

Таймасова И. А., Яшков М. В., Дедух Е. В., Артюхина Е. А., Ревিশвили А. Ш.  
 ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А. В. Вишневского»  
 Минздрава России, Москва, Россия

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТОПИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЖЕЛУДОЧКОВЫХ НАРУШЕНИЙ РИТМА

Представлен обзор литературы, отражающей исторические этапы развития топической диагностики желудочковых нарушений ритма, а также современное состояние проблемы и актуальность развития поверхностного неинвазивного электрофизиологического картирования сердца.

*Ключевые слова* Желудочковые нарушения ритма; внезапная сердечная смерть; желудочковая тахикардия; поверхностное неинвазивное электроанатомическое картирование; топическая диагностика

*Для цитирования* Taymasova I.A., Yashkov M.V., Dedukh E.V., Artyukhna E.A., Revishvili A.Sh. History of development of ventricular arrhythmias diagnostics. *Kardiologiya*. 2021;61(12):108–116. [Russian: Таймасова И.А., Яшков М.В., Дедух Е.В., Артюхина Е.А., Ревিশвили А.Ш. История развития топической диагностики желудочковых нарушений ритма. *Кардиология*. 2021;61(12):108–116]

*Автор для переписки* Таймасова Ирина Азатовна. E-mail: irina-tame@yandex.ru

### Введение

Желудочковые нарушения ритма (ЖНР), особенно такие, как желудочковые тахикардии (ЖТ) и фибрилляция желудочков (ФЖ), являются жизнеугрожающими аритмиями, которые могут приводить к внезапной сердечной смерти (ВСС). Доля ЖТ в структуре смертности в США составляет 5,6%, что соответствует 400 тыс. смертей ежегодно. В экономически развитых странах частота ВСС составляет 1–2 случая на 1000 населения в год, что соответствует 13–15% (по некоторым данным, до 25%) всех случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний [1]. ВСС бывает первым и нередко единственным проявлением ишемической болезни сердца (ИБС) [2]. Так, риск ВСС у пациентов с ИБС и эпизодами неустойчивой ЖТ в анамнезе может достигать 32% при 5-летнем периоде наблюдения [3].

Имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы (ИКД) используются в качестве профилактики ВСС, но не влияют на частоту возникновения эпизодов жизнеугрожающих аритмий [4]. Для решения этой проблемы применяется антиаритмическая терапия (ААТ). Пациентам с пароксизмами ЖТ рекомендованы препараты I, II и III классов. Однако применение некоторых препаратов, в частности IC класса, у пациентов с органической патологией сердца (ИБС, постинфарктный кардиосклероз, дилатационная кардиомиопатия, хроническая сердечная недостаточность со снижением фракции выброса левого желудочка – ЛЖ до 40% и менее) может давать проаритмогенный эффект [5].

С развитием технологий в аритмологии электрофизиологическое исследование и катетерная абляция желудочковых аритмий (ЖА) стали неотъемлемой частью диагностики и лечения пациентов с ЖТ, ФЖ, особенно пациентов с инфарктом миокарда в анамнезе [6, 7]. Однако

эффективность данных процедур ограничена, так как ЖТ могут быть полиморфными, неустойчивыми для картирования. Устойчивые же ЖТ могут вызывать тяжелые нарушения гемодинамики, которые не позволяют продолжать процедуру картирования и радиочастотной абляции (РЧА) [8]. Субстратное инвазивное картирование позволяет решить проблему гемодинамически значимых ЖТ, но в ряде случаев дифференцировать эндо-, эпикардальные или интрамуральные участки цепи re-entry по результатам инвазивного картирования не всегда представляется возможным [9].

В последние годы все большее развитие получают неинвазивные методы диагностики аритмий, такие как поверхностное неинвазивное электрофизиологическое картирование (ПНЭК). Суть процедуры заключается в анализе, интерпретации и совмещении данных записи с поверхностных электродов на 3D-модель сердца пациента, полученную с помощью компьютерной томографии (КТ). Достоинствами данного метода являются неинвазивность процедуры, возможность топической диагностики путем анализа небольшого неустойчивого фрагмента ЖА (вплоть до единичной желудочковой экстрасистолы – ЖЭС). Все это позволяет на дооперационном этапе определить вид и тактику оперативного вмешательства на основании дифференциальной оценки зоны интереса по локализации в эпи- и эндокарде, что уменьшает продолжительность процедуры и увеличивает эффективность РЧА [10–12].

### Цель

Анализ законченных и текущих исследований, задачей которых было изучение электрофизиологических механизмов ЖНР, и разработка эффективных и безопасных методов их интервенционного лечения на основе неинва-

живного картирования сердца, в целях широкого использования данного метода в повседневной аритмологической практике.

### Этапы развития диагностики желудочковых нарушений ритма

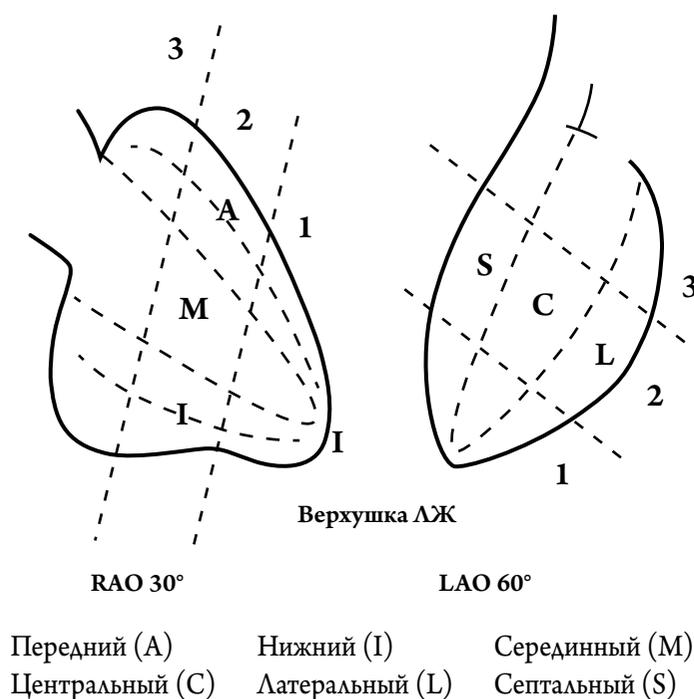
Первое описание локализации ЖТ было опубликовано в 1959 г. O. Couch [13]. При наблюдении за пациентами после резекции аневризмы ЛЖ авторами отмечалось исчезновение ЖТ. В начале 80-х годов (публикация 1982 г.) XX века М.Е. Josephson и соавт. [14], выполняя эндокардиальное стимуляционное картирование разных отделов правого и левого желудочков сердца во время открытых вмешательств, сравнивали морфологию стимуляционных комплексов со спонтанными эктопическими ЖЭС. Позже D.L. Kuchar и соавт. [15] разработали электрокардиографический алгоритм топической диагностики левожелудочковых аритмий при интраоперационном картировании у пациентов с ИБС (рис. 1, адаптировано по [15]). На основе данных конфигурации комплексов QRS, полученных во время эндокардиальной стимуляции из ЛЖ, авторы определили и идентифицировали

критерии для построения алгоритма диагностики очага аритмии [15].

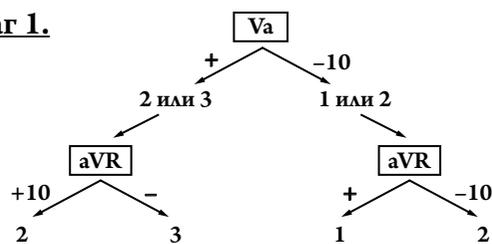
Позднее выполнялись попытки создания алгоритма диагностики, не прибегая к помощи инвазивных методов. Так, М. Розенбаум с целью определения топической принадлежности ЖЭС по их морфологии выявил, что в зависимости от того, какой тип блокады ножки пучка Гиса регистрируется на электрокардиограмме (ЭКГ), ЖЭС можно отнести по своей локализации к левому или правому желудочку (ПЖ) [16]. Согласно выведенному автором правилу, если комплекс QRS ЖЭС в грудном отведении V1 напоминает блокаду правой ножки пучка Гиса, локализация аритмогенного очага расположена в ЛЖ, и напротив, если морфология ЖЭС напоминает блокаду левой ножки пучка Гиса, локализация аритмогенного очага расположена в ПЖ.

Большим прорывом в топической диагностике ЖНР стало появление интервенционных методов электрофизиологических исследований. В 1993 г. D.J. Wilber и соавт. [17] разработали рентгенанатомический алгоритм определения локализации источников аденозинзависимых ЖТ в ПЖ. Согласно алгоритму отрицательный зубец R, заре-

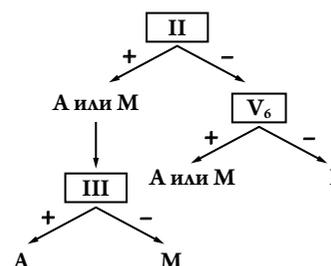
Рисунок 1. Алгоритм диагностики очага желудочковых нарушений ритма



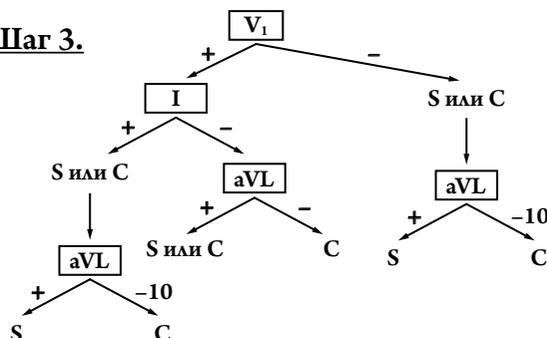
#### Шаг 1.



#### Шаг 2.



#### Шаг 3.



RAO – правая передняя косая проекция (right anterior oblique); LAO – левая передняя косая проекция (left anterior oblique).

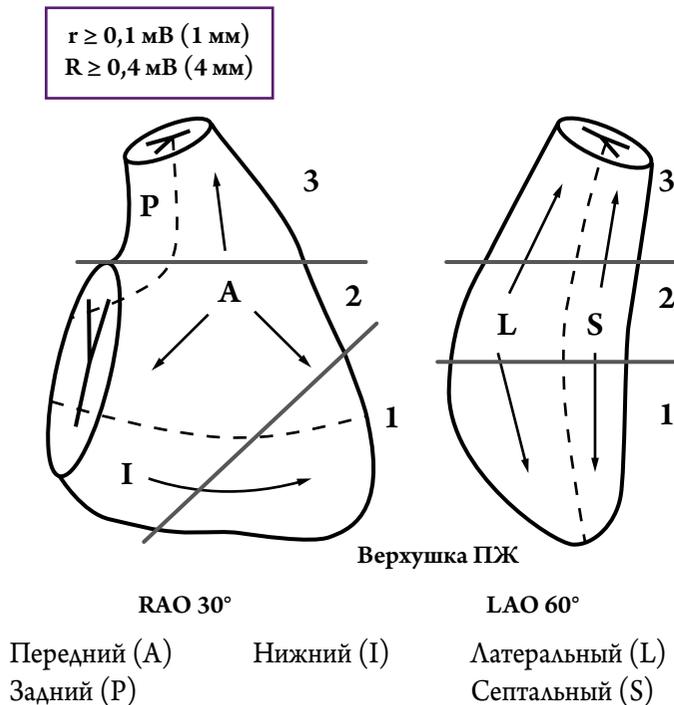
гистрированный во время тахикардии в I отведении, был связан с возникновением аритмогенной активности из зоны свободной стенки ПЖ ближе к перегородке, изоэлектрический зубец R – из переходной зоны выводного отдела ПЖ (ВОПЖ), положительный зубец R – из задне-латеральной стенки ВОПЖ, ближе к трикуспидальному клапану. Позднее, в 1998 г. К. Shima и соавт. [18] подтвердили результаты D.J. Wilber и соавт. в своем исследовании по разработке алгоритма предоперационного определения локализации желудочковой эктопии. Авторы указали, что при последовательной стимуляции свободной и септальной стенок ВОПЖ и последующем сравнении стимуляционных комплексов с записью ЖЭС на 12-канальной ЭКГ возможно определение точной локализации триггерной активности, а также создание алгоритма определения локализации источника аритмии уже на дооперационном этапе. Локализация определялась путем анализа амплитуд зубцов R и S в I, aVF отведениях: если  $R_I > S_I$ , то источник располагался в ЛЖ, если  $R_I < S_I$ , то в ПЖ. Если  $R_{aVF} > S_{aVF}$ , то источник находился краниально и наоборот, что было подтверждено во время эндокардиального инвазивного картирования [18]. Эффективность данной методики также подтверждают и работы Y. Yoshida и соавт. [19], про-

веденные в 1999 г. При стимуляции различных областей ВОПЖ с помощью 56-полюсного basket-катетера выявлено, что в случае последовательной стимуляции с каждого канала многополюсного электрода стимуляционные комплексы меняют свою конфигурацию по отношению друг к другу. При анализе изменений амплитуды и длительности стимулированного комплекса QRS и его сравнении с паттерном ЖЭС возможно добиться более точного определения локализации аритмии [19]. Данный алгоритм в последующем стал называться «расе-mapping».

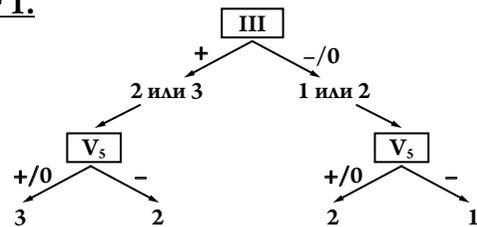
В последующем ряд электрофизиологов разрабатывали свои алгоритмы для топической диагностики ЖНР. Так, многими исследователями были предложены алгоритмы для определения локализации эктопического очага в ПЖ или ЛЖ, в выводном отделе, в септальной части ПЖ, выводном отделе ЛЖ [20–22].

Следующим этапом развития диагностики и лечения ЖНР стало использование нефлюороскопических систем электроанатомического картирования. Так, в 2005 г. опубликовано исследование К. Azegami и соавт. [23], в котором описывались электроанатомическое активационное картирование ЖТ с определением зоны ранней активации и последующая стимуляция миокарда желудочков

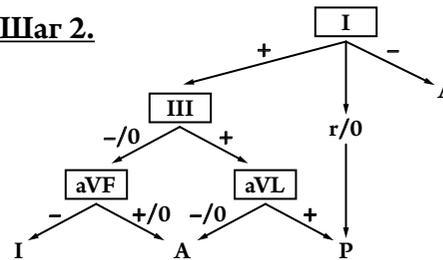
Рисунок 2. Алгоритм топической диагностики правожелудочковых аритмий



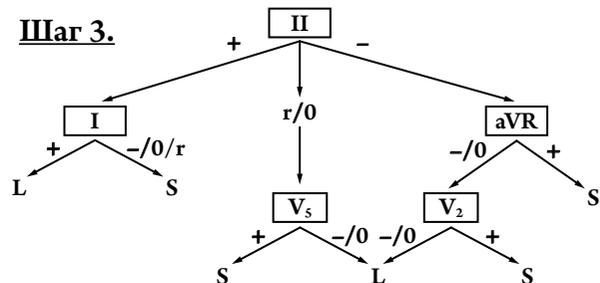
**Шаг 1.**



**Шаг 2.**



**Шаг 3.**



RAO – правая передняя косая проекция (right anterior oblique); LAO – левая передняя косая проекция (left anterior oblique).

в данной области для оценки точности выявленной нефлюороскопической системой зоны ранней активации. В дальнейшем стимуляционные комплексы сопоставлялись с исходным паттерном аритмии, зафиксированной на ЭКГ (pace-mapping). Было показано, что с помощью систем трехмерного электроанатомического картирования возможно с такой же точностью определить зону локализации аритмии [23]. Более того, электроанатомическое картирование позволяет дифференцировать идиопатические ЖТ из ВОПЖ от ЖТ, вызванных аритмогенной дисплазией ПЖ, при помощи анализа вольтажных карт с целью выявления зон электрического фиброза, активационных карт с целью определения эктопического фокуса (при идиопатических ЖТ) либо «точек выхода» re-entry тахикардий (при аритмогенной дисплазии ПЖ) [24].

В 2006 г. А. Ш. Ревшвили и соавт. [25], аналогично алгоритму топической диагностики левожелудочковых аритмий D. L. Kuchar и соавт. [15], разработали подобный алгоритм для определения локализации аритмогенного очага в ПЖ. В целях создания подобного алгоритма у пациентов были проанализированы такие электрокардиографические критерии, как электрическая ось сердца на эктопическом комплексе, величина угла  $\alpha$ , а также производился анализ морфологии комплекса QRS с сопоставлением выявленных локализаций посредством инвазивного электроанатомического картирования (рис. 2, адаптировано по [25]).

Разработанный алгоритм состоял из трех этапов. На первом этапе ПЖ условно был разделен на 3 части: базальную, среднюю и апикальную. В дифференциации данных зон было решено использовать электрокардиографические критерии аритмических комплексов III стандартного и  $V_s$  грудного отведения. Второй этап состоял из определения передней, задней и нижней (диафрагмальной) стенок ПЖ в рентгенанатомической правой косо́й проекции  $30^\circ$ . Для топической диагностики данных стенок были приняты электрокардиографические критерии аритмических комплексов I, III стандартного, aVF и aVL отведения. Так как ЖА принято делить на септальные и латеральные, то в основу третьего этапа легло определение данных стенок в левой косо́й проекции  $60^\circ$ . Для третьего этапа были приняты электрокардиографические критерии ЖА в I, II, aVR и  $V_2$ ,  $V_s$  грудных отведений. На основании этих критериев был разработан алгоритм, позволяющий предположить локализацию аритмогенного фокуса в 165 (97%) случаях из 170.

В 2002 г. на основании собранных данных был модифицирован алгоритм D. L. Kuchar и соавт. Чувствительность алгоритма электрокардиографической диагностики левожелудочковых аритмий достигла 90%, специфичность – 95%, а диагностическая точность – 93% [26].

Несмотря на создание многочисленных алгоритмов топической диагностики, в том числе инвазивных, с накоплением клинического опыта перед исследователями встал вопрос о разработке и создании неинвазивного метода с высоким уровнем точности. В последующем подобным методом стало поверхностное неинвазивное электрофизиологическое картирование (ПНЭК).

### Возможности поверхностного неинвазивного электрофизиологического картирования

ПНЭК работает по принципу обратной задачи (ЭКГ). Для этого требуется реконструировать потенциал электрического поля сердца на эпикардальной и эндокардиальной поверхностях сердца на основе поверхностной записи ЭКГ [27]. Пациентам в дооперационном периоде выполняют неинвазивное картирование с использованием системы ПНЭК. Для этого используют одноразовые наклеивающиеся электроды на поверхность грудной клетки и с них синхронно регистрируются ЭКГ в 224 однополюсных отведениях и 6 стандартных отведениях от конечностей. Затем, не снимая электродов с поверхности грудной клетки, пациенту выполняют КТ сердца в режиме синхронизации с ЭКГ с внутривенным контрастированием сердца. Полученные данные обрабатываются при помощи программного обеспечения комплекса «Амикард» (Россия). Обработка включает спектральную фильтрацию сигнала от мышечных и сетевых наводок и дрейфа изолинии. Из всей записи выделяют интересующие желудочковые комплексы. После этого в автоматическом режиме по данным КТ проводится определение координат регистрирующих электродов на поверхности грудной клетки. Воспроизводятся полигональные модели желудочков сердца. На основе анализа полученных данных определяют зоны ранней активации миокарда, соответствующие проекциям на эндокард и эпикард эктопических очагов в желудочках сердца [28].

Первые попытки определения электрической активности сердца опубликованы в 1997 г. группой исследователей во главе с H. S. Oster [29] путем воссоздания карт с эпикардальной поверхности сердца по возникающим потенциалам, регистрируемым на поверхности тела. Исследователи оценивали неинвазивное картирование путем помещения сердца собаки в макет грудной клетки человека с последующей стимуляцией различных участков эпикарда. Регистрацию потенциалов проводили с 386 электродов на поверхности макета. Авторы пришли к выводу, что поверхностное картирование с высокой точностью позволяет отразить изменения потенциалов на поверхности сердца, а также представляет возможность проанализировать информацию о локальном времени активации интересующего участка миокарда. Исследователи продолжили изучение неинвазив-

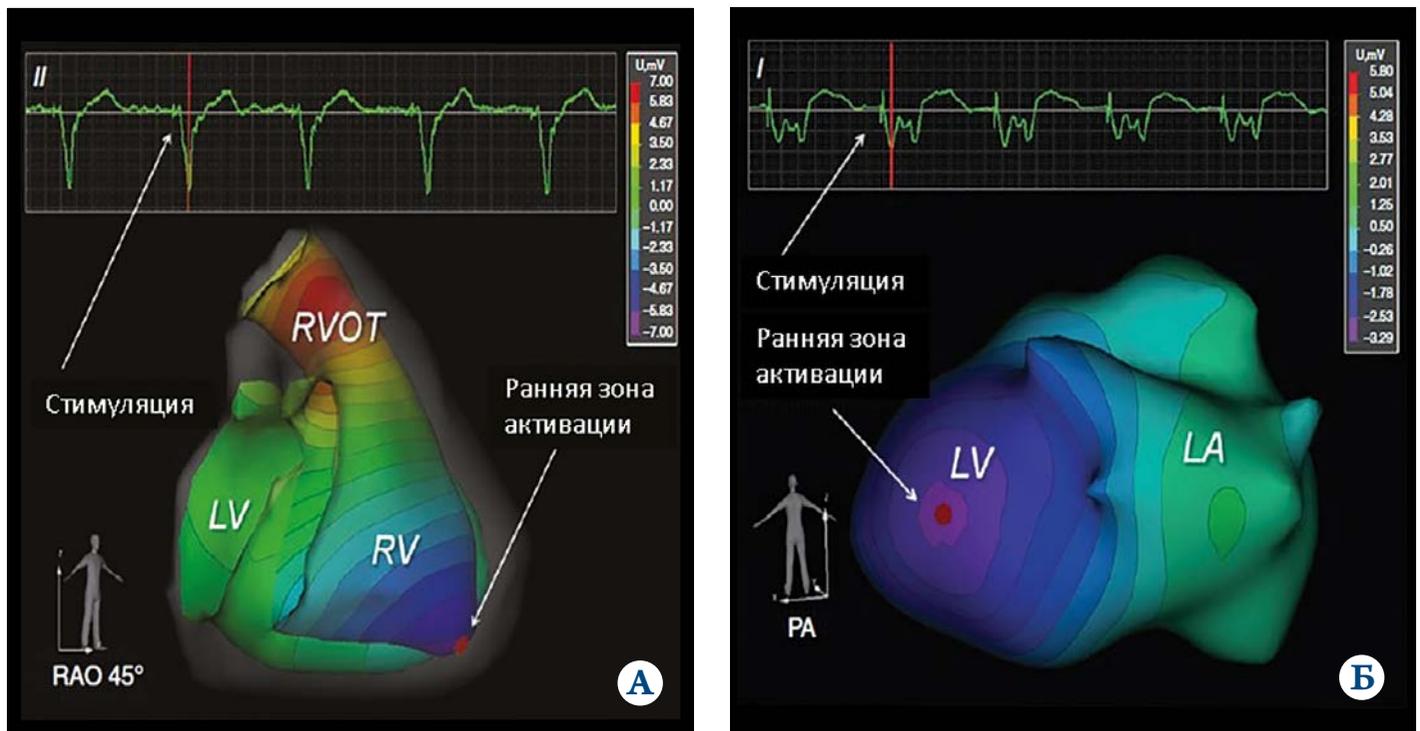
ного картирования, результатом которого стала публикация в 1998 г. работы, в которой описывается высокая эффективность поверхностного картирования на экспериментальной модели не только эпикардиально, но и эндокардиально [30]. В последующем многие группы исследователей проводили оценку эффективности и точности неинвазивного картирования. Так, J. L. Bagnes и соавт. [31] провели исследование по оценке возможности неинвазивного поверхностного картирования в диагностике ЖНР в своей экспериментальной работе. Точность реконструкций оценивали путем прямого сравнения с данными, полученными на эпикардиальной поверхности сердца. Карты активации неинвазивного картирования были построены во время правильной предсердной стимуляции и 9 циклов ЖТ. В ходе исследования продемонстрировано, что неинвазивное картирование позволяет выявить расположение электрофизиологического субстрата инфаркта, оценить последовательность активации эпикарда во время ЖТ и места эпикардиальных прорывов. Однако данная методика ограничена получением информации только на эпикардиальной поверхности сердца [31].

Y. Wang и соавт. [32] сообщили о применении неинвазивного картирования сердца у пациента с имплантированным электрокардиостимулятором (ЭКС) и ЖЭС

по типу бигеминии. На реконструированной модели эпикарда была продемонстрирована поочередная смена активации в ПЖ сердца (одно сокращение, генерированное ЭКС, второе – представленное ЖЭС) [32].

В 2015 г. А. Ш. Ревившвили и соавт. [12] выполняли ПНЭК пациентам с имплантированными устройствами. Целью работы были анализ и оценка точности определения локализации сайта стимуляции при помощи ПНЭК. В своем исследовании авторы выполнили ПНЭК 22 пациентам с имплантированными трехкамерными ИКД, используя последовательную стимуляцию с каждого электрода имплантированного устройства, после чего оценивали изохронную карту, построенную на основании ПНЭК, а также расстояние от полюса электрода до зоны ранней активации по результатам картирования. Исследование показало, что отклонение зоны ранней активации не превышало 10 мм (рис. 3, адаптировано по [33]). В рамках исследования 5 пациентам наряду с ПНЭК выполнялось инвазивное электроанатомическое картирование с использованием системы «CARTO» с выполнением стимуляции разных участков миокарда. Отклонение зоны ранней активации от стимулированных участков не превышало 8 мм, что свидетельствует о высокой точности неинвазивного картирования. Таким образом, авторы сделали выводы, что топическая диагностика ЖНР

**Рисунок 3.** Эндокардиальная изопотенциальная карта, построенная на основании данных поверхностного неинвазивного картирования у пациента с трехкамерным имплантируемым кардиовертером-дефибриллятором



А – стимуляция с правожелудочкового электрода, установленного в проекции верхушки правого желудочка, ранняя зона активации совпадает с расположением электрода; Б – стимуляция с левожелудочкового электрода, установленного по заднелатеральной стенке левого желудочка, ранняя зона активации совпадает с расположением электрода. RVOT – выводящий отдел правого желудочка (right ventricle outflow tract); LV – левый желудочек (left ventricle); RV – правый желудочек (right ventricle); LA – левое предсердие (left atrium); RAO – правая передняя косая проекция (right anterior oblique); PA – заднепередняя проекция (posterior-anterior).

на основе использования неинвазивного активационного картирования позволяет с высокой точностью выявлять зоны ранней активации и локализацию эктопического очага. Неинвазивное активационное картирование можно рекомендовать в предоперационном обследовании для топической диагностики ЖНР.

Последующая оценка эффективности ПНЭК описана в ряде клинических исследований у пациентов с ЖНР. Так, S. Ghosh и соавт. [33], опираясь на данные поверхностного картирования у двух пациентов с ФЖ в анамнезе, представили наличие областей с относительно короткими потенциалами действия и ранней реполяризацией (а не аномальной поздней активацией), что служит причиной возникновения так называемого градиента возбудимости, который лежит в основе механизма re-entry [33]. Данные находки были представлены авторами как гипотеза возникновения ЖНР. Авторы исследования подчеркивают эффективность определения тех или иных механизмов ЖНР при помощи ПНЭК.

Позднее Y. Wang и соавт. [11] на группе из 25 пациентов с ЖНР, которым была показана РЧА, продемонстрировали преимущества ПНЭК по сравнению с данными 12-канальной поверхностной ЭКГ и инвазивным картированием сердца. Полученные результаты ПНЭК демонстрируют разнообразие субстратов и механизмов ЖТ. У 15 пациентов выявлены локальное замедление и блокирование проведения возбуждения в уязвимых зонах миокарда желудочков, что приводило к разрыву замкнутого фронта волны возбуждения и появлению фазовых сингулярностей и формированию электрических роторов. У 10 пациентов выявлены ЖТ с замедленным проведением возбуждения в области участков фиброза, а также циркуляция волны re-entry вокруг зоны фиброза. ПНЭК превосходит в точности ЭКГ в 12 отведениях, которая предоставляет только глобальную информацию о ЖТ у конкретного пациента. В сравнении с инвазивным картированием, при котором карта активации строится последовательно с каждой точки миокарда, ПНЭК позволяет построить изохронную карту за один цикл аритмии [11].

Помимо данных об электрофизиологических процессах, протекающих в той или иной зоне миокарда, посредством ПНЭК возможно определять электроанатомические особенности сердца пациента. P. S. Cuculich и соавт. [34] продемонстрировали в своей работе возможность ПНЭК в определении зоны постинфарктного рубца. Так как зона инфаркта миокарда характеризуется аномальной электрофизиологией клеток и измененной клеточной структурой, она является ключевым субстратом в аритмогенезе ЖНР у пациентов данной категории. ПНЭК проводилось у 24 пациентов во время синусового ритма. Полученные эпикардальные амплитудные карты с пониженным сигналом сравнивали с локализацией постин-

фарктного рубца, определенного при помощи магнитно-резонансной томографии. В ходе исследования авторы показали, что ПНЭК способно визуализировать эпикардальную зону постинфарктного фиброза с высокой степенью точности (чувствительность 89%, специфичность 85%) [34].

В своей работе S. V. Margus и соавт. [35], опираясь на данные ПНЭК сердца, продемонстрировали, что его модифицированная электрическая активация приводит к изменениям реполяризации в сердце, которые сохраняются после восстановления нормальной активации ритма («память сердца»). В исследование были включены 9 пациентов с неизменной анатомией сердца и имплантированными двухкамерными ЭКС. Неинвазивная ЭКГ-визуализация применялась до имплантации ЭКС и спустя 1 мес после имплантации с постоянной стимулирующей желудочков. Было продемонстрировано, что электрическое ремоделирование в ответ на стимуляцию желудочков у пациентов приводит к удлинению потенциала действия вблизи места аномальной активации и заметной дисперсии реполяризации. Такая дисперсия реполяризации является потенциально аритмогенной и хуже определяется при непрерывной стимуляции ПЖ [35].

Кроме того, проводились различные исследования по оценке результатов топической диагностики ЖНР на основании таких неинвазивных процедур, как ЭКГ и ПНЭК. Так, S. Jamil-Copley и соавт. [36] сравнивали локализацию очага ЖНР, полученного при анализе 12-канальной поверхностной ЭКГ и использовании различных алгоритмов топической диагностики ЖНР, с данными локализаций, полученных при ПНЭК. Были обследованы и прооперированы 24 пациента с ЖНР. В ходе исследования авторы продемонстрировали, что точность ПНЭК в определении очага аритмии составила 100%, в то время как точность алгоритмов ЭКГ – 50–80% [36].

Группа исследователей во главе с D. Erkapic [37] сравнивали точность определения очага ЖНР при использовании алгоритмов 12-канальной ЭКГ и данных ПНЭК. В исследование были включены 42 пациента. Исследуемые были разделены на 2 группы: в 1-й группе определение локализации очага аритмии анализировалось по данным 12-канальной ЭКГ, во 2-й группе – по данным ПНЭК. Всем пациентам выполнялась РЧА. Точность системы ПНЭК в определении очага аритмии достигала 95,2%, в то время как точность ЭКГ алгоритмов – 76,2% [37]. Чуть позже указанная группа исследователей в своей работе показала, что ПНЭК способно локализовать очаг ЖНР на эпикардальной поверхности сердца с точностью, превосходящей ЭКГ-алгоритмы. Авторы показали, что ПНЭК помогает в определении тактики оперативного вмешательства, что сокращает длительность процедуры и повышает эффективность РЧА [38]. Мно-

гие исследователи в своих работах отмечают, что использование ПНЭК в качестве методики дооперационного обследования заметно сокращает время процедуры катетерной абляции, и в этом еще одно преимущество метода. Так, М. Носіні и соавт. [39] продемонстрировали высокую точность определения очага аритмии на эпикардимальной поверхности сердца у пациентов с ЖНР методом ПНЭК. Исследователи отметили, что ПНЭК помогает сократить длительность процедуры, флюороскопии и повысить эффективность РЧА.

В своей работе J. Zhang и соавт. [40] успешно выполнили РЧА у 32 пациентов с ишемической кардиомиопатией, в анамнезе которых зарегистрирована ЖТ. Для определения очага аритмии у данных пациентов применялся метод ПНЭК. В ходе работы авторы показали, что ПНЭК позволяет определить зону рубца и механизмы аритмии, что в свою очередь повысило эффективность РЧА, освободило пациентов от приема ААТ и имплантации ИКД.

### Опыт НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского

На базе НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского диагностика и интервенционное лечение ЖНР производятся с использованием отечественной системы ПНЭК «Амикард» (Россия). В 2018 г. опубликованы результаты РЧА у 23 пациентов с ЖНР. Пациентам выполнялись неинвазивное картирование в качестве предоперационной подготовки, инвазивное интраоперационное электроанатомическое картирование с использованием комплекса «Астрокард» (Россия) и последующая РЧА. У 22 пациентов зона ранней активности верифицирована с эндокардиальной поверхности желудочков, с эпикардиальной – в 1 случае. Общая эффективность РЧА составила 82,6% (n=19), при этом точность совпадения неинвазивного и эндокардиального инвазивного картирования составила 98% [28]. С помощью системы ПНЭК «Амикард» выполнена успешная РЧА ЖТ сложной локализации (переднелатеральная папиллярная мышца). Локализацию определяли при помощи системы ПНЭК на дооперационном этапе, что позволило выполнить инвазивное картирование при помощи системы Rhythmia прицельно в ЛЖ и сократить время построения активационной карты. Зона ранней активации полностью совпадала с результатами неинвазивного картирования, что привело к успешной РЧА и элиминации очага аритмии [41].

### Заключение

Длительное время основным методом топической диагностики желудочковых нарушений ритма являлось инвазивное картирование сердца. При разработке поверхностного неинвазивного электрофизиологического картирования многие исследователи оценивали точность поверхностного картирования, сравнивая его результаты с данными инвазивного картирования. Результатами данных исследований стало доказательство высокой точности в определении локализации и анализа механизмов желудочковых нарушений ритма сердца. Таким образом, ряд авторов в своих работах продемонстрировали широкий спектр применения поверхностного неинвазивного электрофизиологического картирования при различных видах желудочковых аритмий. Более того, метод характеризуется безопасностью, высокой чувствительностью и специфичностью, практичностью выполнения в рамках предоперационной подготовки к интервенционному вмешательству. Накопленная доказательная база позволяет использовать поверхностное неинвазивное электрофизиологическое картирование как основной инструмент в топической диагностике желудочковых аритмий, использование которого позволит планировать интервенционные вмешательства с последующим успешным их выполнением.

Исходя из данных мировой литературы, а также результатов исследований на базе НМИЦ хирургии им. А. В. Вишневского, изучение электрофизиологических механизмов желудочковых нарушений ритма и разработка эффективных и безопасных методов их интервенционного лечения на основе поверхностного неинвазивного электрофизиологического картирования сердца являются перспективным и многообещающим направлением в современной аритмологии.

### Финансирование

В рамках гранта РФФ №19-15-00406: Исследование электрофизиологических механизмов и разработка методов интервенционного лечения жизнеугрожающих желудочковых аритмий на основе неинвазивного картирования сердца.

*Конфликт интересов не заявлен.*

**Статья поступила 25.11.2020**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, Benjamin EJ, Berry JD, Blaha MJ et al. Heart Disease and Stroke Statistics – 2014 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2014;129(3):e28–292. DOI: 10.1161/01.cir.0000441139.02102.80
2. Zipes DP, Camm AJ, Borggrefe M, Buxton AE, Chaitman B, Fromer M et al. ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death. *Journal of the American College of Cardiology*. 2006;48(5):e247–346. DOI: 10.1016/j.jacc.2006.07.010
3. Buxton AE, Lee KL, Fisher JD, Josephson ME, Prystowsky EN, Hafley G. A Randomized Study of the Prevention of Sudden Death in Patients with Coronary Artery Disease. *New England Journal of Medicine*. 1999;341(25):1882–90. DOI: 10.1056/NEJM199912163412503

4. Moss AJ, Greenberg H, Case RB, Zareba W, Hall WJ, Brown MW et al. Long-Term Clinical Course of Patients After Termination of Ventricular Tachyarrhythmia by an Implanted Defibrillator. *Circulation*. 2004;110(25):3760–5. DOI: 10.1161/01.CIR.0000150390.04704.B7
5. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, Camm J et al. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPIC). *European Heart Journal*. 2015;36(41):2793–867. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv316
6. Palaniswamy C, Kolte D, Harikrishnan P, Khara S, Aronow WS, Mujib M et al. Catheter ablation of postinfarction ventricular tachycardia: Ten-year trends in utilization, in-hospital complications, and in-hospital mortality in the United States. *Heart Rhythm*. 2014;11(11):2056–63. DOI: 10.1016/j.hrthm.2014.07.012
7. Aliot EM, Stevenson WG, Almendral-Garrote JM, Bogun F, Calkins CH, Delacretaz E et al. EHRA/HRS Expert Consensus on Catheter Ablation of Ventricular Arrhythmias: Developed in a partnership with the European Heart Rhythm Association (EHRA), a Registered Branch of the European Society of Cardiology (ESC), and the Heart Rhythm Society (HRS); in collaboration with the American College of Cardiology (ACC) and the American Heart Association (AHA). *Europace*. 2009;11(6):771–817. DOI: 10.1093/europace/eup098
8. Stevenson WG, Soejima K. Catheter ablation for ventricular tachycardia. *Circulation*. 2007;115(21):2750–60. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.655720
9. AbdelWahab A, Stevenson W, Thompson K, Parkash R, Gray C, Gardner M et al. Intramural Ventricular Recording and Pacing in Patients With Refractory Ventricular Tachycardia: Initial Findings and Feasibility With a Retractable Needle Catheter. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2015;8(5):1181–8. DOI: 10.1161/CIRCEP.115.002940
10. Sapp JL, Dawoud F, Clements JC, Horáček BM. Inverse Solution Mapping of Epicardial Potentials: Quantitative Comparison With Epicardial Contact Mapping. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2012;5(5):1001–9. DOI: 10.1161/CIRCEP.111.970160
11. Wang Y, Cuculich PS, Zhang J, Desouza KA, Vijayakumar R, Chen J et al. Noninvasive Electroanatomic Mapping of Human Ventricular Arrhythmias with Electrocardiographic Imaging. *Science Translational Medicine*. 2011;3(98):84–98. DOI: 10.1126/scitranslmed.3002152
12. Revishvili AS, Wissner E, Lebedev DS, Lemes C, Deiss S, Metzner A et al. Validation of the mapping accuracy of a novel non-invasive epicardial and endocardial electrophysiology system. *Europace*. 2015;17(8):1282–8. DOI: 10.1093/europace/euu339
13. Couch OA. Cardiac Aneurysm with Ventricular Tachycardia and Subsequent Excision of Aneurysm: Case Report. *Circulation*. 1959;20(2):251–3. DOI: 10.1161/01.CIR.20.2.251
14. Josephson ME, Waxman HL, Cain ME, Gardner MJ, Buxton AE. Ventricular activation during ventricular endocardial pacing. II. Role of pace-mapping to localize origin of ventricular tachycardia. *The American Journal of Cardiology*. 1982;50(1):11–22. DOI: 10.1016/0002-9149(82)90003-0
15. Kuchar DL, Ruskin JN, Garan H. Electrocardiographic localization of the site of origin of ventricular tachycardia in patients with prior myocardial infarction. *Journal of the American College of Cardiology*. 1989;13(4):893–903. DOI: 10.1016/0735-1097(89)90232-5
16. Kushakovskiy M.S., Grishkin Yu.N. Heart arrhythmias. Heart rhythm and conduction disorders. Causes, mechanisms, electrocardiographic and electrophysiological diagnosis, clinic, treatment: A guide for doctors. - 4th ed. - St. Petersburg: Foliant; 2014. - 720 p. [Russian: Кушаковский М.С., Гришкин Ю.Н. Аритмии сердца. Расстройства ритма и нарушения проводимости. Причины, механизмы, электрокардиографическая и электрофизиологическая диагностика, клиника, лечение: руководство для врачей. 4-е изд., испр. и доп. - СПб.: Фолиант, 2014. - 720с]. ISBN 978-5-93929-245-0
17. Wilber DJ, Baerman J, Olshansky B, Kall J, Kopp D. Adenosine-sensitive ventricular tachycardia. Clinical characteristics and response to catheter ablation. *Circulation*. 1993;87(1):126–34. DOI: 10.1161/01.CIR.87.1.126
18. Shima T, Ohnishi Y, Inoue T, Yoshida A, Shimizu H, Itagaki T et al. The Relation Between the Pacing Sites in the Right Ventricular Outflow Tract and QRS Morphology in the 12-Lead ECG. *Japanese Circulation Journal*. 1998;62(6):399–404. DOI: 10.1253/jcj.62.399
19. Yoshida Y, Hirai M, Murakami Y, Kondo T, Inden Y, Akahoshi M et al. Localization of Precise Origin of Idiopathic Ventricular Tachycardia from the Right Ventricular Outflow Tract by a 12-Lead ECG: A Study of Pace Mapping Using a Multielectrode ‘Basket’ Catheter. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 1999;22(12):1760–8. DOI: 10.1111/j.1540-8159.1999.tb00408.x
20. Kamakura S, Shimizu W, Matsuo K, Taguchi A, Suyama K, Kurita T et al. Localization of Optimal Ablation Site of Idiopathic Ventricular Tachycardia from Right and Left Ventricular Outflow Tract by Body Surface ECG. *Circulation*. 1998;98(15):1525–33. DOI: 10.1161/01.CIR.98.15.1525
21. Jadonath RL, Schwartzman DS, Preminger MW, Gottlieb CD, Marchlinski FE. Utility of the 12-lead electrocardiogram in localizing the origin of right ventricular outflow tract tachycardia. *American Heart Journal*. 1995;130(5):1107–13. DOI: 10.1016/0002-8703(95)90215-5
22. Ito S, Tada H, Naito S, Kurosaki K, Ueda M, Hoshizaki H et al. Development and Validation of an ECG Algorithm for Identifying the Optimal Ablation Site for Idiopathic Ventricular Outflow Tract Tachycardia. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2003;14(12):1280–6. DOI: 10.1046/j.1540-8167.2003.03211.x
23. Azegami K, Wilber DJ, Arruda M, Lin AC, Denman RA. Spatial Resolution of Pacemapping and Activation Mapping in Patients with Idiopathic Right Ventricular Outflow Tract Tachycardia. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2005;16(8):823–9. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2005.50041.x
24. Corrado D, Basso C, Leoni L, Tokajuk B, Turrini P, Baucé B et al. Three-Dimensional Electroanatomical Voltage Mapping and Histologic Evaluation of Myocardial Substrate in Right Ventricular Outflow Tract Tachycardia. *Journal of the American College of Cardiology*. 2008;51(7):731–9. DOI: 10.1016/j.jacc.2007.11.027
25. Revishvili A.Sh., Rzaev F.G., Snegur R.Yu., Labartkava E.Z. Algorithm of topical diagnostics of right-ventricular arrhythmias. *Journal of Arrhythmology*. 2006;46:5–11. [Russian: Ревишвили А.Ш., Рзаев Ф.Г., Снегур Р.Ю., Лабарткава Е.З. Алгоритм топической диагностики правожелудочковых аритмий. Вестник аритмологии. 2006;46:5-11]
26. Revishvili A.Sh., Rzaev F.G., Noskova M.V. Topical diagnostics of ventricular arrhythmias in patients with non-coronary heart diseases. *Journal of Arrhythmology*. 2002;24:5–11. [Russian: Ревишвили А.Ш., Рзаев Ф.Г., Носкова М.В. Топическая диагностика желудочковых нарушений ритма у пациентов с некоронарогенными заболеваниями миокарда. Вестник аритмологии. 2002;24:5-11]
27. Bokeriya L.A., Revishvili A.Sh., Kalinin V.V., Lyadjina O.S., Fetisova E.A., Simonyan G.Yu. Non-invasive endocardial mapping of ventricles on the basis of solution of reverse problem of electrocardiography. *Journal of Arrhythmology*. 2009;57:24–8. [Russian: Бокерия Л.А., Ревишвили А.Ш., Калинин В.В., Ляджина О.С., Фетисова Е.А., Симонян Г.Ю. Эндокардиальное картирование желудочков сердца на основе решения обратной задачи электрокардиографии. Вестник аритмологии. 2009;57:24-8]
28. Yashkov M.V. Use of Russian non-invasive and invasive mapping systems for interventional treatment of ventricular arrhythmias. *Translational Medicine*. 2018;5(2):22–9. [Russian: Яшков М.В. Использование отечественных систем неинвазивного и инвазивного картирования для интервенционного лечения желудочковых аритмий. Трансляционная медицина. 2018;5(2):22-9]
29. Oster HS, Taccardi B, Lux RL, Ershler PR, Rudy Y. Noninvasive Electrocardiographic Imaging: Reconstruction of Epicardial Potentials, Electrograms, and Isochrones and Localization of Single and Multiple Electrocardiac Events. *Circulation*. 1997;96(3):1012–24. DOI: 10.1161/01.CIR.96.3.1012

30. Oster HS, Taccardi B, Lux RL, Ershler PR, Rudy Y. Electrocardiographic Imaging: Noninvasive Characterization of Intramural Myocardial Activation From Inverse-Reconstructed Epicardial Potentials and Electrograms. *Circulation*. 1998;97(15):1496–507. DOI: 10.1161/01.CIR.97.15.1496
31. Burnes JE, Taccardi B, Ershler PR, Rudy Y. Noninvasive electrocardiogram imaging of substrate and intramural ventricular tachycardia in infarcted hearts. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001;38(7):2071–8. DOI: 10.1016/S0735-1097(01)01653-9
32. Wang Y, Li L, Cuculich PS, Rudy Y. Electrocardiographic Imaging of Ventricular Bigeminy in a Human Subject. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2008;1(1):74–5. DOI: 10.1161/CIRCEP.107.753194
33. Ghosh S, Cooper DH, Vijayakumar R, Zhang J, Pollak S, Haïssaguerre M et al. Early repolarization associated with sudden death: Insights from noninvasive electrocardiographic imaging. *Heart Rhythm*. 2010;7(4):534–7. DOI: 10.1016/j.hrthm.2009.12.005
34. Cuculich PS, Zhang J, Wang Y, Desouza KA, Vijayakumar R, Woodard PK et al. The Electrophysiological Cardiac Ventricular Substrate in Patients After Myocardial Infarction: noninvasive characterization with electrocardiographic imaging. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011;58(18):1893–902. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.07.029
35. Marrus SB, Andrews CM, Cooper DH, Faddis MN, Rudy Y. Repolarization Changes Underlying Long-Term Cardiac Memory Due to Right Ventricular Pacing: Noninvasive Mapping With Electrocardiographic Imaging. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2012;5(4):773–81. DOI: 10.1161/CIRCEP.112.970491
36. Jamil-Copley S, Bokan R, Kojodjojo P, Qureshi N, Koa-Wing M, Hayat S et al. Noninvasive electrocardiographic mapping to guide ablation of outflow tract ventricular arrhythmias. *Heart Rhythm*. 2014;11(4):587–94. DOI: 10.1016/j.hrthm.2014.01.013
37. Erkapic D, Greiss H, Pajitnev D, Zaltsberg S, Deubner N, Berkowitsch A et al. Clinical impact of a novel three-dimensional electrocardiographic imaging for non-invasive mapping of ventricular arrhythmias – a prospective randomized trial. *Europace*. 2015;17(4):591–7. DOI: 10.1093/europace/euu282
38. Erkapic D, Neumann T. Ablation of Premature Ventricular Complexes Exclusively Guided by Three-Dimensional Noninvasive Mapping. *Cardiac Electrophysiology Clinics*. 2015;7(1):109–15. DOI: 10.1016/j.ccep.2014.11.010
39. Hocini M, Shah AJ, Neumann T, Kuniss M, Erkapic D, Chaumeil A et al. Focal Arrhythmia Ablation Determined by High-Resolution Noninvasive Maps: Multicenter Feasibility Study. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2015;26(7):754–60. DOI: 10.1111/jce.12700
40. Zhang J, Cooper DH, Desouza KA, Cuculich PS, Woodard PK, Smith TW et al. Electrophysiologic Scar Substrate in Relation to VT: Noninvasive High-Resolution Mapping and Risk Assessment with ECGI. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 2016;39(8):781–91. DOI: 10.1111/pace.12882
41. Artyukhina E.A., Dedukh E.V., Yashkov M.V., Revishvili A.Sh. Elimination of ventricular tachycardia of endocardial localization using non-invasive and high-density mapping of the left ventricle. *Journal of Arrhythmology*. 2020;27(1):70–2. [Russian: Артюхина Е.А., Дедух Е.В., Яшков М.В., Ревишвили А.Ш. Устранение желудочковой тахикардии эндокардиальной локализации с использованием неинвазивного и высокоплотного картирования левого желудочка. *Вестник аритмологии*. 2020;27(1):70-2]. DOI: 10.35336/VA-2020-1-70-72