности медикаментозного лечения следует рассматривать возможность выполнения катетерной абляции [3]. Выбор в пользу катетерного лечения основывается на многих параметрах, среди них выраженность клинической картины, локализация субстрата,

брремя аритмии, наличие рефрактерности к антиаритмическим препаратам. Катетерная абляция демонстрирует многообещающие результаты при лечении мономорфных желудочковых аритмий с эффективностью до 80–95% [4, 5]. Предикторами успешной абляции являются локализации субстрата в выводном отделе правого желудочка и мономорфная экстрасистолия. Меньшая эффективность катетерной абляции характерна для эпикардиальных, многофокусных желудочковых аритмий, а также при локализации аритмогенного источника в папиллярной мышце [2]. Использование на современном этапе вспомогательных систем, таких как внутрисердечная эхокардиография и высокоплотное картирование, позволяет лучше понимать механизм аритмии, повысить эффективность катетерных процедур и сделать их проведение более безопасным [6, 7].

В данном обзоре рассматриваются анатомические особенности выводных отделов желудочков, эмбриологические предпосылки аритмогенеза, электрофизиологические свойства, а также результаты катетерной абляции с применением электроанатомического картирования.

Выводной отдел правого желудочка

Выводной тракт правого желудочка включает область от верхней части наджелудочкового гребня до уровня легочного ствола. В электрофизиологическом понимании данная зона включает четыре сегмента: передний, задний,

септальный и свободную стенку [8]. До недавних пор считалось, что легочный ствол не содержит мышечных пучков, однако данные внутрисердечной эхокардиографии, совмещенные с электроанатомическим картированием, показывают, что в 90% случаев легочный ствол имеет мышечную муфту длиной до 2 см [9]. Абсолютной анатомической линии демаркации между выводным трактом правого желудочка и легочным стволом нет, обычно на клеточном уровне она представлена миокардиальным континуумом, преимущественно представленным в септальном сегменте [10].

Выводной отдел левого желудочка

Выводной тракт левого желудочка является сложной структурой и включает в себя синусы Вальсальвы, подклапанный участок, митрально-аортальный контакт и зону саммита [11]. До 1/4 всех идиопатических желудочковых аритмий составляют аритмии с локализацией субстрата в выводном отделе левого желудочка [12].

Синусы Вальсальвы, расположенные в корне аорты, являются важным участком для катетерных процедур. Расположенные в области соеди-

нения желудочкового миокарда с аортой, они позволяют выполнять картирование как ретроградным суправальвулярным доступом, так и транссептальным доступом [13]. Субстратом для аритмии являются небольшие участки миокардиальной ткани, контактирующие с правым и левым синусами Вальсальвы, область комиссуры между ними, а также подклапанные участки (рис. 1) [14, 15].

Зона саммита левого желудочка представлена участком треугольной формы, ограниченным бифуркацией левой коронарной артерии на переднюю межжелудочковую (ПМЖВ) и огибающую ветви. Нижняя дугообразная граница проходит на уровне первой септальной ветви ПМЖВ по направлению к атриовентрикулярной борозде. Саммит левого желудочка разделен на две области, границей между которыми является большая вена сердца. Базальная область считается недоступной для катетерных процедур по причине близости к проксимальным участкам коронарных артерий, а также выраженности эпикардиальной жировой клетчатки; для этой области чаще требуется использование хирургического доступа. Апикальная область может быть использована для катетерной абляции из большой вены сердца и ее притоков, а также с эндокардиальных участков [16].

Электрофизиологические особенности и подходы к лечению идиопатических желудочковых аритмий

Наиболее часто у пациентов без структурной патологии встречаются желудочковые экстрасистолы и неустойчивые пароксизмы желудочковой тахикардии. Желудочковые аритмии из выводных отделов правого и левого желудочков имеют схожий и уникальный электрофизиологический и электрофармакологический профиль [17]. В исследовании S. Iwai et al. тахикардии обеих локализаций индуцировались инфузией катехоламинов, прерывались введением аденозина или верапамила. Авторы делают заключение, что ведущим механизмом для аритмий данной локализации является триггерная активность по механизму поздних постдеполяризаций, опосредованная действием циклического аденозинмонофосфата [12]. Предположительно, причиной данного явления служит единое эмбриологическое происхождение обоих выводных трактов. Отличающаяся от других отделов желудочкового миокарда меньшая скорость пролиферации клеток, более «примитив-

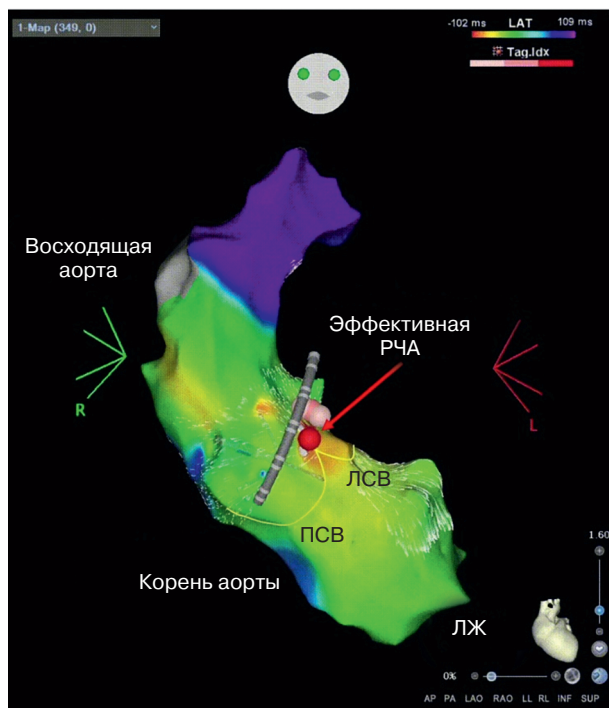


Рис. 1. Активационное высокоплотное картирование выводного отдела левого желудочка (ЛЖ), выполненное ретроградным артериальным доступом с использованием многополюсного катетера PentaRay (Biosense Webster, CARTO 3). Ранняя зона активации соответствует области комиссуры между левым (ЛСВ) и правым (ПСВ) синусами Вальсальвы

ный» сократительный фенотип и медленное проведение электрических сигналов способствуют тому, что среди прочих отделов выводные тракты служат потенциальным субстратом для возникновения желудочковых аритмий [18]. Именно поэтому идиопатические аритмии из обоих выводных трактов желудочков рассматриваются нами во взаимосвязи друг с другом.

Наиболее сложной зоной для картирования и абляции является саммит левого желудочка (рис. 2). Известен ряд доступов, позволяющих выполнять картирование и абляцию желудочковых аритмий в данной области: подклапанная часть выводного отдела левого желудочка, большая вена сердца и ее притоки, синусы аорты или легочного ствола. Разработаны методы биполярной абляции из левого синуса легочного ствола и эндокарда левого желудочка для абляции в так называемой *inaccessible zone* [19]. Для выбора оптимального места воздействия требуется тщательное изучение анатомии венозного русла. Безопасным считается трансвенозное воздействие на расстоянии более 5 мм от коронарных артерий. Даже в случае оптимального расположения абляционного катетера в большой или передней межжелудочковой вене сердца, на безопасном расстоянии от коронарных артерий, доставка радиочастотной энергии мо-

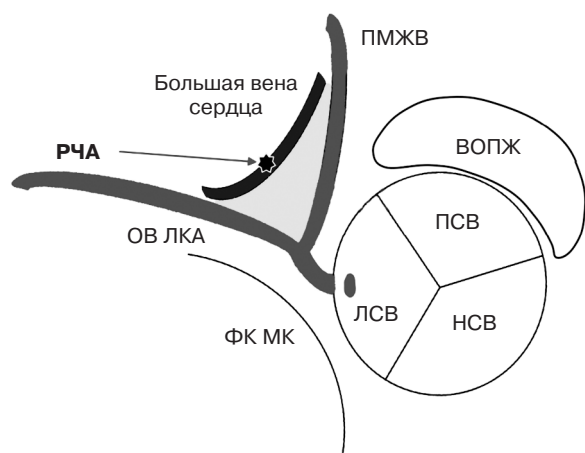


Рис. 2. Схема области саммита левого желудочка, расположенного между передней межжелудочковой артерией и огибающей ветвью левой коронарной артерии (ОВ ЛКА). Большая вена сердца разделяет область саммита на *accessible zone* и *inaccessible zone* (пояснения в тексте). Представлена схема радиочастотного воздействия ретроградным трансвенозным доступом.

РЧА – радиочастотная абляция; ВОПЖ – выводной отдел правого желудочка; ПСВ – правый синус Вальсальвы; НСВ – некоронарный синус Вальсальвы; ЛСВ – левый синус Вальсальвы; ФК МК – фиброзное кольцо митрального клапана

жет быть неосуществима ввиду высокого импеданса [20]. Эффективность катетерной абляции в зоне саммита левого желудочка, как правило, не превышает 75% в отдаленном периоде наблюдения. В то же время ряд авторов описывают успешную эпикардальную абляцию посредством субсифоидального доступа [21, 22]. Кроме того, расположение субстрата глубоко интрамурально в септальной части выводного отдела левого желудочка может потребовать комбинированной эпикардальной и эндокардиальной абляции [23]. Толщина эпикардальной жировой клетчатки более 7 мм может препятствовать трансмуральному повреждению при радиочастотной абляции.

Несмотря на то что большую часть процедур удается успешно выполнить эндокардиальным доступом, часть желудочковых аритмий имеет субстрат, расположенный эпикардально или интрамурально. По данным М. Yokokawa et al., около 8% пациентов с идиопатическими желудочковыми аритмиями имеют интрамуральный фокус [24]. Чаще всего такие фокусы локализируются в области межжелудочковой перегородки, разделяющей выводные отделы правого и левого желудочков [25]. Реже эффективной абляции препятствуют крупные желудочковые трабекулы [20]. Обычно интрамуральное расположение фокуса подтверждается ретроспективно, после безуспешного картирования и катетерной абляции с обеих сторон межжелудочковой перегородки. Характерным признаком также является несоответствие морфологии стимулированного с эндокарда QRS-комплекса и нативной желудочковой экстрасистолии. Для деструкции таких фокусов предложены различные стратегии, в том числе биполярная абляция, гипотонические растворы для орошения, абляция доступом через септальные ветви венозной системы под контролем венографии и коронарной ангиографии [24, 26–28]. Использование длительных радиочастотных аппликаций продолжительностью более 90 с может иметь эффект при эпикардальном расположении очага аритмии. Так, при ранней зоне активации в области саммита левого желудочка комбинация длительных абляций из синусов Вальсальвы, септального участка выводного отдела правого желудочка и области под митрально-аортальным контактом в сумме может привести к деструкции аритмогенного субстрата, даже при субоптимальных параметрах стимуляционного картирования с каждого из этих участков [20].

По данным M. Yokokawa et al., идеальным способом картирования интрамуральных септальных фокусов является проведение управляемого многополюсного электрода в одну из перфорантных вен, при этом данная тактика не всегда осуществима ввиду вариабельности анатомии венозного русла. Интраоперационно подтвердить интрамуральное происхождение аритмогенного фокуса можно путем введения холодного физиологического раствора с аблационного катетера со скоростью 60 мл/мин в одну из коронарных вен: положительным критерием является транзиторное подавление аритмической активности [20]. Иным подходом служит доступ к местам выхода электрического импульса на правую и левую стороны межжелудочковой перегородки. Близкое расположение к структурам проводящей системы требует применения методов воздействия с более ограниченным повреждением, например криоаблации [24].

Стандартная униполярная конфигурация радиочастотной аблации предполагает прохождение энергии от кончика электрода к индифферентному электроду на поверхности тела. По сравнению с рутинно применяемой униполярной радиочастотной аблацией использование биполярной аблации позволяет наносить более обширные повреждения, что дает возможность устранять интрамуральные фокусы (межелудочковая перегородка, папиллярные мышцы). В основе лежит использование короткой цепи между кончиком аблационного электрода и индифферентным электродом. Было показано, что глубина повреждения при биполярной аблации может достигать 15–20 мм. Биполярная аблация успешно применяется для лечения пациентов с септальным кругом трепетания предсердий, а также с желудочковыми аритмиями, имеющими септально или интрамиокардиально расположенный источник [26]. Для лечения желудочковых аритмий группа авторов D.T. Nguyen et al. применяла одновременно два орошаемых электрода. Были установлены параметры, влияющие на эффективность создаваемого повреждения. Так, при использовании катетеров с 4 мм орошаемым кончиком наибольшая глубина повреждения достигается при ориентации катетеров перпендикулярно миокарду. И наоборот, при использовании двух катетеров с 8 мм орошаемым кончиком больший объем повреждения создавался при расположении катетеров параллельно поверхности миокарда. Кроме того, в исследовании отмечено,

что больший объем повреждения достигается при давлении кончика катетера 20 г, по сравнению с экспериментальной группой с применением давления 10 г [29]. Отмечено, что эффективность биполярной аблации может быть ограничена при значительной разности импеданса находящихся друг напротив друга сторон, например митрально-аортального контакта и эндокардиальной поверхности. Считается, что биполярная аблация сопровождается большим риском тромбообразования, развития steam pop феномена и потенциально возможным ятрогенным созданием дефекта межжелудочковой перегородки при аблации септального субстрата [20].

Альтернативным методом, способствующим увеличению глубины повреждения, является использование гипотонических растворов. Наиболее часто с этой целью применяется 0,45% раствор натрия хлорида (так называемый half-normal saline), реже – 5% водный раствор декстрозы. Орошение кончика катетера такими растворами приводит к увеличению размера повреждения за счет высокого импеданса и меньшего рассеивания радиочастотной энергии [27]. Гипотонические растворы позволяют наносить направленное повреждение на ткань миокарда без влияния на степень охлаждения электрода. На недостаточное проникновение радиочастотной энергии в глубину желудочкового миокарда было указано при проведении аутопсии у пациентов с гипертрофической кардиомиопатией. Ставится вопрос о совершенствовании технологии аблации для желудочковых аритмий с источником в папиллярной мышце или с эпикардиальной поверхности сердца. В работе D.T. Nguyen et al. гипотонические растворы применялись для радиочастотной аблации в области саммита левого желудочка и межжелудочковой перегородки и продемонстрировали большую эффективность и свободу от аритмии в отдаленном периоде наблюдения по сравнению с использованием стандартного физиологического раствора [30]. Преимуществом описанной методики также является отсутствие необходимости применения дополнительного оборудования.

Сообщается о преимуществах использования half-normal saline при выполнении эпикардиальной аблации. Помимо большей глубины повреждения, высокоимпедансная жидкость служит своего рода изоляцией между кончиком катетера и париетальным листком перикарда, предотвращая таким образом его нагревание и развитие перикардита. Однако следует обра-

щать внимание, что увеличение глубины повреждения теоретически может приводить к феномену steam pop: нагревание ткани увеличивает ее электрическую проводимость, что проявляется снижением импеданса. В исследованиях *in vitro* установлено, что steam pop феномен чаще возникает при плохом контакте электрода и ткани, что приводит к перегреву жидкости под электродом: температура внутри ткани может достигать 100 °C и не отражаться на температуре, измеряемой с кончика электрода [31]. По этой причине необходимы внимательное мониторирование изменений импеданса, контроль контакта электрода с тканью, а также использование внутрисердечной эхокардиографии. По наблюдениям D.T. Nguyen et al., применение электродов с низкой скоростью орошения приводит к большему количеству steam pop эпизодов [30]. Гипотонические растворы не рекомендуется использовать в предсердиях до окончательного установления параметров безопасной аблации. Требуется дальнейшего изучения вопрос о возможности развития электролитного дисбаланса у пациентов с сердечной недостаточностью и патологией почек в случае вливания большого количества гипотонического раствора при длительных процедурах радиочастотной аблации.

Наилучшим образом для идентификации источника желудочкового аритмогенеза зарекомендовало себя активационное картирование, основанное на обнаружении ранней зоны активации во время желудочковой экстрасистолы или тахикардии [32]. Наличие опережения локальной электрограммы более 20 мс от референта на поверхностной электрокардиограмме (начало комплекса QRS), QS-паттерн локальной униполярной электрограммы, а также радиальный фронт распространения импульса считаются патогномичными признаками ранней зоны активации. В случае re-entry механизма желудочковой тахикардии активационное картирование позволяет локализовать критический перешеек петли. Следует отметить, что изолированное активационное картирование имеет ограниченное применение без сопутствующего entrainment-картирования: пассивно активизирующиеся области замедленного проведения могут находиться в мезодиастолическом окне, несмотря на то что не являются критическим звеном круга аритмии [33]. Для лучшей визуализации данный алгоритм интегрирован во все навигационные системы электроанатомического картирования и используется большинством

электрофизиологов [11]. При желудочковых тахикардиях условием для проведения активационного картирования служит гемодинамическая устойчивость [33]. Недостатком активационного картирования является необходимость наличия частой экстрасистолы во время процедуры, чего не всегда удается достичь медикаментозными пробами или стимуляционными протоколами [34]. Альтернативным способом является стимуляционное картирование, имеющее на сегодняшний день не только качественное, но и количественное измерение степени совпадения морфологии стимулированного и нативного комплекса QRS. «Разрешающая способность» стимуляционного картирования низкая, положительные критерии могут быть получены в точке, находящейся на расстоянии до 11–26 мм от источника аритмии [33].

Относительно новое направление в лечении желудочковых нарушений ритма – высокоплотное картирование с использованием многополюсных электродов. Многополюсные электроды менее чувствительны к сигналам дальнего поля (far-field) и позволяют строить карты с большей разрешающей способностью. Высокоплотное картирование активно используется для субстратного картирования при лечении желудочковых тахикардий, ассоциированных с рубцом. Исследование J. Acosta et al. показало, что высокоплотное картирование позволяет провести четкую демаркацию рубцовой и околорубцовой ткани, а также жизнеспособного миокарда, дает возможность идентификации каналов замедленного проведения импульса [35].

В отношении пациентов с идиопатическими желудочковыми аритмиями высокоплотное картирование позволяет не только определить раннюю зону активации (с большей точностью по сравнению с картированием point-by-point), но и идентифицировать небольшие участки миокарда с измененными электрофизиологическими свойствами, которые являются аритмогенным субстратом. Такие зоны не всегда удается обнаружить при магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением [36, 37]. В исследовании Z. Wang et al. установлено, что у 89% пациентов источник аритмии находится в пределах так называемой переходной электрической зоны с амплитудой сигналов от 0,5 до 1,5 мВ. Наилучшим образом для разграничения переходной электрической зоны подходит методика высокоплотного картирования [38]. Другим алгоритмом, позволяющим верифицировать ис-

точник идиопатической желудочковой аритмии, является спектральный анализ, основанный на преобразовании Гильберта–Хуанга. По данным литературы, этот способ позволяет определить субстрат аритмии и оптимальное место для аблации независимо от ритма, на котором выполняется картирование [39]. В перспективе данные подходы в сочетании со стимуляционным картированием позволят проводить катетерные процедуры у пациентов с редкой желудочковой экстрасистолией, когда активационное картирование проводить невозможно ввиду малого количества экстрасистол.

Несмотря на то что радиочастотная энергия стала стандартной для лечения желудочковых аритмий, существуют и другие источники энергии, имеющие некоторые преимущества в определенных клинических ситуациях. Так, при неуспешной радиочастотной аблации желудочковой аритмии с локализацией субстрата в папиллярной мышце, ввиду неустойчивого положения электрода, следует рассмотреть возможность проведения криоаблации, которая отличается криоадгезией кончика электрода к ткани [33].

Химические методы аблации с введением этанола в отдельные ветви артериального или венозного коронарного бассейна позволяют создавать локальные повреждения миокарда [33]. Транскоронарная этаноловая аблация приводит к трансмуральному миокардиальному некрозу с минимальным участком жизнеспособного субэндокарда и полным разрушением стенки целевой ветви коронарной артерии. Примерно 14% пациентов не подходят для проведения процедуры из-за особенностей ангиоархитектоники, в частности из-за наличия множественных сосудистых анастомозов, создающих опасность коллатерального повреждения. Среди прочих осложнений – полная атриовентрикулярная блокада (аблация субстрата в базально-септальных отделах), окклюзия нецелевого сосуда, в том числе за счет рефлюкса этанола в соседние артериальные ветви, системные эмболии, перфорация коронарной артерии, диссекция миокарда, контраст-индуцированная нефропатия. В случаях, когда ожидается окклюзия нецелевого сосуда при выраженных сосудистых коллатеральных, предложена методика спиральной эмболизации, однако опыт проведения данных процедур ограничен [20].

Ретроградная трансвенозная химическая аблация этанолом имеет некоторые преимущества

перед артериальной эмболизацией: относительно безопасный необструктивный доступ к капиллярному руслу у пациентов с компрометированным коронарным кровотоком, меньший риск коллатерального повреждения, а также осложнений, ассоциированных с канюляцией артериальных сосудов. В литературе освещен опыт трансвенозной спиртовой аблации посредством септальных ветвей передней межжелудочковой вены у пациентов с аритмиями из области саммита левого желудочка, а также заднесептального и других участков желудочка [20].

Новым направлением в лечении желудочковых аритмий является электропорация, в основе которой лежит необратимое повреждение клеток за счет формирования микроскопических пор в клеточной мембране. Особенность метода – в отсутствии тропности данного типа энергии к тканям коронарных артерий, пищевода, легких, диафрагмальных нервов и другим немиекардиальным тканям [33]. Электропорация может иметь преимущества в лечении желудочковых аритмий с локализацией субстрата в области синусов Вальсальвы, а также саммита левого желудочка, однако данный вопрос требует проведения крупных клинических исследований.

Не так давно для аблации интрамурального субстрата была предложена методика аблации специальным катетером с игольчатым наконечником. Устройство позволяет вводить кончик катетера в толщу миокарда на глубину до 1 см, записывать интрамуральные электрограммы, контролировать температуру, стимулировать и создавать глубокие миокардиальные повреждения. После доставки катетера в зону интереса он размещается перпендикулярно эндокардиальной поверхности, игла продвигается в миокард, откуда возможно считывать униполярные и биполярные сигналы [40]. В целевую область вводится специальный контрастирующий раствор, разбавленный изотоническим раствором хлорида натрия в соотношении 1:1, подтверждается интрамиокардиальное позиционирование электрода. Время радиочастотной аблации составляет от 60 до 90 с, температурный лимит – 60 °С, ограничение по мощности – 35 Вт. Интрамиокардиальная перфузия физиологического раствора со скоростью 2 мл/мин помимо функции охлаждения выполняет роль виртуального электрода, увеличивая глубину повреждения. Среди ожидаемых осложнений – ятрогенная атриовентрикулярная блокада и тампонада сердца [41]. Разработаны также электроды с тонким

игольчатым наконечником, позволяющим выполнять доступ к миокарду из коронарных вен.

Стереотаксическая радиоабляция с фотонной терапией является перспективным неинвазивным методом лечения пациентов с аритмиями. Терапия основана на проведении субстратного картирования с использованием магнитно-резонансной и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. В экспериментальных работах методика использовалась для создания атриовентрикулярной блокады, блока проведения по каватрикуспидальному перешейку, изоляции устьев легочных вен [42]. Радиоабляция предполагает доставку гамма-лучей или рентгеновских лучей в высоких дозах к локальному участку желудочкового миокарда с целью создания участка фиброза [33]. Патофизиология повреждения окончательно не установлена, механизм повреждения, вероятно, является многофакторным и включает в себя как повреждение дезоксирибонуклеиновой кислоты, приводящее к апоптозу, так и сосудистое повреждение и ишемическую гибель клеток. В отличие от катетеров, производящих немедленное термическое повреждение, полное развитие эффекта радиотерапии может занять несколько дней или месяцев. В экспериментальных работах на сердечной мышце наиболее ранний эффект достигался на 30-й день после радиотерапии [42]. Параллельно изучаются методы протонно-лучевой и углеродно-ионной терапии, однако и эти методики требуют изучения в вопросах коллатерального повреждения близлежащих органов (легких, пищевода, желудочно-кишечного тракта). Лечение идиопатических желудочковых аритмий с использованием радиоабляции — это задача будущих исследований.

Методики нейромодуляции широко используются в лечении брадиаритмий и тахиаритмий [43]. Модуляция автономной нервной системы сердца на различных уровнях (симпатэктомия, стимуляция спинного мозга, денервация почечных артерий и т. д.) может быть использована для лечения желудочковых тахикардий путем прерывания афферентных и эфферентных сигнальных путей симпатической нервной системы. В частности, антиаритмический эффект обусловлен удлинением реполяризации и рефрактерного периода кардиомиоцитов [20].

Хирургические методы абляции при идиопатических желудочковых аритмиях применяются редко, однако это подходящая опция для эпикардиально расположенных субстратов. Менее

инвазивной техникой является чрескожная эпикардиальная абляция. В случае наличия спаечного процесса в перикарде следует рассмотреть методику создания хирургического эпикардиального окна или торакотомии. Наиболее часто в электрофизиологических лабораториях используется субкисфоидаальный доступ, обеспечивающий доступ преимущественно к диафрагмальной поверхности левого желудочка и верхушке сердца. Доступ к передней поверхности сердца удобнее обеспечивается при проведении мини-торакотомии в условиях отдельной интубации главных бронхов. Для эпикардиальной абляции используются источники как радиочастотной, так и криоэнергии. На сегодняшний день широко применяются гибридные методы абляции, совмещающие эндокардиальный и эпикардиальный доступы. Так, для желудочковых аритмий с ранней зоной активации в области большой вены сердца предлагается «маркировать» раннюю зону активации путем помещения в нее кончика катетера; следующим этапом осуществляется таргетная диссекция и криоапликация [20].

Заключение

Несмотря на отсутствие органической патологии сердца, идиопатические желудочковые аритмии из выводных трактов желудочков могут приводить к индуцированной тахикардией кардиомиопатии. Предложено множество катетерных и хирургических методик картирования и деструкции субстрата, которые позволяют увеличить эффективность воздействий. Применение современных методик электроанатомического картирования, а также внутрисердечной эхокардиографии позволяет сократить продолжительность флюороскопии во время катетерных процедур. Дальнейшего изучения требуют методы воздействия на эпикардиальные источники желудочковых тахиаритмий, субстраты с интрамуральной и парагиссальной локализацией.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список/References

1. John R.M., Stevenson W.G. Outflow tract premature ventricular contractions and ventricular tachycardia: the typical and the challenging. *Card. Electrophysiol. Clin.* 2016; 8 (3): 545–54. DOI: 10.1016/j.cecp.2016.04.004
2. Walters T.E., Rahmutula D., Szilagyi J. et al. Left ventricular dyssynchrony predicts the cardiomyopathy associated with pre-

- mature ventricular contractions. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 72 (23 Pt A): 2870–82. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.09.059
3. Marcus G.M. Evaluation and management of premature ventricular complexes. *Circulation.* 2020; 141 (17): 1404–18. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042434
 4. Ling Z., Liu Z., Su L. et al. Radiofrequency ablation versus antiarrhythmic medication for treatment of ventricular premature beats from the right ventricular outflow tract: prospective randomized study. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2014; 7 (2): 237–43. DOI: 10.1161/CIRCEP.113.000805
 5. Zhong L., Lee Y.H., Huang X.M. et al. Relative efficacy of catheter ablation vs antiarrhythmic drugs in treating premature ventricular contractions: a single-center retrospective study. *Heart Rhythm.* 2014; 11 (2): 187–93. DOI: 10.1016/j.hrthm.2013.10.033
 6. Dragasis S., Vlachos K., Frontera A. et al. Modern mapping and ablation of idiopathic outflow tract ventricular arrhythmias. *Rev. Cardiovasc. Med.* 2022; 23 (3): 103. DOI: 10.31083/j.rcm2303103
 7. Hayashi T., Liang J.J., Shirai Y. et al. Trends in successful ablation sites and outcomes of ablation for idiopathic outflow tract ventricular arrhythmias. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2020; 6 (2): 221–30. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.10.004
 8. Kaczyńska A.E., Kosiński A., Bobkowska K. et al. Clinical anatomy of the spatial structure of the right ventricular outflow tract. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2022; 31 (1): 33–40. DOI: 10.17219/acem/131752
 9. Liu C.F., Cheung J.W., Thomas G. et al. Ubiquitous myocardial extensions into the pulmonary artery demonstrated by integrated intracardiac echocardiography and electroanatomic mapping: changing the paradigm of idiopathic right ventricular outflow tract arrhythmias. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2014; 7 (4): 691–700. DOI: 10.1161/CIRCEP.113.001347
 10. Lerman B.B. Outflow tract ventricular arrhythmias: an update. *Trends Cardiovasc. Med.* 2015; 25 (6): 550–8. DOI: 10.1016/j.tcm.2015.01.011
 11. Liang J.J., Shirai Y., Lin A., Dixit S. Idiopathic outflow tract ventricular arrhythmia ablation: pearls and pitfalls. *Arrhythm. Electrophysiol. Rev.* 2019; 8 (2): 116–21. DOI: 10.15420/aer.2019.6.2
 12. Iwai S., Cantillon D.J., Kim R.J. et al. Right and left ventricular outflow tract tachycardias: evidence for a common electrophysiologic mechanism. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2006; 17 (10): 1052–8. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2006.00539.x
 13. Mapping the left ventricular summit for ablation success. *J. Innov. Card. Rhythm. Manag.* 2020; 11 (12): 4318–23. DOI: 10.19102/icrm.2020.111204
 14. Komatsu Y., Nogami A., Shinoda Y. et al. Idiopathic ventricular arrhythmias originating from the vicinity of the communicating vein of cardiac venous systems at the left ventricular summit. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2018; 11 (1): e005386. DOI: 10.1161/CIRCEP.117.005386
 15. Мационашвили Г.Р., Сергуладзе С.Ю., Мационашвили Т.Р. и др. Случай успешного устранения желудочковой эктопической активности с параклиальной локализацией субстрата доступом из правого коронарного синуса Вальсальвы. *Вестник аритмологии.* 2022; 29 (3): 37–43. DOI: 10.35336/VA-2022-3-05
Matsonashvili G.R., Serguladze S.Yu., Matsonashvili T.R. et al. A case of successful radiofrequency ablation of ectopic ventricular activity with para-Hisian origin by access from the right coronary sinus of Valsalva. *Journal of Arrhythmology.* 2022; 29 (3): 37–43 (in Russ.). DOI: 10.35336/VA-2022-3-05
 16. Cheung J.W., Anderson R.H., Markowitz S.M., Lerman B.B. Catheter ablation of arrhythmias originating from the left ventricular outflow tract. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2019; 5 (1): 1–12. DOI: 10.1016/j.jacep.2018.11.012. Erratum in: *JACC Clin. Electrophysiol.* 2019; 5 (4): 535. PMID: 30678772.
 17. Aras K., Gams A., Faye N.R. et al. Electrophysiology and arrhythmogenesis in the human right ventricular outflow tract. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2022; 15 (3): e010630. DOI: 10.1161/CIRCEP.121.010630
 18. Sugishita Y., Watanabe M., Fisher S.A. The development of the embryonic outflow tract provides novel insights into cardiac differentiation and remodeling. *Trends Cardiovasc. Med.* 2004; 14 (6): 235–41. DOI: 10.1016/j.tcm.2004.06.004
 19. Futyma P., Santangeli P., Pürerfellner H. et al. Anatomic approach with bipolar ablation between the left pulmonary cusp and left ventricular outflow tract for left ventricular summit arrhythmias. *Heart Rhythm.* 2020; 17 (9): 1519–27. DOI: 10.1016/j.hrthm.2020.04.029
 20. Kumar S., Tedrow U.B., Stevenson W.G. Adjunctive interventional techniques when percutaneous catheter ablation for drug refractory ventricular arrhythmias fail: a contemporary review. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2017; 10 (2): e003676. DOI: 10.1161/CIRCEP.116.003676
 21. Aryana A., Tung R., d'Avila A. Percutaneous epicardial approach to catheter ablation of cardiac arrhythmias. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2020; 6 (1): 1–20. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.10.016
 22. Futyma P., Sauer W.H. Bipolar radiofrequency catheter ablation of left ventricular summit arrhythmias. *Card. Electrophysiol. Clin.* 2023; 15 (1): 57–62. DOI: 10.1016/j.ccep.2022.07.001
 23. Latchamsetty R., Bogun F. Premature ventricular complex-induced cardiomyopathy. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2019; 5 (5): 537–50. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.03.013
 24. Yokokawa M., Good E., Chugh A. et al. Intramural idiopathic ventricular arrhythmias originating in the intraventricular septum: mapping and ablation. *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2012; 5 (2): 258–63. DOI: 10.1161/CIRCEP.111.967257
 25. Heeger C.H., Hayashi K., Kuck K.H., Ouyang F. Catheter ablation of idiopathic ventricular arrhythmias arising from the cardiac outflow tracts – recent insights and techniques for the successful treatment of common and challenging cases. *Circ. J.* 2016; 80 (5): 1073–86. DOI: 10.1253/circ.CJ-16-0293
 26. Teh A.W., Reddy V.Y., Koruth J.S. et al. Bipolar radiofrequency catheter ablation for refractory ventricular outflow tract arrhythmias. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2014; 25 (10): 1093–9. DOI: 10.1111/jce.12460
 27. Dong Y., Wang H., Ma K. et al.; FHRS and HALF study investigators. Half versus normal saline irrigation during catheter ablation of outflow tract ventricular arrhythmias (HALF): a multicenter, parallel, open-label, randomized controlled study. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2023. DOI: 10.1007/s10840-023-01558-0
 28. Di Biase L., Romero J., Zado E.S. et al. Variant of ventricular outflow tract ventricular arrhythmias requiring ablation from multiple sites: intramural origin. *Heart Rhythm.* 2019; 16 (5): 724–32. DOI: 10.1016/j.hrthm.2018.11.028
 29. Nguyen D.T., Tzou W.S., Brunnquell M. et al. Clinical and biophysical evaluation of variable bipolar configurations during radiofrequency ablation for treatment of ventricular arrhythmias. *Heart Rhythm.* 2016; 13 (11): 2161–71. DOI: 10.1016/j.hrthm.2016.07.011
 30. Nguyen D.T., Tzou W.S., Sandhu A. et al. Prospective multicenter experience with cooled radiofrequency ablation using high impedance irrigant to target deep myocardial substrate refractory to standard ablation. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2018; 4 (9): 1176–85. DOI: 10.1016/j.jacep.2018.06.021
 31. Eick O.J., Gerritse B., Schumacher B. Popping phenomena in temperature-controlled radiofrequency ablation: when and why do they occur? *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2000; 23 (2): 253–8. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2000.tb00807.x
 32. Choi J.H., Kwon H.J., Kim H.R. et al. Earliest activation time is a good predictor of successful ablation of idiopathic outflow tract ventricular arrhythmias. *Clin. Cardiol.* 2021; 44 (4): 573–9. DOI: 10.1002/clc.23578
 33. Guandalini G.S., Liang J.J., Marchlinski F.E. Ventricular tachycardia ablation: past, present, and future perspectives. *JACC Clin. Electrophysiol.* 2019; 5 (12): 1363–83. DOI: 10.1016/j.jacep.2019.09.015

34. Dittrich S., Sultan A., Lüker J., Steven D. Mapping strategies for premature ventricular contractions-activation, voltage, and/or pace map. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol.* 2021; 32 (1): 27–32. DOI: 10.1007/s00399-021-00743-w
35. 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): 512–9. DOI: 10.1093/europace/euw406
36. Letsas K.P., Efremidis M., Vlachos K. et al. Right ventricular outflow tract low-voltage areas identify the site of origin of idiopathic ventricular arrhythmias: a high-density mapping study. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2019; 30 (11): 2362–9. DOI: 10.1111/jce.14155
37. Parreira L., Marinheiro R., Carmo P. et al. Validation of an electrocardiographic marker of low voltage areas in the right ventricular outflow tract in patients with idiopathic ventricular arrhythmias. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2022; 33 (11): 2322–34. DOI: 10.1111/jce.15654
38. Wang Z., Zhang H., Peng H. et al. Voltage combined with pace mapping is simple and effective for ablation of noninducible premature ventricular contractions originating from the right ventricular outflow tract. *Clin Cardiol.* 2016; 39 (12): 733–8. DOI: 10.1002/clc.22598
39. Te A.L., Higa S., Chung F.P. et al. The use of a novel signal analysis to identify the origin of idiopathic right ventricular outflow tract ventricular tachycardia during sinus rhythm: simultaneous amplitude frequency electrogram transformation mapping. *PLoS One.* 2017; 12 (3): e0173189. DOI: 10.1371/journal.pone.0173189
40. Neira V., Santangeli P., Futyma P. et al. Ablation strategies for intramural ventricular arrhythmias. *Heart Rhythm.* 2020; 17 (7): 1176–84. DOI: 10.1016/j.hrthm.2020.02.010
41. Sapp J.L., Beeckler C., Pike R. et al. Initial human feasibility of infusion needle catheter ablation for refractory ventricular tachycardia. *Circulation.* 2013; 128 (21): 2289–95. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003423
42. John R.M., Shinohara E.T., Price M., Stevenson W.G. Radiotherapy for ablation of ventricular tachycardia: assessing collateral dosing. *Comput. Biol. Med.* 2018; 102: 376–80. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2018.08.010
43. Сергуладзе С.Ю., Мационашвили Г.Р., Кулумбеков Г.Р. Автономная денервация сердца. Новый взгляд на возможности лечения брадиаритмий. *Сердечно-сосудистые заболевания. Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.* 2022; 23 (6): 606–15. DOI: 10.24022/1810-0694-2022-23-6-606-615
- Serguladze S.Yu., Matsonashvili G.R., Kulumbegov G.R. Cardiac autonomic denervation. A novel approach to the treatment of bradyarrhythmias. *The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases.* 2022; 23 (6): 606–15 (in Russ.). DOI: 10.24022/1810-0694-2022-23-6-606-615

Поступила 26.07.2023

Принята к печати 28.08.2023