

*На правах рукописи*

Каштанова Наталия Юрьевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА СКАНИРОВАНИЯ ПРИ  
МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ  
СЕРДЦА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ  
НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА**

14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2022

**Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации.**

**Научный руководитель:**

**Кармазановский Григорий Григорьевич** - член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Синицын Валентин Евгеньевич** – доктор медицинских наук, профессор; руководитель отдела лучевой диагностики Медицинского научно-образовательного центра Московского государственного университета им М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии МГУ им М.В. Ломоносова города Москвы, Президент Российского Общества Рентгенологов и Радиологов (РОРР).

**Веселова Татьяна Николаевна** - доктор медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории рентгеновской компьютерной томографии Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г. в «\_\_\_» часов на заседании диссертационного совета Д.001.027.02 Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского» (адрес: 119991, г.Москва, Абрикосовский пер., д. 2).

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского» по адресу 119991, г. Москва, Абрикосовский пер., д. 2, и на сайте [www.med.ru](http://www.med.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года

Ученый секретарь Диссертационного совета  
Доктор медицинских наук

**Годжелло Элина Алексеевна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность и степень разработанности темы исследования

Нарушения ритма сердца являются важной медицинской проблемой [Lüscher T.F., 2015, Mukherjee K., 2019]. Распространенность аритмий в популяции составляет около 2,0%, а заболеваемость – около 4 случаев в год на 1000 населения [Khurshid S., 2018]. Снижение частоты приступов достигается путем медикаментозного контроля ритма и частоты сердечных сокращений, антикоагулянтной терапии [Ревишвили, А.Ш., 2017, Российское кардиологическое общество, 2020], что требует пожизненного приема препаратов, но данный подход не всегда эффективен и комфортен для пациента [Calkins H., 2018]. Катетерная абляция (КА) источников аритмий - относительно новое направление кардиохирургии для лечения сложных и устойчивых к медикаментозной терапии нарушений ритма сердца [Al-Khatib S.M., 2018, Brugada J. 2020]. В зависимости от применяемой стратегии КА, эффективность при фибрилляции предсердий (ФП) варьирует от 60% до 86% [Ganesan A.N., 2013, Lupercio F., 2020], при желудочковых аритмиях – составляет более 95% [Erkarić D., 2015, Hocini M., 2015]. Помимо методики КА, на успех процедуры также влияет точность топической диагностики аритмии [Hocini M., 2015, Lupercio F., 2020].

Для планирования линий абляции были созданы системы интраоперационного электроанатомического картирования [Erkarić D., 2015, Borlich M., 2018]. В качестве дополнительной методики разработаны диагностические комплексы для предоперационной неинвазивной топической диагностики, основанные на совмещении данных многоканального электрокардиографического (ЭКГ) картирования и томографических анатомических данных [Erkarić D., 2015]. В России для этих целей разработан программно-аппаратный комплекс «Амикард 01К» [Revishvili A.S., 2015]. Важным фактором получения высокой достоверности анатомических данных при поверхностном картировании является выбор методики контрастного усиления (КУ), позволяющий одномоментное

получение высокой контрастности между миокардом и кровью в полостях предсердий или желудочков. В мировых научных источниках представлены подробные данные о методиках поверхностного картирования, сравнении точности с инвазивным электрофизиологическим и электроанатомическим картированием [Jamil-Copley S., 2014, Erkapic D., 2015]. Подробно отражены методики контрастного усиления для КТ-коронароангиографии [Yin W.H., 2020], КТ левого предсердия (ЛП) [Mihl C., 2017], в меньшей степени отражена визуализация правых камер сердца [Scholtz J.E., 2017]. Однако влияние методики компьютерной томографии сердца на качество и результаты неинвазивного картирования изучены не в полной мере.

### **Цель исследования**

Определить оптимальную методику сканирования при мультиспиральной компьютерной томографии сердца для планирования катетерной аблации источников нарушений ритма сердца.

### **Задачи исследования**

1. Определить наиболее эффективный протокол сканирования сердца для получения оптимального контрастирования его правых и левых отделов в зависимости от локализации источника аритмии.
2. Оценить влияние протокола внутривенного контрастного усиления при КТ исследовании сердца на качество результатов неинвазивного поверхностного картирования сердца.
3. Оценить индивидуальную анатомию магистральных сосудов сердца и провести КТ-волюметрию камер сердца у пациентов с нарушениями ритма сердца.
4. Оценить влияние различных протоколов контрастирования при КТ исследовании сердца на частоту эффекта замедленного контрастирования ушка ЛП.

### **Научная новизна**

В данном исследовании впервые для компьютерной томографии сердца был применен протокол контрастного усиления по методике сплит-болус с

предварительным болюсом с целью топической диагностики источников аритмий при планировании катетерной аблации. Было проведено сравнение результатов контрастирования правых и левых камер сердца в зависимости от методики контрастного усиления: монофазное, «классический» сплит-болюс и «модифицированный» сплит-болюс с предварительным болюсом. Впервые была оценена эффективность описанных методик внутривенного контрастного усиления путем оценки их влияния на результаты неинвазивного поверхностного картирования сердца.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Оптимизация протокола сканирования сердца для адекватной визуализации правых и левых отделов сердца при проведении предоперационного неинвазивного картирования сердца позволила улучшить визуализацию правых отделов сердца при сохранении высокой степени контрастирования левых отделов. В дальнейшем это привело к повышению качества эпи- и эндокардиальных моделей камер сердца и улучшению топической диагностики источников аритмий при проведении неинвазивного картирования перед катетерной абляцией. Это позволило эффективно запланировать ход оперативного вмешательства, для обнаружения и устранения области аритмогенной активности с минимальным временем рентгеноскопии и операции в целом, снижения лучевой нагрузки на пациента и медицинский персонал, снижения риска рецидива аритмии после аблации.

По результатам работы проведена оценка возможности компьютерной томографии в диагностике тромбоза левых отделов сердца (по сравнению с чреспищеводной эхокардиографией (ЧПЭхоКГ)) при использовании стандартного монофазного протокола контрастирования, и протоколов дробного введения контрастного препарата сплит-болюс и с предварительным болюсом. Также была рассмотрена необходимость дополнительного сканирования в отсроченную фазу при использовании дробных протоколов введения контрастного препарата.

## **Методология и методы исследования**

Данное диссертационное исследование было выполнено с соблюдением этических принципов, отраженных в Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Рекомендации для врачей, занимающихся биомедицинскими исследованиями с участием людей» (1964 г., с последующими дополнениями) и отраженных в ГОСТ Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика», правилах ICH GCP и действующих нормативных требованиях. Представленная научно-исследовательская работа выполнена с соблюдением принципов доказательной медицины. Методология научной работы включала разработку концепции, цели, задач и дизайна исследования, подбор математических и программных средств статистической обработки медицинской документации. Для выполнения диссертационной работы были использованы современные диагностические инструментальные методы обследования пациентов с нарушениями ритма сердца.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Компьютерная томография сердца с внутривенным контрастным усилением является необходимой методикой предоперационного обследования пациентов с нарушениями ритма сердца при планировании интервенционного лечения, позволяющей не только оценить индивидуальную анатомию сердца и магистральных сосудов, которые могут влиять на ход оперативного вмешательства, но и выполнить неинвазивное поверхностное картирование сердца для топической диагностики источника аритмий.
2. Монофазный протокол внутривенного контрастного усиления с преследователем болюса в виде физиологического раствора/без него позволяет получить достаточное контрастирование левого предсердия и желудочка, однако при этом отмечается низкая плотность и высокая гетерогенность контрастирования правых камер сердца. Протоколы дробного введения контрастного препарата («классический» сплит-

болус и «модифицированный» с предварительным болусом) обеспечивают высокую степень контрастирования правого желудочка, что позволяет применять данные протоколы для неинвазивного картирования при предполагаемом источнике аритмии в данной камере. При топической диагностике источников суправентрикулярных аритмий с предполагаемым источником в правом предсердии, рекомендуемый протокол контрастного усиления – сплит-болус с предварительным болусом.

3. Протокол сканирования при КТ сердца должен включать артериальную фазу контрастного усиления для получения анатомических данных, контрастирования полостей сердца (для компьютерной постобработки при неинвазивном поверхностном картировании). Сканирование в отсроченную фазу для исключения внутрисердечного тромбоза у пациентов на длительной антикоагулянтной терапии рекомендуется только при выявлении дефектов контрастирования камер сердца в артериальную фазу.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Основные положения и материалы диссертации доложены на Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов 10 ноября 2018г., Москва; на VI Международном конгрессе и школе для врачей «Кардиоторакальная радиология 2019» 22 марта 2019г., г Санкт-Петербург; на XI Международном конгрессе «Невский Радиологический Форум – 2019» 13 апреля 2019г., г Санкт-Петербург; на Конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов 8 ноября 2019г., г. Москва; на Конгрессе Российского общества Рентгенологов и Радиологов 10 ноября 2020г., Онлайн; на Научно-практической конференции с международным участием «Лучевая диагностика: Смоленск-зима 2021» 29 января 2021г., Онлайн.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 4 статьи - в журналах, входящих в перечень Высшей Аттестационной Комиссии при

Министерстве образования и науки Российской Федерации, 7 тезисов в отечественных сборниках трудов научных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 142 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов и практических рекомендаций. Список литературы содержит 168 источников, из них 16 работ отечественных и 152 - зарубежных авторов. Текст иллюстрирован 31 рисунком, 14 таблицами, 1 приложением.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Материалы и методы исследования.** В диссертационное исследование было включено 66 мужчин и 50 женщин, средний возраст  $55,0 \pm 13,9$  лет, преобладающая форма нарушения сердечного ритма - наджелудочковые аритмии (77/116 пациентов (66,4%)). Для подтверждения диагноза, выявления возможных противопоказаний всем пациентам проводилось общее клинико-инструментальное и лабораторное обследование. Преобладали пациенты с гипертонической болезнью сердца (51/116, 44,0%) и идиопатическими формами нарушений ритма (43/116, 37,0%). Для планирования оперативного вмешательства выполнялась компьютерная томография сердца.

*Критерии включения в диссертационное исследование:* возраст старше 18 лет; клинико-инструментальные признаки нарушений ритма сердца; подписанное информированное согласие на участие пациента в исследовании; отсутствие в анамнезе аллергоидных реакций на йодсодержащие препараты; нормальная функция почек или незначительное нарушение функции почек (скорость клубочковой фильтрации выше 60 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>).

*К критериям исключения больных из диссертационного исследования относились:* общие противопоказания к выполнению компьютерной томографии с внутривенным контрастным усилением; отказ пациента от участия в диссертационном исследовании. Разделение пациентов на группы осуществлялось в зависимости от выбранной методики контрастирования.



Распределение демографических показателей внутри групп отражено в Таблице 1.

Таблица 1. Клинико-демографические признаки и данные инструментального обследования пациентов по группам.

	<b>Всего</b>	<b>Группа I</b>	<b>Группа II</b>	<b>Группа III</b>
<b>Число пациентов</b>	116	50	33	33
<b>Возраст (лет)</b>	55,0±13,9	53,9±13,9	55,3±14,2	56,2±13,9
<b>Распределение по полу:</b>				
- N мужчин	66 (56,9%)	34 (68,0%)	13 (39,4%)	19 (57,6%)
- N женщин	50 (43,1%)	16 (32,0%)	20 (60,6%)	14 (42,4%)
<b>Форма аритмии:</b>				
- наджелудочковые	77 (66,4%)	42 (84,0%)	14 (42,4%)	21 (63,6%)
- желудочковые	39 (33,6%)	8(16,0%)	19 (57,6%)	12(36,4%)
<b>ИМТ (кг/м<sup>2</sup>)</b>	28,3±4,9	27,6±4,8	29,0±4,8	28,9±5,0
<b>ФВ (%)</b>	64±8	64±8	67±7	60±8

ИМТ – индекс массы тела, ФВ – фракция выброса.

Материалы исследования были одобрены на заседании Комитета по этике научных исследований ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 010-2019 от 29.11.2019г.).

### **Неинвазивное эпи- и эндокардиальное активационное картирование сердца**

**I этап.** Многоканальная регистрация электрокардиограмм с поверхности грудной клетки с помощью модуля многоканального картирования «Амикард 01К» (224 униполярных отведения с торса, 6 стандартных отведений от конечностей и 6 грудных отведений V1-V6, рисунок 1).

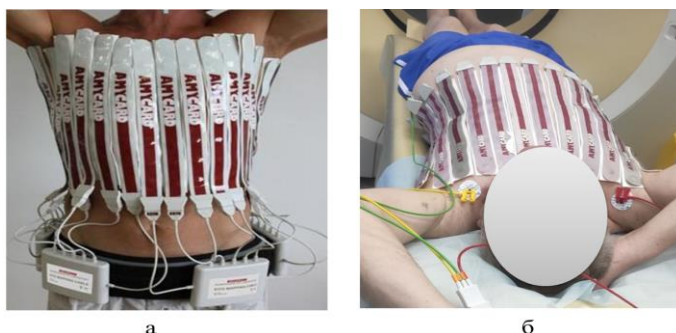


Рисунок 1. Пример расположения электродов для многоканальной регистрации электрокардиограмм на поверхности тела пациента (а – непосредственно перед регистрацией ЭКГ, б – перед компьютерной томографией).

**II этап.** Мультиспиральная компьютерная томография грудной клетки и сердца с внутривенным контрастным усилением, выполнялась на 64-

срезовых томографах Philips Ingenuity и Philips Brilliance (Philips Healthcare, Cleveland, OH, USA). Для внутривенного контрастного усиления использовалось неионное рентгенконтрастное средство с концентрацией йода в растворе 350 мг/мл. Укладка пациентов производилась в положении на спине, ногами в сторону гентри, расположение рук такое же, как и при регистрации многоканальной ЭКГ (рисунок 1).

Протокол томографии включал следующие этапы:

- Бесконтрастное исследование органов грудной клетки по низкодозовому протоколу с захватом всех электродов поверхностного картирования, без ЭКГ-синхронизации.
- Томография области сердца (от устьев брахиоцефальных артерий до диафрагмы) с внутривенным контрастным усилением и ЭКГ-синхронизацией: артериальная фаза для получения основных анатомических данных; отсроченная фаза для исключения внутрисердечного тромбоза.

Методики контрастного усиления различались в исследуемых группах: в I группе (ретроспективной) - монофазное введение контрастного средства (КС), во II группе - дробное введение по методике «сплит-болюс», в III группе: дробное введение контрастного средства по методике «сплит-болюс с предварительным болюсом». Схемы протоколов контрастного усиления, применявшихся в исследовании, изображены на рисунке 2.

**III этап.** Анализ данных поверхностного неинвазивного картирования. Полученные данные многоканальной ЭКГ и компьютерной томографии импортировались в программу «Амикард 01К». Вначале проводилась объемная реконструкция торса с электродами на основании данных нативной фазы КТ. Далее производилось привязывание каждого сигнала ЭКГ к определяемым трехмерным координатам центра соответствующего ЭКГ-электрода. В итоге выполнялось построение воксельных и полигональных трехмерных моделей камер сердца с последующей реконструкцией униполярных электрограмм, а также построение эпи - и эндокардиальных

моделей предсердий и желудочков сердца в зависимости от клинической ситуации, на основании которых определялись различные параметры электрической активности миокарда у обследуемых пациентов.

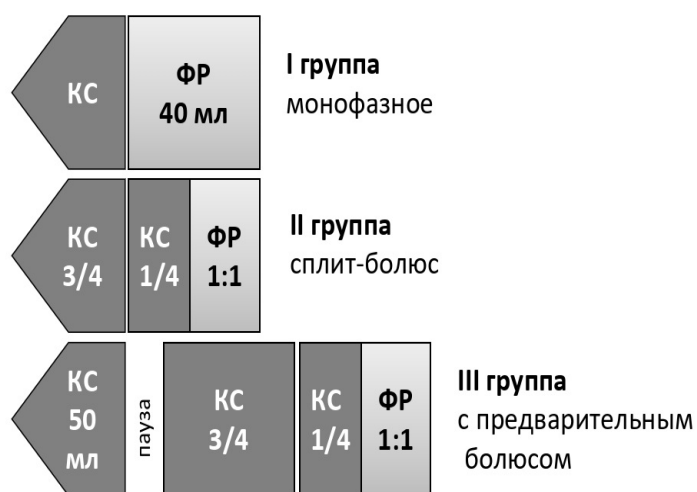


Рисунок 2. Схемы протоколов внутривенного контрастного усиления. Объем основного болюса контрастного средства во всех группах определялся из расчета 1 мл на 1 кг веса пациента, но не более 100 мл, максимальный суммарный объем введенного КС составил 150 мл. Соотношение КС:ФР во 2 фазе 1:1. Скорость инфузии 3,5 мл/сек. КС - контрастное средство, ФР – физиологический раствор.

*Оценка полученных КТ-изображений:* Для каждого пациента в рамках стандартного протокола описания КТ проводилась оценка индивидуальной анатомии магистральных сосудов, синтопии легочных вен и пищевода, заполнения контрастным средством камер сердца, в том числе ушка левого предсердия; измерение объема камер.

*Оценка контрастирования ушка левого предсердия* проводилась качественно на наличие или отсутствие дефектов наполнения, а также количественно: измерение минимальной плотности ушка левого предсердия (LAA), плотности восходящей аорты (AA), средней плотности крови в ЛП (LA) в артериальную фазу; расчет отношения плотности крови в ушке к плотности крови в восходящей аорте (LAA/AA art) и плотности крови в ушке к плотности крови в левом предсердии (LAA/LA art).

*Оценка контрастирования камер сердца* также проводилась визуально по однородности заполнения контрастным веществом полостей сердца и качеству построенных трехмерных моделей сердца, а также наличию потоковых артефактов в верхней полой вене. Для количественной оценки контрастирования камер сердца проводились измерения плотности контрастированной крови в каждой камере сердца и межжелудочковой перегородке, а также магистральных сосудах. Для объективной оценки

контрастирования желудочков рассчитывалось вентрикуло-миокардиальное отношение контрастирования отдельно для правого (VM-RV) и левого желудочка (VM-LV) по следующей формуле:  $VM = \frac{HU_{\text{Жел}} - HU_{\text{Мно}}}{HU_{\text{аорта}}}$  ( $HU_{\text{Жел}}$  – средняя плотность крови в желудочке,  $HU_{\text{Мно}}$  – средняя плотность миокарда МЖП,  $HU_{\text{аорта}}$  – средняя плотность крови в восходящей аорте).

*Оценка результатов поверхностного картирования сердца* проводилась визуально по возможности получения диагностической информации на основании карт правых отделов сердца по шкале от 1 до 3 баллов, где 1 балл – неудовлетворительное качество реконструкции ввиду невозможности получения диагностической информации; 2 балла – хорошее качество реконструкции, модель близка к анатомической с наличием артефактов, не мешающих интерпретации и получению диагностической информации; 3 балла – отличное качество реконструкции.

#### **Методы статистической обработки результатов исследования**

Для статистической обработки использовался пакет программ IBM SPSS Statistics версия 20 (IBM Corp., США). Для количественных параметров использовались методы описательной статистики: процентные показатели, меры центральной тенденции (вычисление среднего, стандартных отклонений). Сравнение количественных показателей попарно между группами проводилось с помощью t-критерия Стьюдента, U-критерия Манна – Уитни, критерия Краскела-Уоллиса. Уровень значимости «р» для всех использованных критериев был меньше 0,05. Качественные параметры, представлены в абсолютных и относительных величинах (%) в виде абсолютного и относительного числа наблюдений.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Оценка индивидуальной анатомии камер сердца и магистральных сосудов.** Вариантная анатомия легочных вен (ЛВ) встречалась чаще слева, чем справа (66 случаев (56,9%) против 16 случаев (13,8%)). При этом среди

77 пациентов с наджелудочковыми аритмиями слева вариантная анатомия встречалась в 54,5% случаев (42 пациента), справа – в 15,6% случаев (12 пациентов), а среди 39 пациентов с желудочковыми аритмиями - слева в 61,5% случаев (24 пациента), справа – в 10,3% случаев (4 пациента). Ввиду того, что вариантная анатомия легочных вен встречалась со сходной частотой в обеих подгруппах, более детальный анализ проводился без их разделения, результаты представлены в таблице 2.

При сравнении среднего диаметра легочных вен справа и слева были получены сходные значения ( $18,0 \pm 2,6$  мм для верхних  $16,6 \pm 2,5$  мм для нижних легочных вен). Сравнение средних значений диаметров устьев ЛВ в зависимости от формы аритмии показало, что у пациентов с наджелудочковыми нарушениями ритма устья были шире, чем у пациентов с желудочковыми, данные различия статистически значимы (критерий «р» для ПВЛВ составил 0,021, для ПНЛВ  $p=0,009$ , для ЛВЛВ  $p=0,003$ , для ЛНЛВ  $p=0,015$ , для коллектора левых ЛВ  $p=0,015$ ; общий коллектор справа в подгруппе желудочковых аритмий не встречался).

Таблица 2. Результаты анализа вариантной анатомии легочных вен.

<b>Вариантная анатомия легочных вен (N=116)</b>	
<b>Справа</b>	<b>Слева</b>
13,8% (16 пациентов)	56,9% (66 пациентов)
Из них: - увеличение количества вен	
75,0% (12 пациентов)	1,5% (1 пациент)
- уменьшение количества вен	
25,0% (4 пациента)	98,5% (66 пациентов)

КТ исследование позволило проследить ход пищевода и расстояние до устьев легочных вен, так как при аблации источников предсердных аритмий есть риск его повреждения. В частности, в данной подгруппе пациентов левый ход пищевода на уровне ЛП отмечался в 53/77 случаев (68,9%). Расстояние до правой верхней легочной вены было «безопасным» и составляло 10 мм и более в 98,7% случаев (76/77 пациентов), до правой нижней - в 68,8% случаев (53/77 пациентов), в остальных – в среднем составило  $5,5 \pm 2,8$  мм, из них в 5 случаях отмечался тесный контакт данных

структур с расстоянием между ними 1-2 мм. Безопасное расстояние 10 мм и более до левой верхней легочной вены (ЛВЛВ) отмечалось у 7,8% пациентов, до левой нижней (ЛНЛВ) – у 18,2%. В остальных случаях среднее расстояние между пищеводом и ЛВЛВ составляло  $4,0 \pm 2,2$  мм, пищеводом и ЛНЛВ –  $4,1 \pm 2,8$  мм, среди них тесный контакт пищевода с ЛВЛВ отмечался в 21 случае, с ЛНЛВ - в 26 случаях.

Среди пациентов с наджелудочковыми аритмиями увеличение ЛП отмечалось в 72 из 77 (93,5%) случаев, среднее значение  $129,1 \pm 41,8$  мл (индекс ЛП  $62,5 \pm 17,3$  мл/м<sup>2</sup>). В подгруппе пациентов с желудочковыми аритмиями вентрикуломегалия обнаруживалась в единичных случаях, увеличение правого желудочка встречалось несколько чаще – 10,3% случаев (4/39 пациентов), среднее значение  $160,4 \pm 50,4$  мл, левого - в 7,7% случаев (3/39 пациентов), среднее значение  $137,2 \pm 54,3$  мл. Гораздо чаще при желудочковых аритмиях отмечалось увеличение левого предсердия - в 25/39 (64,1%) случаев, средний объем составил  $98,5 \pm 43,4$  мл.

**Оценка контрастирования ушка левого предсердия.** Среди всех пациентов дефекты контрастирования ушка ЛП в артериальную фазу встречались в 5,3% случаев (6/116 пациентов: 4 пациента из I группы, по 1 пациенту из II и III групп). Из них в дальнейшем наличие тромба было подтверждено данными ЧПЭхоКГ в 1 случае у пациента из I группы. Остальные 5/116 случаев (4,4%) были расценены как эффект замедленного контрастирования (ЭЗК), который соотносился с эффектом спонтанного эхоконтрастирования при ЧПЭхоКГ в 2 случаях; 3 пациентам, у которых регистрировались желудочковые аритмии, ЧПЭхоКГ не выполнялось. Таким образом, частота выявления тромбоза ушка ЛП составила 0,9%, что более вероятно связано с адекватной предоперационной антикоагулянтной терапией, так как большая часть пациентов обследовалась накануне оперативного вмешательства. ЭЗК при монофазном контрастном усилении отмечался в 2 раза чаще – доля в группе составила 6,0% (3/50 пациентов),

частота при протоколе сплит-болюс составила 3,0% (1/33 пациентов), при протоколе с предварительным болюсом - также 3,0% (1/33 пациентов).

Количественный анализ контрастирования ушка ЛП при монофазном КУ показал, что у пациента с тромбозом значения значения LAA art, отношение LAA/AA art и LAA/LA art составили 58,0 HU, 0,15 и 0,16 соответственно, у пациентов с ЭЗК  $110,3 \pm 78,2$ ,  $0,41 \pm 0,36$  и  $0,34 \pm 0,23$  соответственно – значения сходны, что могло сформировать ложное представление о тромбозе без оценки отсроченной фазы (которая не выполнялась у данных пациентов ретроспективной группы). Во II группе у пациентов без дефектов контрастирования УЛП показатели LAA art, отношение LAA/AA art и LAA/LA art составили  $264,0 \pm 67,1$ ,  $0,91 \pm 0,14$  и  $0,94 \pm 0,12$  соответственно, у пациента с ЭЗК на порядок ниже - 173,0 HU, 0,54 и 0,53 соответственно. В III группе у пациента с ЭЗК показатели LAA art, отношение LAA/AA art и LAA/LA art составили 166,0 HU, 0,76 и 0,61 соответственно, у пациентов без дефектов контрастирования УЛП –  $282,7 \pm 50,0$ ,  $0,96 \pm 0,10$  и  $0,96 \pm 0,13$  соответственно.

**Оценка контрастирования камер сердца.** Результаты количественного анализа контрастного усиления сердца и магистральных сосудов представлены в таблице 3. При статистическом анализе показателей контрастирования в левых камерах сердца и их сравнении между группами, было замечено, что показатели средней плотности контрастированной крови в просвете ЛП и ЛЖ были сходны во всех трех группах, различия статистически недостоверны.

При ретроспективном анализе контрастного усиления правых камер сердца в I группе в 80% случаев средняя плотность контрастированной крови была ниже 200 HU – минимального порогового значения, при котором возможна четкая дифференцировка внутреннего контура стенки камеры от контрастированной крови, заполняющей ее просвет. Это обусловлено поступлением с каждым сердечным циклом в полость ПП новой порции неконтрастированной крови из нижней полой вены, а также применению

преследователю болюса. Слабое контрастирование камеры приводило к низкой визуальной контрастности между содержимым камеры и стенкой, что также отражено в показателе VM-RV, ввиду чего получение диагностической информации было затруднено.

Таблица 3. Результаты количественного анализа контрастного усиления сердца и магистральных сосудов.

Уровень измерения	Группа I	Группа II	Группа III	P-значение
Левое предсердие	309,9±75,0 HU	286,1±77,4 HU	297,2±65,0 HU	0,336
Левый желудочек	298,6±73,2 HU	276,1±75,4 HU	290,8±62,3 HU	0,428
Правое предсердие	175,7±99,5 HU	270,2±91,8 HU	309,7±93,8 HU	<0,001
Правый желудочек	172,4±84,2 HU	241,7±71,3 HU	275,8±76,9 HU	<0,001
VM-LV	0,630±0,127	0,608±0,112	0,605±0,119	0,567
VM-RV	0,248±0,257	0,517±0,238	0,555±0,228	<0,001
Восходящая аорта	324,2±76,3 HU	296,0±77,4 HU	295,0±60,3 HU	0,080
Легочный ствол	253,3±80,0 HU	288,8±92,2HU	315,8±98,6 HU	0,020
Верхняя полая вена	432,2±411,0 HU	587,8±256,3 HU	628,3±250,7 HU	<0,001
Нижняя полая вена	81,4±33,8 HU	81,0±33,9 HU	130,6±41,5 HU	<0,001
Коронарный синус	135,9±43,1 HU	137,8±37,1 HU	184,7±57,3 HU	<0,001

VM-LV – венстрикуло-миокардиальное отношение контрастирования для левого желудочка, VM-RV – венстрикуло-миокардиальное отношение контрастирования для правого желудочка.

Для повышения качества контрастирования правых отделов сердца применялось дробное введение КС у пациентов во II группе – «классический» сплит-болюс, и III группе - с введением предварительного болюса. Во II группе дробное введение КС благодаря удлинению времени введения позволило предотвратить его быстрое вымывание из правых отделов сердца и улучшить визуализацию структур правого желудочка и предсердия (рисунок 3). Однако отмечалась гетерогенность полости ПП за счет неполного смешивания высококонтрастированной крови от хвоста болюса КС, поступающего из ВПВ, и неконтрастированной крови, поступающей из НПВ. Это затрудняло визуализацию внутреннего контура стенки ПП, что является ключевым моментом для построения



эндокардиальных реконструкций при неинвазивном поверхностном картировании.

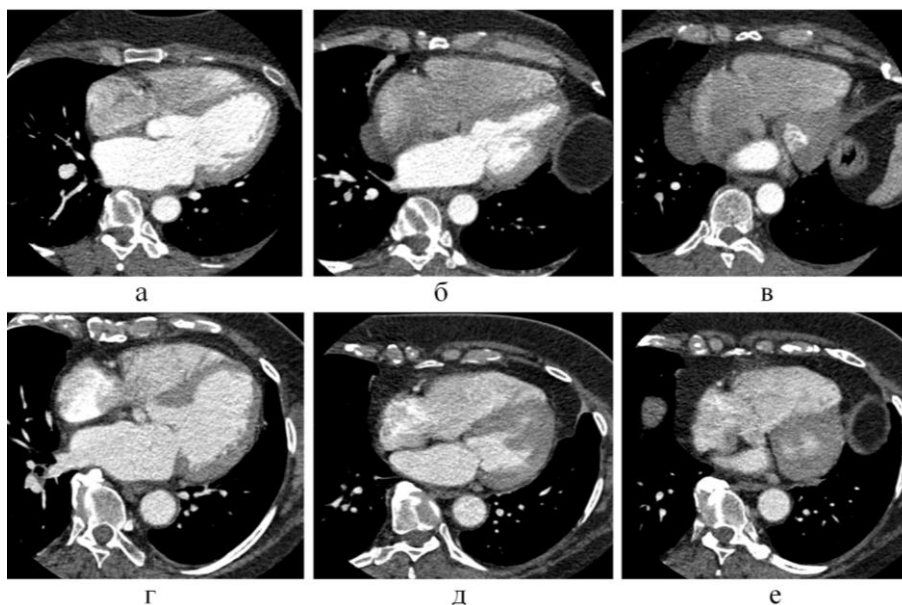


Рисунок 3. КТ сердца, артериальная фаза контрастного усиления, мультипланарные реконструкции правых камер сердца. Сравнение монофазного протокола контрастного усиления (а-в) и протокола сплит-болус (г-е).

Для повышения плотности крови в НПВ было предложено использовать предварительный болус, который применялся в III группе. При измерении плотности крови в печеночном сегменте НПВ было отмечено повышение средней плотности с  $81 \pm 34$  HU до  $131 \pm 42$  HU, а также средней плотности коронарного синуса с  $136 \pm 43$  HU до  $185 \pm 57$  HU. Смешивание в полости ПП контрастированной крови из обеих полых вен повышало гомогенность контрастного усиления правого предсердия. В итоге отмечалось повышение средней плотности контрастированной крови в ПП до  $306 \pm 92$  HU в III группе (рисунок 4). Контрастирование правого желудочка при использовании предварительного было значительно выше, чем при монофазном протоколе КУ (рисунок 4), показатель VM-RV в III группе превышал значения I группы более чем в 2 раза. Сравнение количественных параметров между II и III группами не выявило статистически достоверных различий между средней плотностью в ПП и ПЖ, но значения в III группе были выше. Значения коэффициента VM-RV были соизмеримы.

При использовании «классического» протокола слит-болус и с предварительным болусом отмечалось однородное контрастное усиление правого желудочка. Гомогенность КУ правого предсердия субъективно была

выше в III группе (рисунок 5). Эффективность предварительного болюса также отражена в средней плотности НПВ и коронарного синуса, значения которых в III группе достоверно превышали значения во II группе ( $p < 0,001$ ).

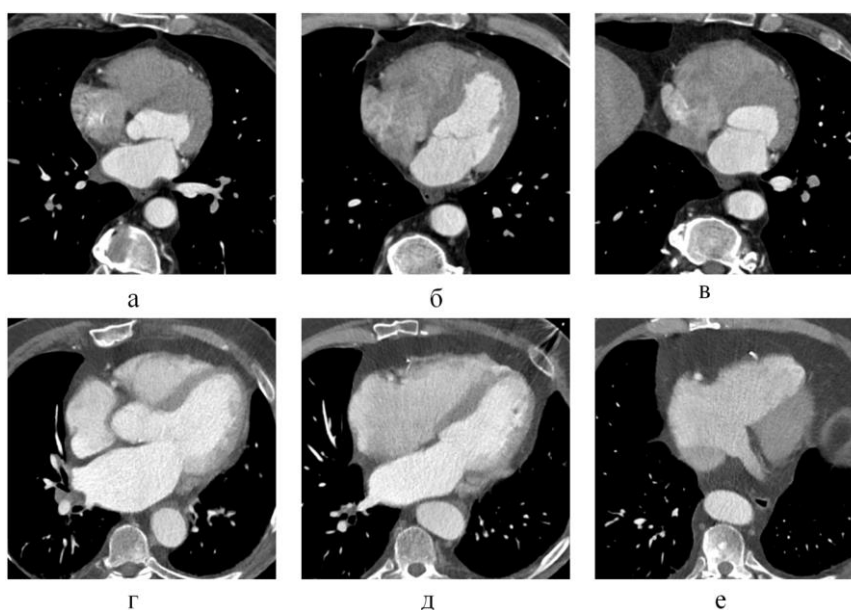


Рисунок 4. Компьютерная томография сердца, артериальная фаза контрастного усиления, мультипланарные реконструкции правых камер сердца. Сравнение монофазного протокола контрастного усиления (а-в) и протокола с предварительным болюсом (г-е).

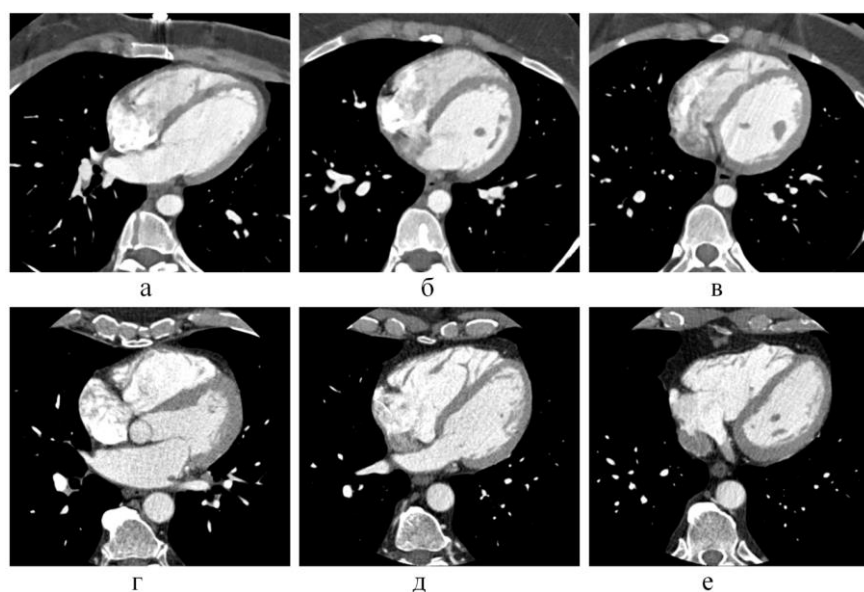


Рисунок 5. Компьютерная томография сердца, артериальная фаза контрастного усиления, мультипланарные реконструкции правых камер сердца. Сравнение протокола контрастного усиления сплит-болюс (а-в) и протокола с предварительным болюсом (г-е).

При визуальной оценке артефактов в верхней полой вене по шкале от 1 балла (отсутствие артефактов) до 3 баллов, были получены следующие результаты: при монофазном введении КС в I группе выраженные артефакты, вызывающие искажение изображений прилежащих структур (оцениваемые в 3 балла), и незначимые, не влияющие на интерпретацию изображений (оцениваемые в 2 балла), визуализировались в 36,7% случаев (18/50 пациентов), с преобладанием незначимых (14/18 случаев), что связано с

использованием преследователя болюса. Удлинение времени введения контрастного средства при протоколах дробного КУ приводило к формированию артефактов в ВПВ за счет хвоста болюса, наблюдавшихся во II группе в 84,8% случаев (28/33 пациентов), из них в 6 случаях (21,4%) - выраженных. В III группе частота артефактов отмечалась на том же уровне - в 81,8% случаев (27/44 пациентов), из них частота выраженных была в 2 раза ниже и составила 11,1% (3/27 пациентов).

**Влияние протокола контрастного усиления на результаты поверхностного картирования сердца.** Из 116 пациентов, включенных в исследование, объемные реконструкции в рамках неинвазивного поверхностного картирования были выполнены у 76 прооперированных пациентов (37 – с наджелудочковыми, 39 – с желудочковыми аритмиями), из них 33 пациента в I группе, 21 - во II группе, 22 - в III группе. При обработке томограмм пациентов I группы в 79% случаях реконструкции были оценены как недиагностические: отмечалось неточное автоматическое выделение границ эндокарда ПП и ПЖ при построении эпи-эндокардиальных моделей, искажение контуров, что во многих случаях требовало ручной обработки трехмерных реконструкций.

Во II группе субъективно оператором было отмечено, что построение реконструкций желудочков было проще и занимало меньше времени, чем у пациентов I группы. Из 21 построенной реконструкции всего 24% были оценены в 1 балл, остальные позволяли получить диагностическую информацию в оптимальном объеме (38% «хорошее» качество, 38% - «отличное»).

При сравнении процесса картирования на основе томограмм с протоколами дробного введения контрастного средства оператором было отмечено, что картирование желудочков у пациентов II и III группы было проще и занимало меньше времени, чем у пациентов I группы. Однако в III группе процесс картирования предсердий субъективно занимал наименьшее количество времени (рисунок б).

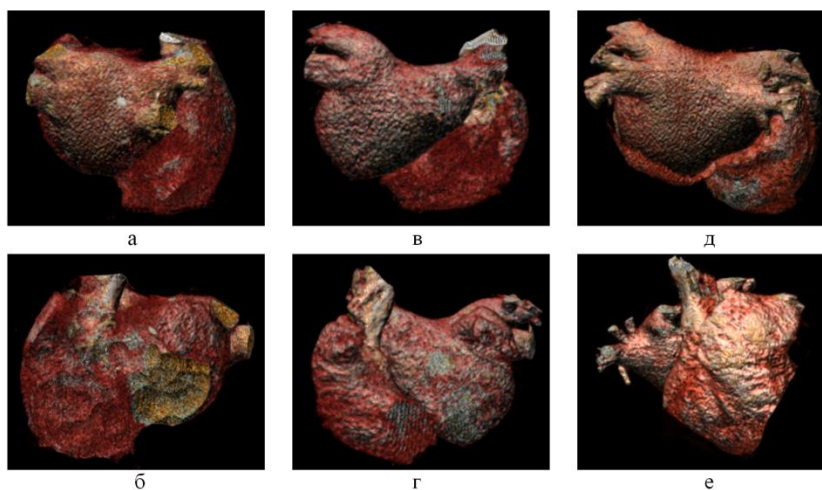


Рисунок 6. Промежуточный результат неинвазивного картирования сердца: объемные эпикардиальные модели предсердий (а,в,д - левого, в,г,е - правого) при монофазном контрастном усилении (а,б), сплит-болюс (в,г), с предварительным болюсом (д,е).

На рисунке 7 представлены примеры итогов неинвазивного поверхностного картирования сердца пациента с постоянной формой фибрилляции предсердий (а-в) и пациента с желудочковой экстрасистолией (г-е), протокол контрастирования при КТ – сплит-болюс с предварительным болюсом.

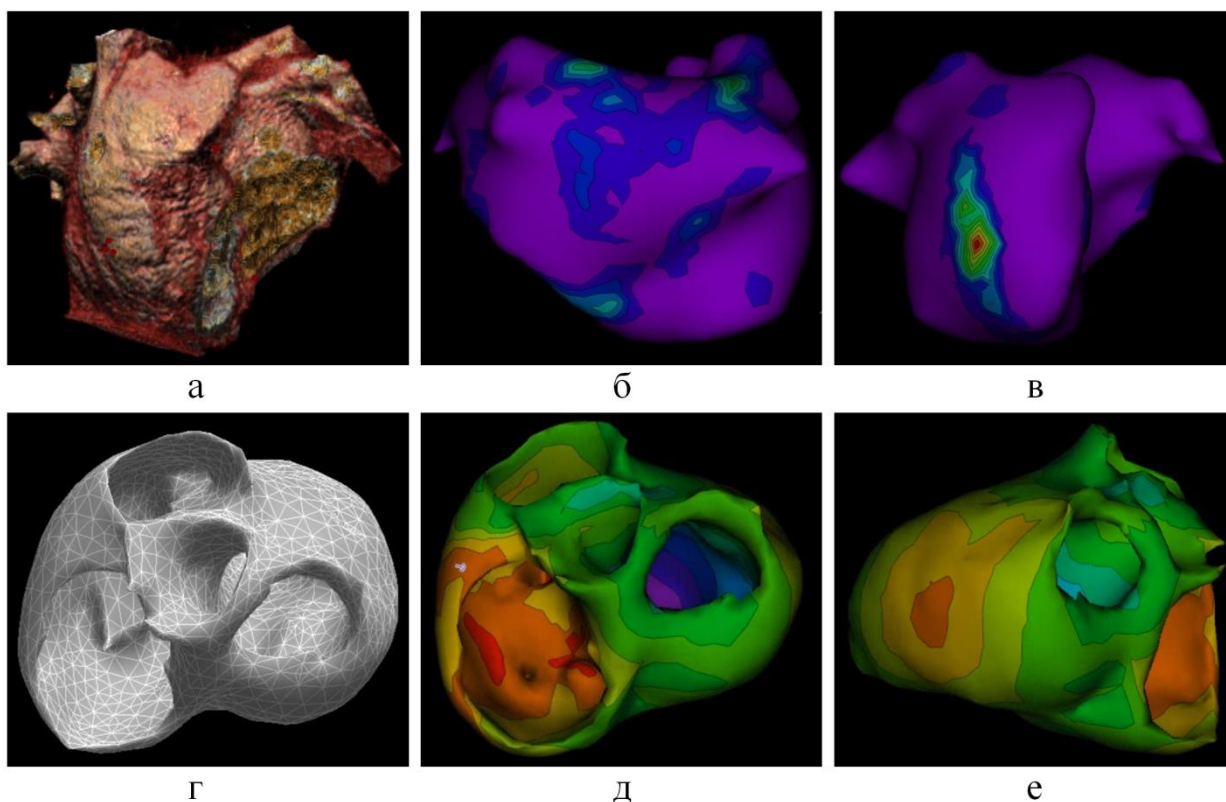


Рисунок. 7. Результаты неинвазивного картирования сердца. а - эпикардиальная 3D-модель правого предсердия; б,в - фазовые карты высокочастотной драйверной активности на поверхности модели левого и правого предсердия соответственно; г - эпи-эндокардиальная 3D-модель желудочков; д,е - изохронная карта левого и правого желудочков: ранняя зона активации (красный цвет) - отмечается в области боковой стенки правого желудочка (область планируемого воздействия при РЧА).

По итогам неинвазивного картирования в III группе всего 2 пациента получили оценку 1 балл (9%). Остальные реконструкции правых камер сердца были оценены в 2 балла (18% реконструкций) и 3 балла (73% реконструкций). Полученные данные балльной оценки итоговых реконструкций поверхностного картирования сердца отображены на диаграмме (рисунок 8).

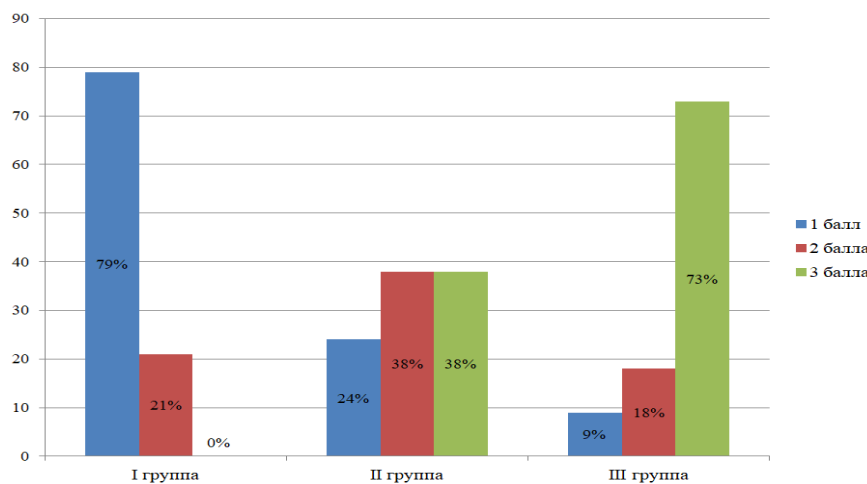


Рисунок 8. Столбчатая диаграмма, отражающая результаты качественной оценки итоговых реконструкций поверхностного картирования в баллах и распределение результатов в каждой группе (по процентному соотношению).

## ВЫВОДЫ

**1.** Для топической диагностики суправентрикулярных аритмий, источники которых локализованы в правом предсердии, ЭКГ-синхронизированное сканирование с использованием протокола контрастирования с предварительным болюсом наиболее эффективно. Данный протокол, а также «классический» сплит-болюс могут применяться при дооперационном обследовании пациентов с предполагаемой правожелудочковой аритмией. При предполагаемой локализации источника аритмии в стенке левого предсердия или желудочка для их визуализации при предоперационном неинвазивном картировании может быть использован любой из протоколов контрастного усиления (монофазный, «классический» сплит-болюс, сплит-болюс с предварительным болюсом).

**2.** Монофазное контрастное усиление не позволяет получить достаточный объем диагностической информации по результатам неинвазивного поверхностного картирования при локализации источника аритмии в правых камерах сердца. Дробное введение контрастного средства

наиболее эффективно для точного выделения эндокарда правого желудочка, а протокол с предварительным болюсом - правого предсердия.

**3.** Варианты анатомии магистральных сосудов в исследуемых группах были связаны с количеством легочных вен, и чаще встречались слева (56,9% случаев), из них в 98,5% (65/66) - ассоциировались с уменьшением количества за счет впадения единым стволом или вестибулем. Вариантная анатомия легочных вен справа встречалась в 13,8% случаев, в 75,0% (12/16) была связана с увеличением их числа. Наличие суправентрикулярной аритмии сопровождалось ремоделированием левого предсердия в 93,5% случаев, желудочковой аритмии – в 64,1%.

**4.** Частота тромбоза ушка левого предсердия в представленной выборке составила 0,9% (1/116 пациентов). Эффект замедленного контрастирования ушка левого предсердия при монофазном контрастном усилении отмечался в 2 раза чаще – 6,0% (3/50), частота при протоколе сплит-болюс и протоколе с предварительным болюсом составила по 3,0% (по 1/33).

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**1.** При предоперационной топической диагностике источников ФП, локализованных в ЛП, возможно применение любого известного протокола внутривенного контрастного усиления, при условии достижения заданного порога плотности контрастирования на восходящей аорте (150 HU) и минимальной задержке старта сканирования. С учетом большей распространенности и простоты выполнения рекомендуется монофазный протокол контрастирования. При топической диагностике источников рецидива ФП за счет внелегочных очагов «триггерной» активности в правом предсердии, фокусов других суправентрикулярных аритмий рекомендуемый протокол контрастного усиления – сплит-болюс с предварительным болюсом.

**2.** При неинвазивном картировании источников левожелудочковых аритмий так же, как в случае с левопредсердными, может применяться любой

из описанных протоколов внутривенного контрастного усиления. Для визуализации ПЖ и картирования источников нарушений ритма данной локализации возможно применение протоколов дробного введения контрастного препарата. Ввиду меньшего объема требуемого контрастного средства рекомендуется использование «классического» протокола сплит-болюс.

**3.** Оценка индивидуальной анатомии магистральных сосудов сердца является важным этапом подготовки к оперативному вмешательству. В описательной части заключения по данным компьютерной томографии сердца необходимо указывать варианты отхождения крупных магистральных сосудов, количество и тип впадения легочных вен.

**4.** При подготовке к катетерной аблации источников наджелудочковых аритмий рекомендуется сканирование в отсроченную фазу для исключения внутрисердечного тромбоза. Однако у пациентов на длительной антикоагулянтной терапии, ввиду небольшой частоты тромбоза у данной группы, рекомендуется выполнение отсроченной фазы сканирования при всех протоколах контрастного усиления только при выявлении дефектов контрастирования в артериальную фазу.

## **СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. **Каштанова, Н.Ю.** Мультиспиральная компьютерная томография сердца: оптимизация протокола сканирования при проведении неинвазивного картирования сердца перед катетерной абляцией фибрилляции предсердий / **Н.Ю. Каштанова, И.С. Груздев, Е.В. Кондратьев, Е.А. Артюхина, М.В. Яшков, А.Ш. Ревешвили** // Медицинская визуализация. 2018. – Т.22, №3. – С.33-48.
2. **Каштанова, Н.Ю.** Методики томографической визуализации ушка левого предсердия при планировании интервенционного лечения фибрилляции

предсердий / **Н.Ю. Каштанова**, Е.В. Кондратьев, В.А. Ратников, Р.А. Карпов // Медицинская визуализация. – 2020. – Т.24, №3. – С.88-106.

**3.Каштанова, Н.Ю.** Совершенствование протокола мультиспиральной компьютерной томографии сердца для планирования интервенционного лечения аритмий / **Н.Ю. Каштанова**, Е.В. Кондратьев, Г.Г. Кармазановский, И.С. Груздев, Е.А. Артюхина, М.В. Яшков, А.Ш. Ревшвили // Вестник аритмологии // 2021. – Т.28, №1. – С.14-22.

**4.Каштанова, Н.Ю.** Особенности визуализации внутрисердечных структур при использовании разных КТ-протоколов контрастного усиления для планирования аритмологических операций / **Н.Ю. Каштанова**, Е.В. Кондратьев, Е.А. Артюхина, Г.Г. Кармазановский // REJR. – 2021. – Т.11, №2. – С.130-142.

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

LAA/AA - отношение плотности крови в ушке к плотности крови в восходящей аорте

LAA/LA - отношение плотности крови в ушке к плотности крови в левом предсердии

VM-LV - венстрикуло-миокардиальное отношение контрастирования для левого желудочка

VM-RV - венстрикуло-миокардиальное отношение контрастирования для правого желудочка

ВПВ - верхняя полая вена

КА - катетерная абляция

КС - контрастное средство

КУ - контрастное усиление

ЛВ - легочные вены

ЛЖ - левый желудочек

ЛП - левое предсердие

НПВ - нижняя полая вена

ПЖ - правый желудочек

ПП - правое предсердие

ФП - фибрилляция предсердий

ЧПЭхоКГ – чреспищеводная эхокардиография