

## НЕИНВАЗИВНАЯ ДИАГНОСТИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ АРИТМИЙ СЕРДЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ СИСТЕМЫ НЕИНВАЗИВНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО КАРТИРОВАНИЯ «АМИКАРД 01К»

*А. Ш. Ревшвили, В. В. Калинин, А. В. Калинин, Е. З. Лабарткава, С. А. Александрова,  
Е. И. Спиридонова, О. В. Сопов\**

ФГБУ «Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева» (директор – академик РАН и РАМН Л. А. Бокерия) РАМН, Москва

---

*Среди диагностических методов исследования аритмий все большую актуальность приобретают неинвазивные методы диагностики, которые способны качественно дополнить информацию о механизмах тех или иных нарушений ритма сердца в предоперационном периоде и сократить время абляции и флюороскопии.*

*Основой неинвазивной диагностики в настоящее время является принцип реконструкции потенциала электрического поля сердца как на эпикардальной поверхности сердца, так и на эндокардиальной поверхности предсердий и желудочков. Такой принцип реализован в программно-аппаратном комплексе «Амикард», предназначенном для неинвазивного электрофизиологического исследования сердца на основе решения обратной задачи электрокардиографии.*

***Цель.** Целью данного исследования является проверка топической диагностики некоторых сердечных аритмий на основе синхронизированной реконструкции эпиэндокардиальных потенциалов в сравнении с эпикардальным картированием, оценка возможностей и результатов при применении системы в условиях инвазивного электрофизиологического исследования.*

***Материал и методы.** В ходе исследования были обследованы 79 пациентов (42 мужчины и 37 женщин), средний возраст которых составил 33,4 года, с различными нарушениями ритма сердца. Всем пациентам проводились электрокардиография в 12-стандартных отведениях, эхокардиограмма, суточное мониторирование электрокардиограммы по Холтеру, лабораторные тесты, включающие*

клинический и биохимический анализы крови, иммунологическое исследование крови на миокардальные антитела, анализ крови на гормоны щитовидной железы (по показаниям). Также проводилась магнитно-резонансная томография миокарда пациентам с правожелудочковыми нарушениями ритма и коронарография для определения ишемического генеза нарушений ритма сердца. После предварительного обследования проводились неинвазивное поверхностное активационное картирование, компьютерная томография сердца с контрастированием для дальнейшего построения поверхностных и реконструируемых эпикардальных изопотенциальных и изохронных карт. Следующим этапом выполнялось эндокардиальное электрофизиологическое исследование.

**Результаты.** Обработка полученных данных и сопоставление локализации аритмогенного очага по результатам поверхностного неинвазивного активационного картирования и данных внутрисердечного электрофизиологического исследования показали следующие результаты: у 33 (89,2%) пациентов локализация эктопического очага совпала с данными внутрисердечного электрофизиологического исследования со стабильной точностью. При проведении суточного мониторирования электрокардиограммы по Холтеру в раннем послеоперационном периоде у этих пациентов отмечалось полное исчезновение желудочковых нарушений ритма ( $n = 14$ ) или значительное уменьшение их количества ( $n = 3$ ). В 4 случаях локализация аритмогенного очага, определенная с помощью неинвазивного активационного картирования по реконструируемым изохронным и изопотенциальным эпикардальным картам, не совпала с данными электрофизиологического исследования. Из них у 3 больных операция радиочастотной аблации оказалась неуспешной.

Всем пациентам была выполнена операция радиочастотной аблации аритмогенных очагов. Лишь в 2 случаях при желудочковой экстрасистолии, когда зона ранней активации располагалась эпикардально в проекции коронарных артерий, ограничились проведением только электрофизиологического исследования.

**Заключение.** Использование результатов поверхностного активационного картирования у больных с различными нарушениями ритма сердца позволяет сделать вывод о высокой диагностической ценности данной методики при предоперационном обследовании пациентов. Топическая диагностика аритмогенного субстрата, проведенная на дооперационном этапе, позволяет сократить время поиска аритмогенного очага, избежать возможных интраоперационных осложнений, таких как повреждение коронарных сосудов, а также сократить время флюороскопии во время процедуры.

**Ключевые слова:** поверхностное активационное картирование сердца, «Амикард», нарушения ритма сердца, топическая диагностика аритмий.

*Non-invasive methods of arrhythmias diagnosis become more relevant that can complement the information about the certain mechanisms of cardiac arrhythmias in the preoperative period and reduce the time of ablation and fluoroscopy.*

*The basis for non-invasive diagnosis is currently the principle of electric field potential reconstruction of the epicardial surface of the heart and the endocardial surface of the atria and ventricles. This principle is implemented in software and hardware complex "Amycard" intended for non-invasive cardiac EP study based on the inverse ECG study.*

**Objective.** The study purpose is to test the topical diagnosis of some cardiac arrhythmias by the synchronized reconstruction of epi-endocardial potentials compared with an epicardial mapping, an assessment of opportunities and results of the system application in invasive EP study.

**Material and methods.** 79 patients with the different cardiac arrhythmias were examined during the study (42 men and 37 women), average age — 33.4 y. o. All patients underwent ECG in 12 standard leads, echocardiography, ambulatory electrocardiographic Halter monitoring, laboratory tests, including clinical and biochemical blood tests, immunological research for myocardial blood antibody, blood test for thyroid hormones (indicated). MRI of myocardium was undertaken to patients with the right ventricular arrhythmias and coronary angiography to determine the ischemic genesis of cardiac arrhythmias. Non-invasive mapping of surface activation, cardiac computer tomography with contrast for the further construction of surface and reconstructed epicardial isopotential and isochronous maps were undertaken after preliminary survey. Next step was an endocardial electrophysiological study.

**Results.** During the data processing and comparing the localization of arrhythmogenic focus by the results of noninvasive surface mapping and cardiac EP study, the study showed the following results: 33 patients (89.2%) had the localization of ectopic focus coincided with the data of intracardiac EP study with the stable accuracy. Daily monitoring of Halter ECG in the early postoperative period in these patients showed a complete disappearance of ventricular arrhythmias ( $n=14$ ), or a significant reduction in their number ( $n=3$ ). 4 cases had the localization of arrhythmogenic focus, defined by the noninvasive activation mapping for isochronous and reconstructed epicardial isopotential maps mismatched with the data of EPS. Of these three patients had an unsuccessful RFA.

All the patients were undergone the RFA of arrhythmogenic focuses. Only two cases of ventricular arrhythmia, when the area of early activation was located in the projection of the epicardial coronary arteries, were limited by the EPS only.

**Conclusion.** Using results of the surface activation mapping in patients with various cardiac arrhythmias shows its high diagnostic value and the necessity for a preoperative examination. Previously held topical diagnosis of arrhythmogenic substrate will reduce the time of the arrhythmia origin finding, to avoid possible adverse intraoperative complications such as a damage of coronary vessels, as well as reduce the time of intraoperative fluoroscopy.

**Key words:** noninvasive activation mapping of the heart, cardiac arrhythmias, «Amycard», topical diagnosis of arrhythmias.

## Введение

### Описание методики

В связи с развитием интервенционных и хирургических методов лечения нарушений сердечного ритма большое значение имеет совершенствование методов электрофизиологического исследования (ЭФИ) сердца. Прогресс в этой области связан с двумя направлениями: развитием техники инвазивного ЭФИ сердца и разработкой неинвазивных методов ЭФИ на основе вычислительной реконструкции электрофизиологических процессов сердца по данным электрокардиографических (ЭКГ) измерений. Среди методик обоих направлений большое значение приобретает ЭФИ сердца на основе решения так называемой обратной задачи ЭКГ – неинвазивное активационное картирование сердца [2–13].

*Неинвазивное активационное картирование сердца* – это инновационная электрокардиографическая методика, концептуально близкая к медицинской томографии. Лежащий в ее основе принцип заключается в решении обратной задачи электрокардиографии в форме потенциалов – вычислительной реконструкции потенциала электрического поля на поверхности миокарда по измеренному потенциалу на поверхности тела.

Данная методика позволяет неинвазивным путем на основе математической обработки данных электрокардиографических измерений на поверхности грудной клетки с высокой точностью реконструировать совокупность электрограмм (ЭГ) на поверхности миокарда предсердий и желудочков. Далее при помощи автоматизированного анализа восстановленных электрограмм проводится реконструкция последовательности возбуждения миокарда предсердий и желудочков, определение источников эктопического возбуждения миокарда и других электрофизиологических данных [2–13].

Таким образом, неинвазивное активационное картирование сердца позволяет осуществлять электрофизиологическую и топическую диагностику нарушений сердечного ритма с точностью, которая достигалась ранее лишь на основе прямых электрокардиографических измерений на поверхности миокарда в условиях хирургического или интервенционного вмешательства.

*Главными преимуществами метода являются:*

- неинвазивный характер;
- одновременное картирование всех четырех камер сердца;
- одновременное картирование на эндокарде и эпикарде сердца;
- картирование за один сердечный цикл;
- картирование аритмий, характеризующихся аperiодическими электрофизиологическими процессами.

*Основные области применения неинвазивного активационного картирования:*

- предоперационная диагностика сложных нарушений сердечного ритма перед хирургическим или интервенционным лечением;
- постоперационный контроль, диагностика рецидивирующих и инцизионных аритмий после хирургического или интервенционного лечения;
- электрофизиологическая и топическая диагностика нарушений ритма, характеризующихся аperiодическими или редко повторяющимися электрофизиологическими процессами;
- электрофизиологическое исследование сердца у пациентов, имеющих противопоказания для катетеризации сердца.
- сердечная ресинхронизирующая терапия.

Неинвазивное активационное картирование, проведенное в предоперационном периоде, сокращает время инвазивного электрофизиологического исследования, длительность хирургического вмешательства и интраоперационной флюороскопии, существенно уменьшает лучевую нагрузку на пациента и медицинский персонал.

В послеоперационном периоде неинвазивное активационное картирование дает возможность без повторных инвазивных вмешательств контролировать эффективность выполненной катетерной абляции, своевременно выявлять рецидивы нарушений ритма, определять топическую характеристику и электрофизиологическую природу инцизионных аритмий.

Возможность картирования всех четырех камер сердца за один сердечный цикл позволяет осуществить детальную диагностику сердечных аритмий, имеющих неустойчивый характер или аperiодическое протекание электрофизиологических процессов. К этой группе относятся до 30% всех нарушений ритма: от редкой эктопической экстрасистолии до фибрилляции предсердий.

Одновременное картирование на эпикарде и эндокарде позволяет определить глубину залегания источника патологического возбуждения миокарда по отношению к эпикарду и эндокарду. Эта информация является важной для выбора тактики хирургического (интервенционного) лечения синдрома Wolff–Parkinson–White (WPW) и эктопических аритмий.

Инвазивное электрофизиологическое исследование сердца является сложной и небезопасной процедурой, проводимой только по строгим показаниям. Противопоказаний к неинвазивному активационному картированию сердца гораздо меньше. Неинвазивное активационное картирование сердца открывает возможности точной диагностики аритмий у пациентов, имеющих противопоказания для интервенционного вмешательства.

В НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН при участии авторов статьи разработан программно-аппаратный комплекс «Амикард», предназначенный для неинвазивного ЭФИ сердца на основе решения обратной задачи ЭКГ [1]. Возможности новой версии программного обеспечения комплекса позволяют проводить реконструкцию потенциала электрического поля сердца, как на эпикардиальной поверхности сердца, так и на эндокардиальной поверхности предсердий и желудочков [1–4].

Цель данного исследования – проверка точности реконструкции эпикардиальных потенциалов при их совместной реконструкции с эндокардиальными потенциалами, верификация точности топической диагностики некоторых сердечных аритмий на основе одновременного эпиэндокардиального картирования в сравнении с эпикардиальным картированием, оценка возможностей и результатов при применении системы в условиях инвазивного ЭФИ.

### Материал и методы

В исследование вошли 79 пациентов (42 мужчины и 37 женщин) в возрасте от 14 до 75 лет (средний возраст – 33,4 года), с различными формами нарушения ритма сердца. Из них у 37 пациентов диагностированы фокусные желудочковые нарушения ритма различной локализации, у 35 пациентов – манифестирующий синдром предвозбуждения желудочков и у 7 пациентов – очаговые предсердные аритмии. Всем пациентам проводились следующие исследования: ЭКГ в 12-стандартных отведениях, эхокардиография (ЭхоКГ), суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру, клинический и биохимический анализы крови, иммунологическое исследование крови на миокардиальные антитела, магнитно-резонансная томография (МРТ) миокарда (по показаниям), анализ крови на гормоны щитовидной железы (по показаниям), коронарография, неинвазивное поверхностное активационное картирование, компьютерная томография сердца с контрастированием, эндокардиальное электрофизиологическое исследование.

Магнитно-резонансная томография сердца проводилась пациентам с правожелудочковыми нарушениями ритма (для подтверждения или исключения наличия участков дисплазии миокарда правого желудочка). Мужчинам старше 40 лет ( $n = 12$ ) и женщинам старше 50 лет ( $n = 4$ ) выполнялась коронарография для исключения значимых атеросклеротических изменений коронарных артерий и соответственно ишемического генеза нарушений ритма сердца.

Постмиокардитический кардиосклероз был выявлен у 24 (30,3%) пациентов, у 13 (16,4%)

женщин были выявлены дисгормональные нарушения.

Неинвазивное активационное картирование включало следующие этапы (рис. 1):

1. Проведение многоканальной регистрации ЭКГ: запись 240 однополюсных отведений с поверхности грудной клетки с использованием системы неинвазивного электрофизиологического картирования «Амикард 01К» (Россия). Для картирования использовались одноразовые хлорсеребряные электроды, применяемые в системах суточного мониторирования ЭКГ.

2. Пациентам с уже наложенными поверхностными электродами проводилась спиральная компьютерная томография грудной клетки (сканер «Imatron Evolution C-150») с внутривенным контрастированием. Использовался различный шаг спирали: 5–7 мм для сканирования всей грудной клетки и 3 мм – для сканирования области сердца.

3. По данным компьютерной томографии строились реалистичные воксельные модели торса и сердца, а при необходимости – различных отделов сердца (модели предсердий, желудочков, межжелудочковой перегородки). Для более точного определения аритмогенного источника построение воксельных моделей сердца включало разрезы на интересующем участке сердца (например, на уровне клапанов сердца).

По данным компьютерной томографии определялись также трехмерные координаты центра каждого электрода для поверхностного картирования. Таким образом, каждой записанной с поверхности тела ЭКГ соответствовала точная трехмерная координата, что являлось обязательным и необходимым условием для дальнейшего построения поверхностных и реконструируемых эпикардиальных и эндокардиальных изопотенциальных и изохронных карт.

Дальнейшая обработка информации осуществлялась с использованием программного обеспечения, с помощью которого проводилось сопоставление записанных поверхностных ЭКГ и реалистичных 3D-моделей торса и сердца, реконструкция потенциалов электрического поля сердца и построение изопотенциальных и изохронных карт на трехмерных моделях торса и сердца.

По полученным реконструируемым эпикардиальным и эндокардиальным изопотенциальным и изохронным картам на трехмерных моделях сердца определялись области ранней активации, соответствующие проекции эктопического источника. Выявленная локализация эктопического источника сравнивалась с данными внутрисердечного инвазивного ЭФИ, проведенного всем пациентам. Инвазивное ЭФИ выполняли

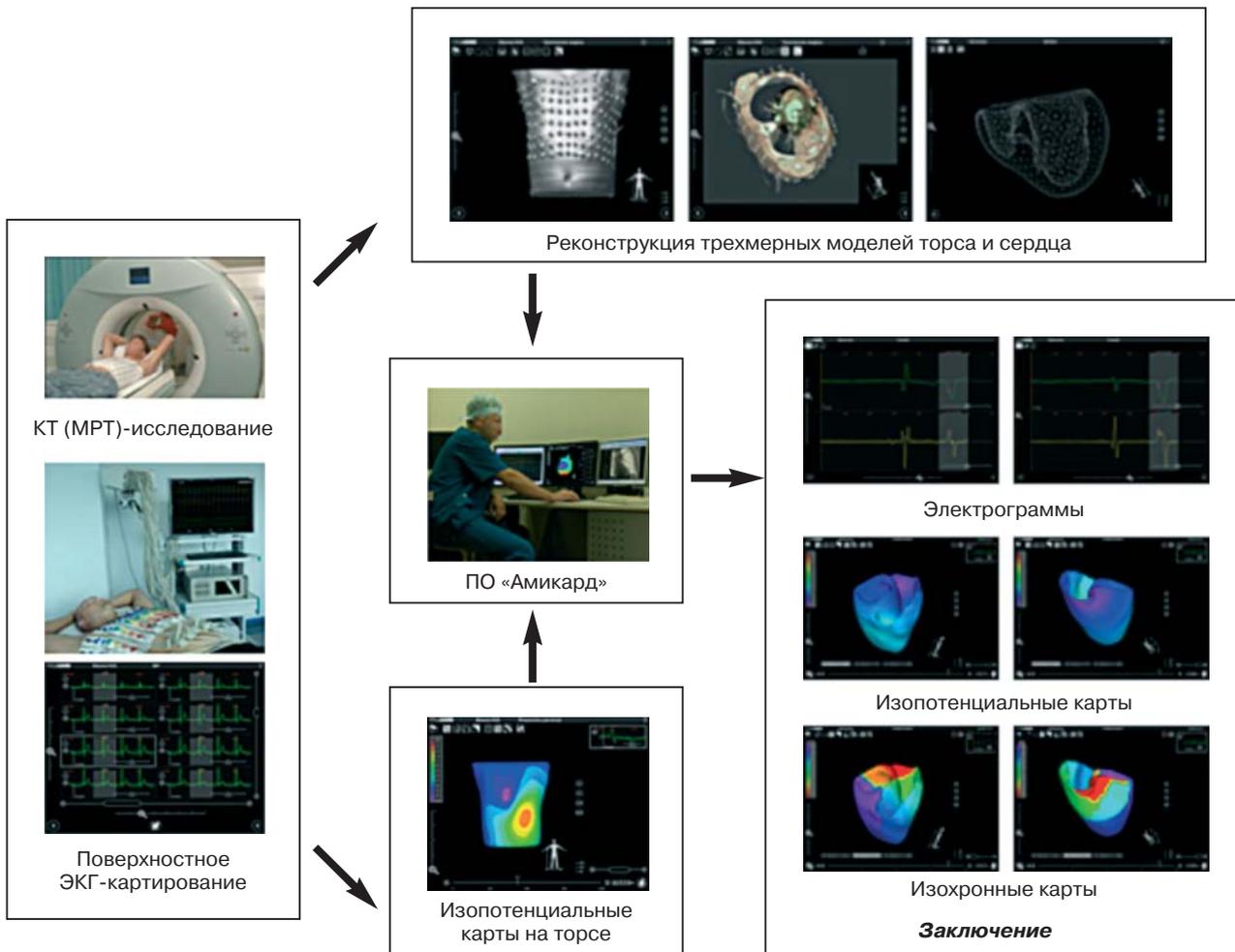


Рис. 1. Схема исследования, используемая для проведения неинвазивного электрофизиологического картирования

с целью подтверждения диагноза, определения механизма аритмии и определения локализации очага аритмии непосредственно перед лечением — проведением радиочастотной абляции аритмогенного источника. Одиннадцати пациентам применялась навигационная система CARTO (Biosense Webster, США), с помощью которой проводилась не только диагностика аритмогенного очага, но и трехмерная электроанатомическая реконструкция исследуемой камеры сердца, построение изохронной и изопотенциальной эндокардиальных карт.

В группе пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и с синдромом предвозбуждения желудочков мы также оценивали возможность влияния дооперационного использования данной системы на время флюороскопии и общее время радиочастотных аппликаций.

### Результаты

Основной задачей настоящего исследования было сопоставление локализации аритмогенного очага по результатам поверхностного неинвазив-

ного активационного картирования с данными инвазивного внутрисердечного электрофизиологического исследования и определение влияния данных дооперационного исследования на продолжительность хирургической процедуры и эффективность РЧА.

У всех пациентов были восстановлены эпикардиальные и эндокардиальные ЭГ, построены изопотенциальные и изохронные карты на эпикарде и эндокарде желудочков и межжелудочковой перегородке. Реконструированные эндокардиальные и эпикардиальные ЭГ в области коронарного синуса достаточно хорошо совпадали с ЭГ, зарегистрированными при инвазивном ЭФИ сердца. Сравнение эпикардиальных ЭГ и эпикардиальных изопотенциальных карт, полученных при расчете только для эпикарда и при одновременном эндоэпикардиальном расчете выявило их практически полное совпадение. Среднеквадратичная разность эпикардиальных потенциалов, рассчитанная по двум методикам за время кардиоцикла, составляла от 4 до 7%.

Результаты инвазивного электрофизиологического исследования (рис. 2, а) показали, что среди 37 пациентов с фокусными желудочковыми нарушениями ритма у 20 (54,5%) пациентов аритмогенный очаг был локализован в правом желудочке: у 11 пациентов – в переднеперегородочной области выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ), у 5 пациентов – в области передней стенки ВОПЖ (рис. 3) и у 4 пациентов – в области передней стенки приточного отдела ПЖ. У 17 (45,5%) пациентов по данным ЭФИ очаг аритмии находился в левом желудочке. Области ранней активации у 13 пациентов располагались в выводном отделе левого желудочка (ВОЛЖ) (рис. 2, б): у 5 пациентов – в проекции левого синуса Вальсальвы, у 5 больных – в области проекции некоронарного синуса Вальсальвы и у 3 пациентов – эпикардиально в проекции устья ПМЖВ. В 3 случаях очаг аритмии располагался в базальном отделе ЛЖ в области переднебоковой стенки под створкой митрального клапана, и в одном случае определялась широкая зона ранней активации, распространяющаяся от верхушки до средних отделов ЛЖ по переднебоковой и заднебоковой стенке.

Сопоставление локализации аритмогенного очага по результатам поверхностного неинвазивного активационного картирования и данным внутрисердечного ЭФИ показало следующие результаты: у 33 (89,2%) пациентов локализация эктопического очага совпадала с данными внутрисердечного ЭФИ со стабильной точностью, при этом в данной группе пациентов проведенная операция радиочастотной абляции оказалась эффективной и не требующей повторных воздействий.

При проведении суточного мониторинга ЭКГ по Холтеру в раннем послеоперационном периоде у этих пациентов отмечалось полное исчезновение желудочковых нарушений ритма ( $n = 30$ ) или значительное уменьшение их количества ( $n = 2$ ). Только у одного пациента из этой группы РЧА не проводилась, поскольку было определено расположение аритмогенного очага в области проекции устья ПМЖВ.

У 4 (11,8%) пациентов область ранней активации, определенная с помощью неинвазивного активационного картирования по реконструируемым изохронным и изопотенциальным эпикардиальным и эндокардиальным картам, не совпала с данными инвазивного ЭФИ. Из них у 3 больных операция РЧА оказалась unsuccessful: у пациента с широкой зоной ранней активации в левом желудочке и у 2 пациентов с ранней зоной активации в области проекции ПМЖВ. В этой группе только в одном случае операция РЧА оказалась эффективной. По данным внутрисердечного ЭФИ зона ранней активации располагалась в области левого синуса Вальсальвы, а по данным неинвазивного поверхностного активационного картирования аритмогенный очаг располагался в области некоронарного синуса Вальсальвы.

Из 35 случаев с синдромом WPW (рис. 4) в 4 (11,5%) были диагностированы дополнительные предсердно-желудочковые соединения (ДПЖС), у 18 (51,4%) пациентов ДПЖС располагались слева, у 13 (37,1%) пациентов были диагностированы септальные и парасептальные ДПЖС.

Из 7 пациентов с предсердными аритмиями у 4 аритмогенный очаг был локализован в правом

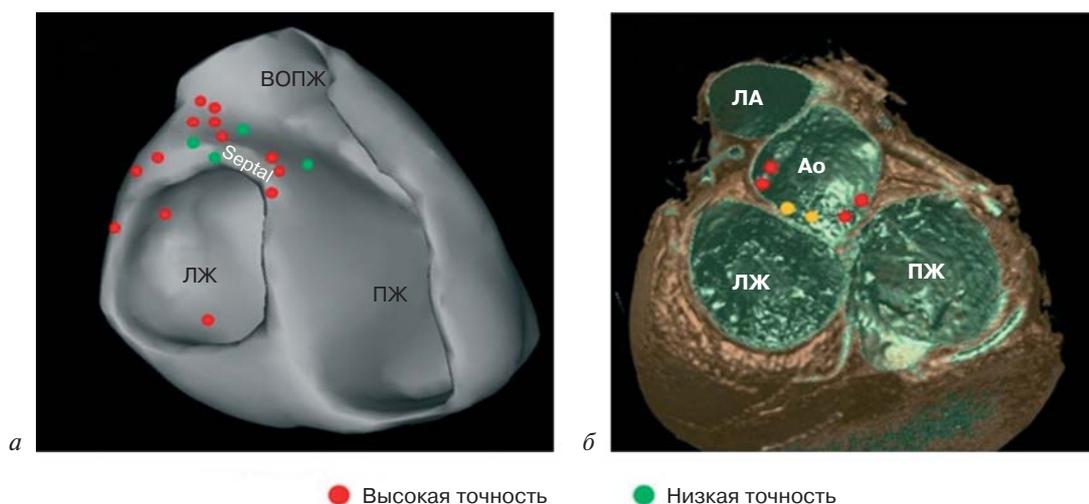


Рис. 2. Локализация аритмогенных очагов по данным инвазивного и неинвазивного картирования:

а – при желудочковых нарушениях ритма (желудочковая экстрасистолия,  $n = 37$ ). ВОПЖ – выводной отдел правого желудочка, ПЖ – правый желудочек, ЛЖ – левый желудочек, Septal – межжелудочковая перегородка. Цветными точками обозначены аритмогенные зоны, где проводилась радиочастотная абляция; б – при желудочковых нарушениях ритма из выводного отдела левого желудочка (желудочковая экстрасистолия,  $n = 13$ ). ЛА – легочная артерия, Ао – зона аортального клапана. Цветными точками обозначены аритмогенные зоны, где проводилась радиочастотная абляция

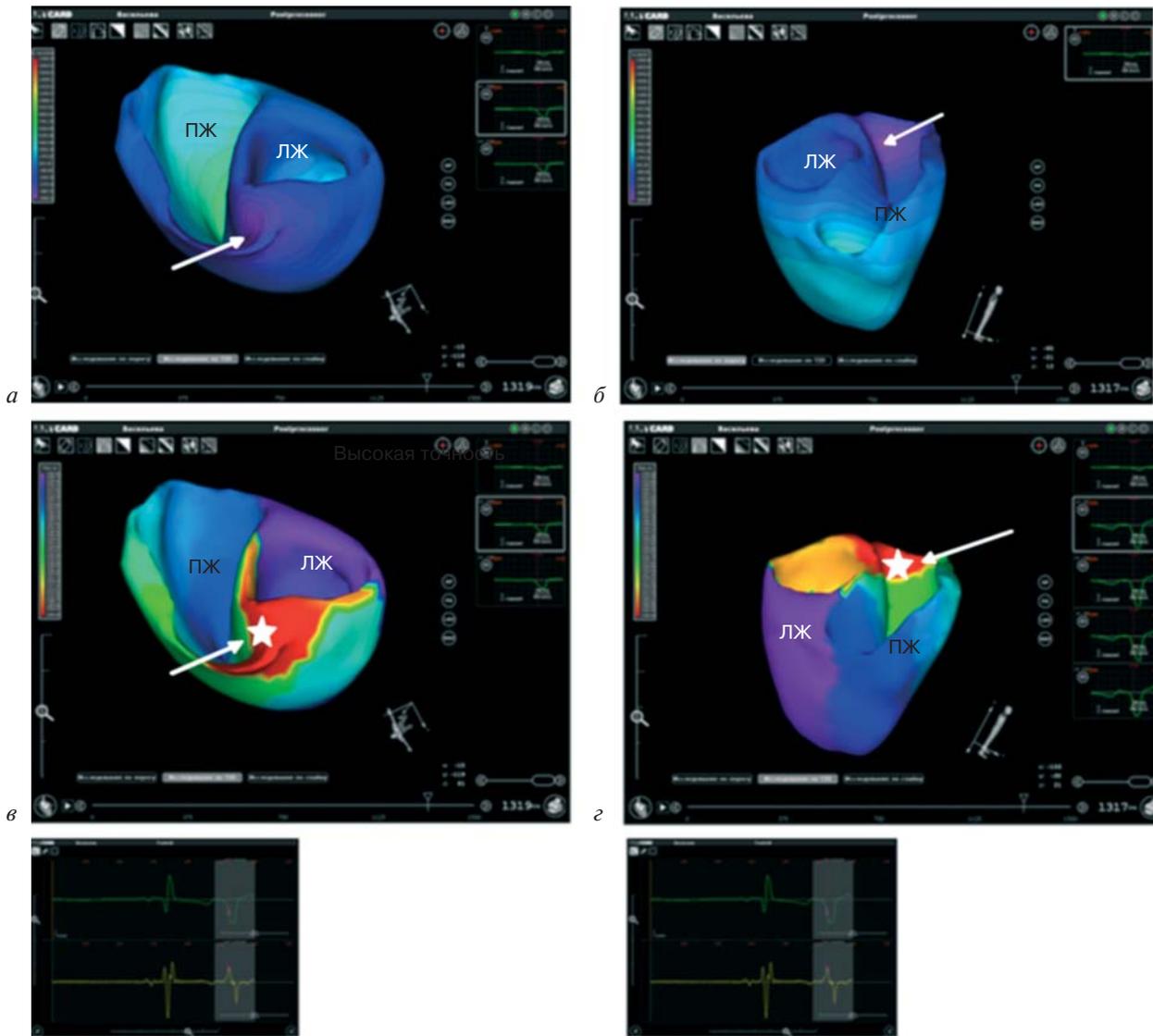


Рис. 3. Клинический случай ЖЭ из ВОПЖ:

*а, б* – амплитудные карты пациента, полученные при неинвазивном картировании. Стрелками обозначен очаг аритмии, где выполнена радиочастотная абляция; *в, г* – временные карты пациента, полученные при неинвазивном картировании. Звездочками обозначен очаг аритмии, где выполнена радиочастотная абляция

предсердия: у 2 пациентов – в устье коронарного синуса, у 1 пациента – в области основания ушка правого предсердия, у 1 – в области терминального гребня. У 3 пациентов очаг аритмии находился в левом предсердии: у 1 пациента – в области межпредсердной перегородки, у 1 – в легочных венах и у 1 – в области основания ушка левого предсердия. Данные, полученные при неинвазивном ЭФИ картировании, полностью совпали с результатами инвазивного ЭФИ.

В группах пациентов с синдромом WPW и предсердными эктопическими нарушениями ритма наблюдалась высокая точность совпадения данных, полученных при использовании неинвазивного поверхностного ЭКГ-картирования, и результатов, полученных при инвазивном электрофизиологическом картировании. Только в 2 случаях у па-

циентов с манифестирующим синдромом WPW наблюдалось расхождение данных при локализации ДПЖС в парасептальной области (по данным инвазивного ЭФИ ранняя зона определялась в левой нижней парасептальной области, а по данным неинвазивного ЭФИ прорыв ранней активации желудочков зарегистрирован в районе правой нижней парасептальной области).

Всем пациентам кроме одного ( $n = 78$ ) была выполнена операция радиочастотной абляции аритмогенного субстрата. Лишь в одном случае при желудочковой экстрасистолии, когда зона ранней активации располагалась эпикардиально в проекции коронарных артерий, ограничились проведением только ЭФИ. В случаях с пациентами с синдромом WPW и предсердными аритмиями достигнута 100% эффективность при инвазивном ЭФИ, РЧА.

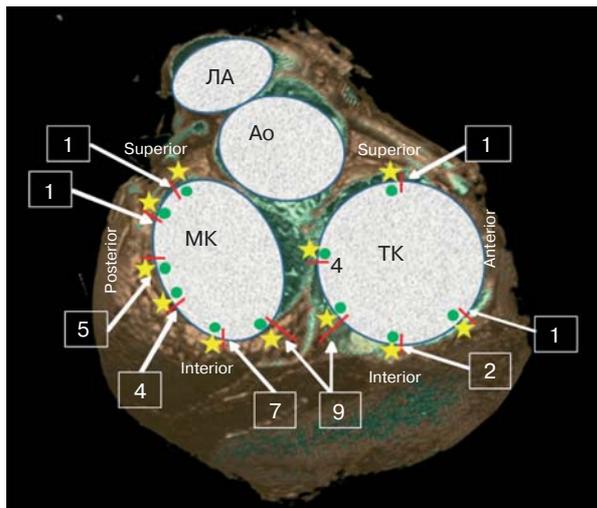


Рис. 4. Локализация ДПЖС по данным неинвазивного картирования и результатам РЧА при синдроме WPW ( $n=35$ ). ЛА – легочная артерия, МК – митральный, ТК – трикуспидальный клапан. Зелеными точками обозначены зоны, где проводилась РЧА, звездочками – фактически полученные зоны локализации ДПЖС при неинвазивном картировании. В квадратах – число пациентов с данной локализацией ДПЖС (точность локализации –  $4,7 \pm 1,4$  мм)

После проведенных радиочастотных абляций в группе пациентов с предсердными нарушениями ритма сердца по данным суточного мониторирования ЭКГ по Холтеру в раннем послеоперационном периоде отмечалось полное исчезновение эктопической активности.

В группе пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и с синдромом предвозбуждения желудочков использование данной системы на дооперационном этапе позволило уменьшить время флюороскопии и общее время радиочастотных аппликаций при проведении интервенционных процедур.

### Обсуждение

В последнее время помимо медикаментозного лечения нарушений ритма сердца, которое, надо отметить, не всегда оказывается эффективным, широко и с успехом стали применяться методы катетерной радиочастотной абляции. Как известно, немаловажную роль в успехе лечения, в том числе и с помощью интервенционных методов, играет правильная диагностика на дооперационном этапе. В связи с этим весьма актуальна разработка более точных неинвазивных методов топической диагностики аритмий.

Одному из принципиально новых методов неинвазивной топической диагностики посвящена данная статья. Особенно интересно то, что новый метод топической диагностики, основанный на решении так называемой обратной задачи электрокардиографии, позволяет не только определить

локализацию аритмогенного очага, но и дает возможность неинвазивной визуализации динамики процессов возбуждения миокарда желудочков, которое реконструируется на реалистичных трехмерных моделях сердца, получаемых с помощью компьютерной томографии. Благодаря этому уже на дооперационном этапе можно получить достоверную информацию не только о расположении эктопического очага, но и о механизме аритмии. Интересна возможность нового метода определять глубину залегания аритмогенного очага и изучать процессы возбуждения миокарда как на эпикардиальной, так и на эндокардиальной поверхности сердца. Знание такого объема информации на дооперационном этапе позволит оперирующему хирургу не только быстрее найти аритмогенный очаг, что сократит продолжительность операции, но и правильно выбрать биофизические параметры радиочастотного воздействия.

Точность представленной электрофизиологической методики в первую очередь определяется применяемым вычислительно-математическим алгоритмом реконструкции электрического поля сердца. Однако помимо чисто математических причин следует указать и другие источники погрешности метода: дыхательные движения грудной клетки при поверхностном картировании и во время проведения КТ-сканирования, вследствие которых может отличаться позиция сердца при поверхностном ЭКГ-картировании и КТ-сканировании. Имеет значение «чистота» исходных ЭКГ-данных – возможный дрейф изолинии и наличие «наводок» при поверхностном ЭКГ-картировании. Также важное значение имеет количество отведений при поверхностном ЭКГ-картировании.

Сравнительный анализ эпикардиальных и эндокардиальных изохронных карт показал, что при субэндокардиальной локализации как эктопических источников, так и дополнительных предсердно-желудочковых соединений область ранней активации на эпикарде значительно шире, чем на эндокарде. Напротив, при субэпикардиальной локализации аритмогенных структур область ранней активации будет шире на эндокардиальных картах. Поскольку заранее глубина залегания источника аритмии неизвестна, для точной топической диагностики необходимо анализировать как эпикардиальные, так и эндокардиальные карты. Путем сравнения времени ранней активации на эпикарде и эндокарде можно определить глубину залегания аритмогенных структур. Чем больше эндокардиальная монополярная ЭГ или биполярный спайк опережают соответствующие эпикардиальные ЭГ, тем ближе аритмогенный источник расположен к эндокарду.

## Влияние применения системы «Амикард 01К» на общее время РЧА и время флюороскопии

Локализация аритмогенного очага/ДПЖС	Время флюороскопии/ время РЧА без применения системы «Амикард», мин	Время флюороскопии/ время РЧА с применением системы «Амикард», мин	<i>p</i>
ЖЭ из ВОПЖ	(14,2±3,1)/(14,4±6,3)	(12,4±6,3)/(10,6±6,3)	<0,05
ЖЭ из ВОЛЖ	(11,1±1,2)/(8,1±2,4)	(8,2±5,1)/(5,1±6,5)	<0,05
ЖЭ других локализаций	(15,2±3,5)/(16,2±3,5)	(10,7±2,3)/(11,7±3,2)	<0,05
Правосторонние ДПЖС	(27,3±5,1)/(10,4±4,3)	(16,5±3,4)/(8,5±2,4)	<0,05
Левосторонние ДПЖС	(17,1±3,4)/(7,1±2,4)	(12,3±2,1)/(5,2±2,2)	<0,05
Септальные и парасептальные ДПЖС	(28,3±2,4)/(9,4±4,5)	(26,7±3,1)/(6,7±2,1)	<0,05

В целом результаты использования методики у пациентов с различными нарушениями ритма свидетельствуют о ее высокой диагностической ценности и перспективности применения в предоперационном обследовании. Предварительно проведенная топическая диагностика аритмогенного субстрата позволит сократить время инвазивного поиска эктопического очага, правильно выбрать параметры аблационного воздействия, избежать возможных нежелательных интраоперационных осложнений, таких как повреждение коронарных сосудов, а также сократить время интраоперационной флюороскопии.

Результаты и выводы, полученные из данного исследования, о высокой диагностической точности метода при фокусных аритмиях и синдроме предвозбуждения желудочков, дают возможность в будущем применения неинвазивного поверхностного ЭКГ-картирования у пациентов со сложными и комплексными формами нарушения ритма сердца (трепетание предсердий, атипичные предсердные ритмы, аритмии, желудочковые тахикардии, включая ишемические ЖТ, а также у пациентов с хронической сердечной недостаточностью, которым планируется имплантация ресинхронизирующих устройств).

## Выводы

1. По данным поверхностного картирования ЭКГ возможно восстановление электрограмм, изопотенциальных и изохронных карт не только на эпикардиальной поверхности сердца, но и при определенных ограничениях на эндокарде предсердий и желудочков.

2. Для целей топической диагностики при синдроме WPW и эктопической экстрасистолии одновременное эпиэндокардиальное картирование имеет ряд преимуществ перед только эпикардиальным: позволяет более точно найти локализацию аритмогенных структур при субэндокардиальном их расположении, выявить местоположение эктопического источника в межжелудочковой перегородке, определить глубину залегания эктопического источника по отношению к эпикарду и эндокарду.

3. Использование данной системы позволяет уменьшить время флюороскопии и общее время радиочастотных аппликаций при проведении интервенционных вмешательств при лечении различных форм нарушений ритма сердца (см. таблицу).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокерия Л. А., Ревиншвили А. Ш., Калинин А. В. и др. Программно-аппаратный комплекс для неинвазивного электрофизиологического исследования сердца на основе решения обратной задачи электрокардиографии // Медицинская техника. 2008. № 6. С. 1–7.
2. Денисов А. М., Захаров Е. В., Калинин А. В., Калинин В. В. Применение метода регуляризации Тихонова для решения обратной задачи электрокардиографии // Вестник МГУ. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2008. № 2. С. 5–10.
3. Денисов А. М., Захаров Е. В., Калинин А. В., Калинин В. В. Численные методы решения некоторых обратных задач электрофизиологии сердца // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45, № 7. С. 1014–1022.
4. Денисов А. М., Захаров Е. В., Калинин А. В., Калинин В. В. Численное решение обратной задачи электрокардиографии для среды с кусочно-постоянным коэффициентом электропроводности // ЖВМ и МВ. 2010. Т. 50, № 7. С. 1233–1239.
5. Asirvatham S., Packer D. L. Validation of non-contact mapping to localize the site of simulated pulmonary vein ectopic foci // Circulation. 2000. Vol. 102. P. 441–446.
6. Chao D. Ch., Lesnic D. The Cauchy problem for Laplace's equation via conjugate gradient method // IMA J. Appl. Math. 2000. Vol. 65. P. 199–217.
7. Franzone P. C., Taccardi B., Viganotti C. An approach to inverse calculation of epicardial potentials from body surface maps // Adv. Cardiol. 1978. Vol. 21. P. 50–54.
8. Greensite F., Huiskamp G. An improved method for estimating epicardial potentials from the body surface // IEEE Trans. Biomed. Eng. 1998. Vol. 45, № 98. P. 104–110.
9. MacLeod R. S., Brooks D. H. Recent progress in inverse problem in electrocardiology // IEEE Eng. Med. Bio. Mag. 1998. Vol. 17, № 1. P. 78–83.
10. Ramanathan C., Ghanem R. N., Jia P. et al. Electrocardiographic Imaging (ECGI): A noninvasive imaging modality for cardiac electrophysiology and arrhythmia // Nature Medicine. 2004. Vol. 10. P. 422–428.
11. Rudy Y., Messinger-Rapport B. J. The inverse problem in electrocardiology: Solutions in terms of epicardial potentials // CRC Crit. Rev. Biomed. Eng. 1988. Vol. 16. P. 216–268.
12. Schilling R. J., Kadish A. H., Peters N. S. et al. Endocardial mapping of atrial fibrillation in the human right atrium using a non-contact catheter // Eur. Heart J. 2000. Vol. 21. P. 550–564.
13. Voth E. J. The inverse problem of electrocardiology: industrial solutions and simulations // JBEM. 2005. Vol. 7, № 2. P. 191–194.

Поступила 01.11.2012