

**Федеральное Государственное Автономное Образовательное
Учреждение Высшего Образования Первый Московский
Государственный Медицинский Университет им.И.М.Сеченова
Министерства здравоохранения Российской Федерации
(Сеченовский Университет)**

На правах рукописи

Кондрашина Ольга Сергеевна

**ОБЪЕМНАЯ КТ-АНГИОГРАФИЯ ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ СЕРДЦА
И ВЕНЕЧНЫХ АРТЕРИЙ**

14.01.13 - Лучевая диагностика, лучевая терапия

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор,

член-корр. РАН Серова Н.С.

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| Список сокращений | 4 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| ГЛАВА 1. ВОЗМОЖНОСТИ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КТ- КОРОНАРОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОРОНАРНОГО РУСЛА (обзор литературы) | 12 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 35 |
| ГЛАВА 3. 640-СРЕЗОВАЯ МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ КТ- КОРОНАРОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОРОНАРНОГО РУСЛА | 54 |
| 3.1 Анализ изображений коронарных артерий на основании результатов МСКТ-коронарографии по шкале CAD-RADS | 54 |
| 3.2 Сравнительная оценка состояния коронарных артерий по результатам 640- срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии | 59 |
| 3.3 Результаты корреляционного анализа данных, полученных с помощью различных методов исследования состояния коронарных артерий..... | 63 |
| 3.4 Диагностические характеристики метода МСКТ-коронарографии | 65 |
| 3.5 Результаты оценки проходимости, величины просвета сосудов после имплантации стентов и биоразтворимых каркасов | 73 |
| 3.6 Результаты МСКТ- коронарографии в подгруппе Syntax..... | 92 |
| 3.7 МСКТ-коронарография у пациентов 3 группы (некоронарная хирургия)..... | 96 |
| 3.8 Сравнение МСКТ-коронарографии и оптической когерентной томографии (ОКТ) в оценке состояния коронарных артерий..... | 100 |
| 3.9 Исследование воспроизводимости метода МСКТ-коронарографии и оценка качества получаемых изображений..... | 103 |
| 3.10 Оценка безопасности и эффективной дозы облучения при МСКТ- коронарографии..... | 104 |

| | |
|---|-----|
| Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 106 |
| ВЫВОДЫ..... | 120 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ | 121 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 122 |

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АД – артериальное давление
- ДИ – доверительный интервал
- ИБС – ишемическая болезнь сердца
- ИМТ – индекс массы тела
- КАГ – коронарная ангиография
- КТ – компьютерная томография
- ЛКА – левая коронарная артерия
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография
- ОА – огибающая артерия
- ОКТ – оптическая когерентная томография
- ПКА – правая коронарная артерия
- ПМЖА – передняя межжелудочковая артерия
- ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания
- ФК – функциональный класс
- ФП – фибрилляция предсердий
- ЧСС – частота сердечных сокращений
- ЭКГ – электрокардиография
- АНА – Американская ассоциация кардиологов
- CAD-RADS – Coronary Artery Disease – Reporting and Data System
(система описания данных КТ при стенотических поражениях коронарных артерий)
- DECT – компьютерная томография с 2 источниками излучения
- HU – единицы Hounsfield
- MPR – мультипланарная реконструкция
- MIP – проекция наибольшей интенсивности
- VRT – объемная реконструкция

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) и их осложнения занимают лидирующие позиции в структуре смертности населения экономически развитых стран [46, 48]. В нашей стране уровень общей смертности от ССЗ в несколько раз превышает аналогичные показатели стран Западной Европы и США [5, 8, 9]. Первое место среди ССЗ занимает ишемическая болезнь сердца (ИБС), диагностика которой при наличии выраженной клинической симптоматики не вызывает сложностей [1, 2, 58, 130].

Проблемы визуализации коронарных артерий обусловлены особенностями их анатомического строения: малым диаметром, быстрым движением в течение сердечного цикла, дыхательной экскурсией грудной клетки. Ранее единственным надежным методом визуализации венечных артерий, выявления и характеристики их стенотических поражений считалась инвазивная рентгеноконтрастная коронарная ангиография (КАГ) [2, 27, 35]. Актуальным является внедрение в практику неинвазивных способов ранней диагностики состояния коронарных артерий. Совершенствование медицинских технологий привело к использованию в клинической практике ряда неинвазивных диагностических исследований, позволяющих достаточно полно оценить состояние коронарного русла и гемодинамику сердца уже на ранней стадии атеросклероза [101]. В первую очередь это мультиспиральная компьютерная томография с внутривенным контрастированием (МСКТ-коронарография) [15, 35, 106].

В настоящее время этот метод является наиболее перспективным для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, он все шире применяется в кардиологической практике [7, 24, 52, 72].

МСКТ-коронарография является неинвазивной альтернативой инвазивной КАГ в диагностике поражений коронарных артерий. Благодаря высоким показателям чувствительности и прогностической ценности отрицательного результата, она считается надежным методом, позволяющим

исключить наличие выраженных гемодинамически значимых стенозов, и все шире применяется в рамках предварительного обследования пациентов при решении вопроса о необходимости выполнения реваскуляризирующих вмешательств [35].

В последние годы пространственное разрешение современных КТ-томографов позволяет осуществлять точную оценку просвета коронарных артерий от их стеноза до окклюзии [71, 98]. При использовании этих аппаратов с помощью трехмерных моделей на основании законов гидродинамики может быть определен, например, такой функциональный параметр как фракционный резерв кровотока (FFR-СТ), что позволяет получить дополнительную информацию для использования в клинической практике [6, 89, 113]. Неинвазивный характер исследования дает возможность более частого выполнения МСКТ-коронарографии у одного пациента по сравнению со стандартной инвазивной ангиографией [10, 7].

В значительной мере недооцененными остаются диагностические возможности МСКТ-коронарографии по сравнению с традиционной КАГ в послеоперационном выявлении у больных ИБС рестенозов стентов коронарных артерий [119, 135].

Диагностическая эффективность метода в значительной степени определяется технологическими достижениями, на базе которых разрабатывались новые поколения томографов [21]. После выпуска прототипов 256-срезовых КТ были разработаны и апробированы 320- и 640-срезовые КТ, для которых характерен наибольший охват объекта сканирования по «оси z» [117, 37, 38]. В то же время сообщения по использованию 640-срезовой МСКТ-коронарографии в широкой клинической практике для обследования пациентов с ИБС, после имплантации коронарных стентов в доступной литературе практически отсутствуют.

Цель исследования - повышение клинической эффективности и безопасности диагностики состояния коронарного русла с использованием 640-срезовой мультиспиральной компьютерной томографии.

Задачи исследования:

1. Оценить диагностическую эффективность объемной 640-срезовой КТ-коронарографии по системе CAD-RADS.
2. Сравнить показатели диагностической эффективности 640-срезовой КТ-коронарографии и инвазивной коронароангиографии в различные сроки после стентирования венечных артерий.
3. Проанализировать результаты 640-срезовой КТ-коронарографии в диагностике поражений коронарных артерий у пациентов хирургического профиля с различной степенью риска сердечно-сосудистых заболеваний.
4. Оценить возможности использования 640-срезовой КТ-коронарографии для выбора метода реваскуляризации по шкале Syntax.

Научная новизна и теоретическая значимость работы

Впервые доказано, что результаты объемной 640-срезовой КТ-коронарографии позволяют достоверно использовать классификацию CAD-RADS для определения поражения коронарных артерий по категориям и планирования дальнейшей тактики лечения пациентов с ИБС.

Впервые статистически доказана высокая информативность 640-срезовой КТ-коронарографии в определении степени стеноза коронарных артерий.

Впервые выявлены статистически значимые корреляции между результатами мультиспиральной компьютерной томографии и коронарной ангиографии, свидетельствующие о сопоставимости результатов оценки изменений коронарных сосудов.

Впервые доказана возможность достоверной оценки при 640-срезовой КТ-коронарографии просвета стентов или биodeградируемых каркасов диаметром более 2,4 мм в различные сроки после их имплантации.

Впервые доказана возможность использовать результаты МСКТ-коронарографии для использования шкалы Syntax при выборе тактики

реваскуляризации венечных артерий при стабильной ИБС при положительных стресс-тестах.

Впервые доказана возможность использования на дооперационном этапе 640-срезовой КТ-коронарографии у пациентов с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля при низкой или средней предтестовой вероятности ИБС.

Практическая значимость результатов исследования

При выявлении у пациентов с ишемической болезнью сердца по классификации CAD-RADS категорий 0–3 дальнейшее обследование не требуется, категории 4-5 требуют инвазивной коронарографии или функциональных тестов для определения дальнейшей тактики лечения.

Для оценки просвета стентов диаметром более 2,4 мм в различные сроки после их имплантации достаточно использования объемной 640-срезовой КТ-коронарографии.

Для использования шкалы Syntax при выборе тактики реваскуляризации венечных артерий диаметром более 2,8 мм при стабильной ИБС достаточно результатов 640-срезовой КТ-коронарографии.

Пациентам с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля при низкой или средней предтестовой вероятностью ИБС на дооперационном этапе можно заменить инвазивную коронарографию на МКСТ-коронарографию.

Важнейшими преимуществами 640-срезовой КТ коронарных артерий является высокая безопасность метода, низкая лучевая нагрузка, качественное обследование больных с нарушениями ритма сердца или частотой ЧСС выше 70 уд/мин без лекарственной коррекции.

Разработан модифицированный шаблон описания 640-срезовой МКСТ-коронарографии.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. 640-срезовая мультиспиральная компьютерная коронарография является высокоинформативным методом диагностики патологии коронарных артерий, позволяющим достоверно выявлять наличие и степень стеноза артерий.
2. 640-срезовая МСКТ-коронарография является надежной альтернативой инвазивной визуализации коронарных артерий при динамическом наблюдении после имплантации стентов или выборе метода реваскуляризации с использованием шкалы Syntax.
3. На дооперационном этапе можно использовать 640-срезовую КТ-коронарографию у пациентов с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля при низкой или средней предтестовой вероятности ИБС.

Внедрение в клиническую практику

Результаты исследования внедрены в клиническую практику работы кабинета рентгеновской компьютерной томографии УКБ №1, отделения лучевой диагностики УКБ №2, в процесс обучения ординаторов и курсантов на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова.

Степень достоверности

Достоверность результатов работы определяется достаточным количеством обследованных пациентов, выбором адекватных методов обследования больных, применением корректных методов статистической обработки полученных данных. Выводы и рекомендации опубликованы в рецензируемых периодических изданиях.

Апробация работы

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на Европейском конгрессе радиологов (Австрия, март 2018), Всероссийском саммите по коронарным осложнениям САМКО (Москва, март 2018), Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов Радиология (Москва, май 2018), научно-практической конференции «Актуальные вопросы диагностической, интервенционной радиологии (рентгенохирургии) и хирургических технологий (Владикавказ, июнь 2018). Апробация работы состоялась на заседании кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета ПМГМУ им. И.М. Сеченова (11 февраля 2019 г., Москва, Россия).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.

Личный вклад автора

Автором самостоятельно проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по изучаемой проблеме, разработан дизайн исследования, выполнен сбор данных на основе первичной медицинской документации. Диссертантом лично проведена 640-срезовая МСКТ-коронарография 131 пациента с ИБС или некоронарогенными хирургическими заболеваниями. Автором выполнена статистическая обработка и интерпретация полученных в ходе исследования данных, сформулированы выводы и практические рекомендации.

Соответствие работы паспорту научной специальности

По тематике и методам исследования диссертационная работа полностью соответствует паспорту научной специальности 14.01.13 «Лучевая диагностика, лучевая терапия».

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, главы материалов и методов исследования, главы результатов собственных исследований, обсуждения полученных результатов и заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованной литературы.

Работа иллюстрирована 22 таблицами и 48 рисунками. Указатель использованной литературы содержит 136 библиографических источников, включающий 16 отечественных и 120 иностранных публикаций.

ГЛАВА 1. ВОЗМОЖНОСТИ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КТ-КОРОНАРОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОРОНАРНОГО РУСЛА (Обзор литературы)

В 21-м веке заболевания сердца и коронарных артерий все также продолжают занимать ведущие позиции в структуре заболеваемости и смертности населения экономически развитых стран. В Российской Федерации уровень общей смертности от этих заболеваний в несколько раз превышает аналогичные показатели стран Западной Европы и США. Среди этих заболеваний первое место занимает ишемическая болезнь сердца (ИБС), при наличии выраженной клинической симптоматики у пациента диагностика ИБС не вызывает сложностей. Для этого применяются следующие неинвазивные методики: электрокардиография (ЭКГ), холтеровское мониторирование, эхокардиография, функциональные пробы с физической нагрузкой.

Единственным надежным методом визуализации коронарных артерий, выявления и характеристики их стенотических поражений до последнего времени считалась инвазивная рентгеноконтрастная коронарная ангиография (КАГ), начало использования которой датировано 1959 годом [Sones F.M.]. Более современным является применение в клинической практике неинвазивных методов ранней диагностики изменения венечных артерий. Из-за небольшого диаметра (до 3,5-4,0 мм), активного перемещения артерий в течение сердечного цикла, двигательной экскурсии окружающей сердце грудной клетки качественная визуализация коронарных артерий до сих пор представляет большие проблемы.

В настоящее время в лечебно-диагностический процесс внедрены некоторые неинвазивные исследования, которые позволяют уверенно оценивать состояние венечных артерий и камер сердца даже в начальной стадии ИБС. Это, например, мультиспиральная компьютерная томография с внутривенным контрастированием (МСКТ-коронарография).

В настоящее время МСКТ-КАГ является наиболее перспективным методом диагностики ИБС, она все чаще применяется в клинической практике. Использование современной аппаратуры позволяет не только визуализировать просвет коронарных артерий, но и оценивать состояние стенки сосуда, что невозможно сделать с помощью других неинвазивных методов исследования.

Метод МСКТ-ангиографии был впервые описан в 1992 году [86, 108]. Технологические достижения последних лет (увеличение мощности рентгеновской трубки, более быстрая скорость вращения, возможность применения нескольких параллельных детекторов и уменьшение толщины среза) сделали возможной визуализацию коронарных артерий [102]. Благодаря высокой чувствительности и прогностической точности отрицательных результатов, МСКТ-коронарография считается надежным методом, позволяющим исключать наличие гемодинамически значимых стенозов, и все чаще используется для обследования пациентов при решении вопроса о необходимости выполнения реваскуляризирующих вмешательств [58, 35].

Совершенствование аппаратуры происходило путем улучшения пространственного разрешения по продольной z-оси, увеличения скорости вращения оборота рентгеновской трубки при уменьшении физических размеров детекторов компьютерного томографа [116]. Повышение разрешающей способности компьютерных томографов способствовало созданию 3D-изображений путем мультипланарного форматирования, появлению проекций с увеличенной интенсивностью, либо затененной поверхностью. Широкое внедрение различных принципов реконструкции полученных изображений коронарного русла способствовало тому, что МСКТ-КАГ стала рассматриваться в качестве важнейшего метода диагностики в кардиологии [116].

Диагностическая эффективность метода в значительной степени определяется технологическими достижениями, на базе которых разрабатывались новые поколения томографов [106].

Впоследствии была создана аппаратура нового поколения для выполнения МСКТ, в томографах стали применяться два источника излучения с использованием 2x128-рядной детекторной системы. Время оборота трубки снизилось до 280 мс, уровень временного разрешения достиг 75 мс. Производителями была разработана методика ЭКГ-синхронизированного сканирования с высокими значениями pitch (шага) [42].

Преимуществом компьютерных томографов с 2 источниками рентгеновского излучения является возможность изучения состояния органов и мягких тканей, для достижения этой цели в режиме DECT («двухэнергетической КТ») на каждую рентгеновскую трубку томографа подают напряжение различного уровня. Применение данной методики основано на различии характеристик затухания рентгеновских лучей в тканях двух пучков излучения разной энергии [21, 103].

После выпуска 256-спиральных КТ были разработаны и внедрены в практическое здравоохранение 320- и 640-срезовые томографы с наибольшим охватом изображения по «z-оси» до 160 мм [104, 73, 37].

В настоящее время мультиспиральные томографы позволяют получать высококачественную изображение венечных артерий и камер сердца с отличным временным и пространственным разрешением, при этом для МСКТ-КАГ характерна более низкая лучевая нагрузка на пациента по сравнению со стандартной инвазивной КАГ [36].

В последние годы проведено достаточно большое число разнообразных исследований, посвященных оценке эффективности МСКТ-коронарографии в визуальной диагностике состояния просвета коронарных артерий. В начале этого десятилетия в основном исследовали многосрезовую КТ-коронарографию с использованием ретроспективной ЭКГ-синхронизации [115], тогда как в работах последних лет для этого преимущественно используется проспективная ЭКГ-синхронизация [118, 39]. По данным Такаока Н. et al., 2013 [122] КТ-коронарография с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией обладает высокой чувствительностью (86-99%) и

специфичностью (89-100%) при диагностике поражений коронарных артерий. Сравнение проспективной и ретроспективной ЭКГ-синхронизации при 320-срезовой КТ-ангиографии показала чувствительность 92% против 90% ($P = 0,23$), специфичности – 89% против 91% ($P = 0,19$) для стенозов венечных $\geq 50\%$, соответственно [97].

По данным мета-анализа Sun Z., Ng K.H., 2012 [118] при использовании 64-срезовой КТ-коронарографии и выше характерна высокая отрицательная прогностическая ценность результата (98-99%) при выявлении значительных стенозов венечных артерий, поэтому этот метод может использоваться при выявлении стенотических поражений венечных артерий. При низком риске ИБС многосрезовая КТ-ангиография по данным многоцентрового проспективного исследования ACCURACY обладает высокой чувствительностью (94%), специфичностью (83%) и отрицательной прогностической ценностью (99%) в выявлении стенозов коронарных артерий $\geq 70\%$ [25].

Метод z-плавающего фокусного пятна в 2-х энергетических системах позволяет визуализировать элементы диаметром 0,4 мм при различной частоте сердечных сокращений. Первый клинический опыт показал высокую эффективность изображения артерий у пациентов с высокой частотой сердечных сокращений [42]. По данным Alkadhi H. et al., 2010 [18] при использовании 2-х энергетической 128-срезовой КТ-коронарографии в низкодозовом режиме с высоким значением pitch (3,4) чувствительность, специфичность при определении гемодинамически значимых стенозов венечных артерий составили 93,0%, 94,0%, соответственно, при снижении лучевой нагрузки на пациента.

256-срезовая МСКТ-коронарография по данным Hou Y. et al., 2012 [56] в диагностике значимых стенозов коронарных артерий чувствительность составила более 99%. При частоте сердечных сокращений более 75 уд/мин статистически достоверно ($P < 0,001$) лучшие результаты изображения коронарных артерий были получены при ретроспективной ЭКГ-

синхронизации по сравнению с проспективной синхронизацией. При подозрении на ИБС 256-срезовая МСКТ-коронарография имела достаточно высокую точность при незначительной дозе ионизирующего излучения пациента [57, 96].

320-срезовая МСКТ-коронарография обладает определенными преимуществами перед исследованиями на МСКТ-64 или 2-х энергетическом томографе [127]. Авторы определили чувствительность, специфичность, положительную прогностическую и отрицательную прогностическую ценность результатов обследования на таком аппарате в диагностике значимых стенозов (>50%) коронарных артерий у 106 пациентов, поступивших в отделение реанимации с острым болевым синдромом в грудной клетке. По результатам исследования они составили 100,0%, 87,0%, 93,0% и 100,0%, соответственно.

В другом проспективном исследовании [93] было обследовано 118 пациентов с хронической ИБС перед инвазивной коронарографией. В результате анализа полученных данных было выявлено, что 320-срезовая МСКТ-коронарография в диагностике гемодинамически значимых стенозов венечных артерий имела чувствительность и специфичность 98,0% и 91,0 %, соответственно. Диаметр стеноза артерии по результатам КТ имел хорошую корреляцию со стандартной коронарографией ($P < 0,001$, $R = 0,81$) без существенной уменьшения или завышения просвета сосуда ($-3,1 \pm 24,4$ %; $P = 0,08$).

Опубликованные в начале этого десятилетия мета-анализы [48, 73, 81] показали высокую ценность 320-срезовой МСКТ-ангиографии. По результатам этих работ отрицательная прогностическая ценность достигает 100%, что позволяет использовать ее для исключения стенотических поражений венечных артерий. При лучшем временном разрешении 320-срезовые томографы имеют ограничения при диагностике стенозов артерий $\geq 50\%$ по просвету, также, как и предыдущие поколения мультиспиральных томографов [82].

В настоящее время в доступной отечественной и зарубежной литературе имеются единичные сообщения, в которых изучаются результаты применения 640-срезовой МСКТ-коронарографии в диагностике поражений коронарных артерий.

Di Cesare E. et al. [37] было проведено исследование для оценки возможности снижения дозы с помощью адаптивной итеративной системы снижения дозы (AIDR 3D) путем использования автоматической системы контроля экспозиции. В исследование были включены 200 пациентов, которым выполнили МСКТ-коронарографию на 640-срезовом томографе Aquilion One. При этом была оценена средняя эффективная доза облучения и качество изображения коронарного русла. По результатам исследования установлено снижение средней эффективной дозы (на 23,6%) при использовании системы AIDR 3D и повышение качества изображения. Авторы считают, что проприетарная программа AIDR 3D с автоматическим контролем экспозиции позволяет значительно уменьшить среднюю дозу облучения и улучшить качество изображения по сравнению с методикой без модуляции экспозиции.

В другой работе этих авторов [38] была предпринята попытка оценить качество изображения и дозу облучения при использовании 640-срезовой МСКТ-коронарографии у больных с фибрилляцией предсердий и пациентов с нормальным синусовым ритмом. В работу было включено по 71 пациенту с фибрилляцией предсердий и с нормальным синусовым ритмом и ЧСС менее 65 уд/мин. Всем участникам исследования была выполнена МСКТ-коронарография с проспективной ЭКГ-синхронизацией. Проведена оценка средней эффективной дозы облучения и качества изображения в сопоставлении с данными с объективного обследования пациентов. 96,4% всех сегментов коронарных сосудов у пациентов с фибрилляцией предсердий имели диагностическое качество изображения. Доля пациентов с минимально одним недиагностическим сегментом артерии составила 14,0% и 2,8% ($p = 0,031$) в группах фибрилляции предсердий и нормального синусового ритма,

соответственно. При оценке характеристик качества изображения не было выявлено значимых различий показателей среди этих двух групп. При этом средняя эффективная доза облучения составила $4,24 \pm 1,24$ мЗв в группе фибрилляции предсердий и $2,67 \pm 0,5$ мЗв у пациентов с синусовым ритмом ($p < 0,0001$), то есть была увеличена на 59% в группе больных с нарушением ритма сердца. Они считают, что использованный протокол регистрации сердцебиения при 640-срезовой КТ-коронарографии может применяться у пациентов с фибрилляцией предсердий при ЧСС ниже 72 уд/мин. Для пациентов с нарушением ритма сердца при ЧСС выше 72 уд/мин при МСКТ-коронарографии отмечается высокая частота артефактов от движения [38].

Эффективность МСКТ-КАГ в диагностике поражений коронарных артерий и камер сердца ограничивают некоторые имеющиеся проблемы технического характера. Одним из таких факторов являются артефакты при движении коронарных артерий и сокращении камер сердца, наличии кальциноза артерий различной степени выраженности. Надо отметить, что в настоящее время при выполнении МСКТ-коронарографии на современных аппаратах подобные артефакты практически не встречаются. Высокая частота сердечных сокращений (более 75 уд/мин) снижает качество контрастирования коронарного русла, разрешающая способность КТ-коронарографии до сих пор ниже, чем при стандартной коронароангиографии [84].

Для получения диагностически значимого томографического изображения коронарных артерий необходим ряд условий – высокое пространственное, временное, низкоконтрастное разрешение, получение оптимального заполнения контрастом сосудистого русла определенного диаметра (не менее 2,0 мм) при оптимальном времени сканирования, желательного не превышающего треть сердечного цикла. Артефакты от пациента вызваны такими факторами, как движение пациента или присутствие металлических материалов в пациенте или на поверхности его тела. Артефакты от аппарата являются результатом несовершенства его функционирования в процессе реконструкции изображения. Конструктивные

особенности современных компьютерных томографов минимизируют некоторые виды артефактов, другие можно частично исправить программным обеспечением аппарата. Тщательное позиционирование пациента и выбор оптимальных параметров сканирования являются наиболее важными факторами, позволяющими избежать артефактов КТ-ангиографии [20].

Чаще всего при МСКТ-коронарографии встречается «ступенчатый» эффект, который наблюдается при переменных или высоких значениях ЧСС, наличии нарушения ритма сердца во время контрастирования коронарного русла [85]. Для устранения воздействия нерегулярного или высокого ритма сердечных сокращений часть исследователей до выполнения МСКТ-коронароангиографии (за 5 минут) рекомендует использовать нитроглицерин или бета-блокаторы для снижения частоты сердечного ритма [50, 49]. Данный артефакт, как правило, нивелируется при реконструкции данных в разные фазы сердечного цикла. Она проводится во время диастолы (60-70% интервала R-R). При снижении длительности диастолы из-за увеличения частоты сердечных сокращений реконструкцию рекомендуется производить в конце систолы (25-35% интервала R-R) [20].

Перспективная ЭКГ-синхронизация при проведении МСКТ-коронарографии и изменении частоты сокращений сердца >5 уд/мин не позволяет получить диагностически значимое изображение коронарных артерий. В случаях высокой частоты сердечного ритма (более 75 уд/мин), либо неэффективности принятых пациентом до исследования бета-блокаторов необходимо использовать ретроспективную ЭКГ-синхронизацию [56, 88]. Также использование бета-блокаторов возможно практически только при обследовании пациентов в стационарных условиях [75].

Использование перспективной ЭКГ-синхронизации при высокой частоте сердечного ритма или его нарушениях доступно при использовании томографов с большим количеством детекторов. Показано, что 320-срезовая МСКТ-коронарография обладает высокой чувствительностью в независимости от сердечного ритма [55, 89]. Увеличение протяженности

получаемого изображения артерий по «оси z» до 160 мм привело к улучшению качества визуализации коронарного русла при значительной вариабельности частоты сердечных сокращений, что дает возможность качественно контрастировать коронарное русло при высоком сердечном ритме без предоперационного введения бета-блокаторов [93, 55].

В КТ-томографах с одной рентгеновской трубкой лучшие показатели временного разрешения изображения коронарных артерий достигаются за счет уменьшения шага спирали, что в итоге приводит к определенному увеличению дозы эффективного облучения пациента. Фирмы, выпускающие подобные томографы, советуют при работе с ЭКГ-синхронизацией устанавливать постоянное значение шага спирали в пределах от 0.2 до 0.25, что при высокой частоте сердечного ритма позволяет сохранить наилучшее временное разрешение [40, 61].

Очень важно в современных условиях обозначить место МСКТ-коронарографии при обследовании пациентов различных групп риска ИБС, поскольку неоправданное применение томографии дает дополнительную дозу облучения [117]. При обследовании больных низкого риска ИБС с положительными результатами стресс-тестов проведение МСКТ-коронарографии до стандартной коронароангиографии является по мнению [94] оправданным. Другие исследователи [53] считают, что назначение томографического исследования у бессимптомных пациентов низкого риска позволяет избежать ненужной инвазивной процедуры. Ряд авторов отмечают ограниченность данных МСКТ-коронарографии при обследовании пациентов с выраженной ИБС, так как большей части таких больных рентгеновская коронароангиография проводится и при отрицательном результате томографии [117]. Эти данные требуют дальнейшей оценки возможностей МСКТ-коронарографии в диагностике стенотических поражений коронарного русла.

В последние годы были выполнены различные исследования по сравнительной оценке различных принципов и методов реконструкции

получаемого изображения коронарных артерий, в частности AIDR-3D, ASIR, SAFIRE, MBIR [91, 120, 131]. Использование технологии итеративной обработки ASIR позволило снизить эффективную дозу облучения пациента на 27% по сравнению с применением стандартной обратной проекции с фильтрацией. Методика на 40-60% улучшила качество получаемого изображения и количество пригодных для оценки сегментов коронарных артерий [70].

Имеется метод реконструкции - «итеративная реконструкция пространственного изображения» (IRIS), при этом значительно снижается уровень шума и повышается качество изображения [22]. Более высокая сложность вычислений (в 100-1000 раз) по сравнению с алгоритмом обратной проекции с фильтрацией не позволяет широко использовать данный способ обработки изображения [129].

Применение итеративных методов реконструкции томографического изображения неуклонно возрастет по мере роста вычислительных мощностей компьютеров, увеличения надежности и легкости применения различных алгоритмов обработки [45]. Современные итеративные алгоритмы обработки изображений позволяют снизить уровень шума в изображении, что приведет к снижению дозы облучения пациента.

В целом результаты проведенных исследований подтверждают, что МСКТ позволяет эффективно осуществлять визуализацию изменений просвета коронарных артерий на фоне атеросклеротических бляшек. Изотропное разрешение размерами менее 1,0 мм, присущее современной аппаратуре для МСКТ-коронарографии, позволяет визуализировать просвет и стенку коронарной артерии, что дает возможность провести неинвазивную оценку морфологических характеристик участка коронарного атеросклероза.

Известно, что атеросклеротические бляшки подразделяются в зависимости от количества кальцинатов в них на некальцинированные, частично кальцинированные и кальцинированные. В масштабных многоцентровых когортных исследованиях, в частности, исследовании

«Coronary CT Angiography Evaluation For Clinical Outcomes: An International Multicenter» (CONFIRM)», изучалась прогностическая ценность строения атеросклеротических бляшек в отношении общей смертности [80]. На основании данных о двухлетней выживаемости 17793 пациентов с вероятным наличием ИБС было показано, что количество сегментов коронарных артерий, содержащих частично кальцинированные или кальцинированные бляшки оказывает значительное влияние на уровень смертности (отношение рисков: для некальцинированных бляшек составило 1,00, $p = 0,90$, для частично кальцинированных — 1,06, $p \leq 0,0001$, для кальцинированных — 1,08, $p \leq 0,0001$) [51].

Marwan M. с соавт (2011) предложили применение количественного анализа гистограмм бляшки. Для каждого поперечного среза бляшки на основании данных затухания при КТ формировалась гистограмма, после чего был произведен подсчет процента пикселей с плотностью ≤ 30 HU. Отмечалось совпадение диапазонов значений затухания для богатых липидами бляшек и бляшек с выраженным фиброзом. При использовании пороговых значений в 5,5% для пикселей с ≤ 30 HU стало возможно различить бляшки с преобладанием липидов и бляшки с преобладанием фиброза (чувствительность — 95%, специфичность — 80%, площадь под кривой — 0,9) с применением внутрисосудистого УЗИ в качестве стандарта [77].

В нескольких исследованиях было показано влияние толщины среза [17], протокола визуализации [31], показателей напряжения рентгеновской трубки [123], алгоритмов реконструкции, используемых фильтров и шума [17]. Вследствие того, что на величину характеристики затухания оказывает влияние множество факторов, судить о прогностической ценности метода пока не представляется возможным.

Современная МСКТ коронарных артерий может помочь в выборе пациентов с риском развития острой коронарной недостаточности путем избирательного использования оптической когерентной томографии у таких больных [83]. Остается неизученным вопрос о корреляции данных МСКТ-

коронарографии и оптической когерентной томографии в диагностике степени стеноза коронарной артерии и характеристики атеросклеротической бляшки.

В соответствии с рекомендациями Общества сердечно-сосудистой компьютерной томографии стеноз просвета сосуда по степени выраженности подразделяется на минимальный (<25%), умеренный (от 25% до 49%), средний (от 50% до 69% стеноз), выраженный (от 70% до 99%) и полный (окклюзия просвета) [Leipsic J. et al., 2014]. Рост атеросклеротической бляшки в коронарных сосудах приводит к нарушению кровотока с развитием ишемии в пределах зоны, кровоснабжаемой дистальным относительно области стеноза участком сосуда.

К настоящему времени выполнено значительное количество исследований по оценке возможностей МСКТ в изучении стенозов венечных артерий на 64-320 срезовых сканерах. Для определения характера стенотического поражения коронарных артерий чаще всего используются 2 пороговых значения выраженности стеноза — $\geq 50\%$ и $\geq 70\%$ диаметра сосуда. При оценке прогностической ценности наличия стенотических поражений было показано, что стеноз $\geq 50\%$ и $\geq 70\%$ является значимым предиктором неблагоприятных долгосрочных исходов (отношение рисков равно 2,89 и 4,31, соответственно) [79]. В ряде других исследований продемонстрировано, что окклюзия артерии является значимым предиктором последующего неблагоприятного исхода у больных ИБС [33].

В то же время ряд исследователей [25, 133] считают, что наличие стеноза венечной артерии при МСКТ-коронарографии не всегда свидетельствует о наличии гемодинамически значимого поражения сосудов (гипердиагностика).

Было сделано несколько попыток разработки комплексных шкал для оценки тяжести ИБС и выбора оптимальной стратегии реваскуляризации у пациентов с поражением нескольких коронарных артерий. Основанием для выбора служили данные ангиографии.

Шкала SYNTAX. Первоначально шкала (SYNTAX) «SYNergy between percutaneous coronary intervention with TAXus and cardiac surgery» была разработана для количественной оценки тяжести ИБС и выбора оптимальной стратегии реваскуляризации у пациентов с поражением нескольких венечных артерий [110]. Первоначальная 16-сегментная классификация коронарных артерий Американской кардиологической ассоциации была расширена: стали учитываться боковые ветви [109]. При этом учитывается состояние сосудов диаметром более 1,5 мм и стеноз > 50% по просвету артерии. Шкала SYNTAX предполагает наличие правого или левого типа кровоснабжения миокарда. Каждому стенозу присваивается номер сегмента, в пределах которого он расположен, после чего сумма для каждого сегмента умножается на 2 при отсутствии окклюзии (стеноз от 50 до 99%) и на 5 при наличии окклюзии (стеноз 100%). Дополнительные параметры бляшки оцениваются с помощью классификации ACC/АНА [105]. Учитываются параметры окклюзии, вовлечение трифуркаций, бифуркаций, выраженная извилистость, длина поражения, тяжелый кальциноз, тромбоз и диффузное поражение коронарных артерий [125, 68].

В исследовании [114] 339 пациентам выполнили МСКТ-коронарографию и стандартную КАГ, была проведена оценка эффективности шкалы SYNTAX при этих методах. При расчете использовались данные, доступные для оценки двумя методиками. По результатам одномерного регрессионного анализа Cox было показано, что достоверными предикторами тяжелых нежелательных сердечно-сосудистых явлений явились – возраст, 3-х сосудистое поражение или поражение ствола левой коронарной артерии на МСКТ-коронарографии, либо – 2-3 сосудистое поражение или поражение ствола левой коронарной артерии на КАГ и SYNTAX > 23 баллов по данным КАГ. При этом баллы SYNTAX и количество вовлеченных в патологический процесс сосудов имеют одинаковую прогностическую эффективность при МСКТ-коронарографии (площадь под кривой — 0,701 против 0,659,

соответственно) и при КАГ (площадь под кривой — 0,706 против 0,676, соответственно).

Относительно недавно была разработана шкала SYNTAX II, объединяющая показатели SYNTAX с клиническими характеристиками пациента [41]. Первые результаты долгосрочного наблюдения с применением КАГ свидетельствуют о высокой перспективности метода, однако результаты применения этой шкалы при использовании МСКТ-коронарографии пока не получены.

Подсчет баллов при использовании комплексных шкал представляет собой сложный и трудоемкий процесс, поэтому их применение может привести к неоправданному повышению нагрузки на врача-клинициста. В будущем при автоматическом расчете этих значений с помощью соответствующего программного обеспечения комплексные шкалы перестанут быть объектом исключительно научного интереса и будут применяться для стратификации риска ИБС в рутинной клинической практике.

На сегодняшний день применение шкалы SYNTAX только по данным МСКТ-коронарографии на 640-срезовом томографе в доступной литературе не описано.

Сосудистые хирургические вмешательства могут сопровождаться различным риском возникновения кардиальных осложнений. Операции на сонных артериях – стентирование и эндартерэктомия относятся к группе среднего риска (1-5%) [12]. Хирургическое вмешательство на аорте и артериях бедренно-подколенного сегмента считается процедурой высокого риска (более 5%). МСКТ-ангиография применяется в настоящее время для исключения атеросклеротического поражения артерий сердца у пациентов с низким риском атеросклероза [126]. На этапах предварительного консультирования и определения стратегии периоперационного ведения пациента рекомендуется проведение неинвазивного тестирования, включая

выбор конкретного вида внесердечного хирургического вмешательства, техники анестезиологического пособия [12].

В настоящее время нет данных по применению МСКТ-коронарографии для предоперационной оценки риска при внесердечных операциях среднего или высокого риска у подобных пациентов.

Благодаря последним достижениям в области КТ, диагностическая ценность МСКТ-ангиографии значительно увеличилась [115]. Несмотря на высокую отрицательную прогностическую ценность, эффективность МСКТ-коронарографии может снижаться из-за влияния различных факторов, особенно наличия в стенке артерии выраженной кальцификации, приводящей к появлению ярких артефактов из-за высокой рентгеноконтрастности участков кальция в атеросклеротических бляшках [92].

Снижение специфичности метода при выраженной кальцификации артерии или значительном количестве кальцинированных бляшек является следствием гипердиагностики степени выраженности стеноза, что ведет к увеличению частоты ложноположительных результатов МСКТ-коронарографии [26, 78]. Специфичность метода при выраженном кальцинозе коронарных артериях значительно ниже по сравнению с невысокой кальцификацией или ее отсутствием. Выраженная кальцификация артерий снижает эффективность МСКТ-коронарографии из-за преувеличения степени стеноза артерий. Коронарные артерии с ложноположительными результатами имели статистически достоверно более высокий кальциевый индекс по сравнению с артериями без ложноположительных результатов ($M_{cp}=319.1$ против 143.3 , $P < 0.001$) [26]. При среднем кальциевом индексе 510 единиц чувствительность 0.5 мм 32-срезовой МСКТ-коронарографии в определении стенозов венечных артерий $\geq 50\%$ оказалась равной 76%, общая диагностическая точность – 91% [28]. В самой большой серии из 2614 пациентов при использовании КТ с двумя рентгеновскими трубками кальциевый индекс 287 ед. представляет порог, выше которого МСКТ-

коронарография позволяет исключить стенозы коронарных артерий $>75\%$ менее чем в 50% случаев [107].

Данные о величине допустимого кальциевого индекса венечных артерий для получения диагностически приемлемого изображения коронарных артерий при 640-срезовой МСКТ-ангиографии в доступной литературе отсутствуют.

В ряде работ была показана ограниченная точность метода при оценке сохранности просвета сосуда, обусловленная специфическими особенностями отложений кальция (кальциевая дуга) [64]. Это объясняется тем, что большинство кальцинированных бляшек относится к глубокому типу, при котором часто происходит гипердиагностика степени стеноза артерии при МСКТ-коронарографии.

В 2017 году в России проведено стентирование коронарных артерий у 193652 человек, имплантировано 257642 стента [3]. Рестеноз в стенте является серьезным осложнением, ведущим к ишемии миокарда и инфаркту миокарда. Стенты с лекарственным покрытием уменьшили частоту этого осложнения до 3-20% [32]. Для выявления или исключения рестеноза в стенте ежегодно в стране выполняются тысячи инвазивных коронарографий. Летальность в 2017 году при диагностической коронарографии составила 0,01% [3]. Кроме этого, в настоящее время коронарография и чрескожные коронарные вмешательства в 81,3-79,4% случаев выполняются через лучевую артерию [3]. Оклюзии лучевой артерии после подобных вмешательств бывают в 3,5-13,0% наблюдений [11], что уменьшает в дальнейшем шансы использовать этот доступ для диагностических или лечебных вмешательств у значительной группы пациентов.

Перспективным неинвазивным методом визуализации просвета стентов в различные сроки после имплантации является МСКТ-коронарография. Исследования «ин витро» по оценке возможности верификации просвета 27 современных типов стентов на томографах нового поколения показали

способность КТ визуализировать просвет металлических стентов в 80% случаев при диаметре стента 3.0 мм [47]. По данным других авторов [4] при МСКТ с новым типом детекторов визуализация просвета стента «ин витро» стала возможна в стентах диаметром от 2,0 мм.

Была изучена «ин витро» визуализация просвета стентов диаметром 3.0 мм в зависимости от материала изготовления (стальные или кобальт-хромовые). Статистически достоверной разницы в минимальном видимом среднем диаметре между Co-Cr и стальными стентами получено не было (1.52 ± 0.17 мм vs. 1.52 ± 0.13 мм), также как и сравнимые изменения затухания денситометрической плотности (35.04 ± 16.56 HU vs. 21.25 ± 14.60 HU) [54].

Важным фактором, определяющим диагностическую точность МСКТ является ограничивающее влияние металлических артефактов. Эти артефакты могут возникать из-за затухания рентгеновского луча при прохождении через металл [100]. Однако их влияние может быть уменьшено путем выполнения итеративной реконструкции, способствующей повышению точности диагностики состояния сосудов. В исследовании [27] чувствительность и специфичность 64-срезовой МСКТ составила 90,0%, 73,5%, соответственно. Диагностические характеристики метода в значительной степени определяются диаметром стента. При наличии стентов с диаметром $< 2,75$ мм или стентов, расположенных в огибающей артерии МСКТ не показана.

Для снижения шума изображения и улучшения качества изображения просвета стентов в исследовании [136] использовалась программа «итеративной реконструкции пространственного изображения» (IRIS) с «острым» ядром на 128-срезовом сканере с двумя источниками излучения. Из 105 изученных стентов просвет 22 стентов (21,0%) был менее 3,0 мм, остальные имели просвет от 3,0 до 4,0 мм (59), более 4,0 мм в 24 наблюдениях. Применение для обработки изображений программы IRIS с «острым» ядром позволило значительно улучшить изображение стентов и их

просвета путем уменьшения шума изображения и «цветочных» артефактов по сравнению со стандартной обратной проекцией с фильтрацией.

Качественная оценка визуализации просвета стентов по 3-х балльной шкале предложена группой авторов [4]:

3 – хорошая визуализация, интерпретабельное изображение;

2 – качество визуализации несколько снижено из-за металла стента и артефакта повышения жесткости излучения или артефакта рассеивания, но оценка просвета возможна;

1 – неинтерпретабельное изображение из-за металла стента и артефакта повышения жесткости излучения или артефакта рассеивания, оценка просвета невозможна.

Пациентам с поражением коронарной артерии *de novo* была выполнена визуализация коронарных артерий с использованием внутрисосудистого ультразвукового исследования, виртуальным гистологическим исследованием, оптической когерентной томографией. Было установлено, что резорбция рассасывающихся каркасов происходит до 3 лет, что сопровождается увеличением просвета артерии, восстановлением сосудистого тонуса [111]. Рестеноз в стенте обуславливается неоинтимальной гиперплазией, в основе которой лежат процессы пролиферации и миграции сосудистых гладкомышечных клеток преимущественно в интима сосудов, что приводит к утолщению стенок артерий и уменьшению их просвета [112].

В доступной литературе отсутствуют работы по использованию 640-срезовой МСКТ-коронарографии при обследовании пациентов в послеоперационном периоде после имплантации стентов различных типов, не определен минимально различимый при томографии диаметр просвета стента.

CAD-RADS является акронимом Coronary Artery Disease – Reporting and Data System (система описания данных КТ при стенотических поражениях коронарных артерий). Рекомендации разработаны Society of Cardiovascular

Computed Tomography (SCCT), American College of Radiology (ACR) и North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) в 2016 году для стандартизации описания результатов КТ-коронарографии, облегчения понимания результатов лечащими врачами и выбора способа дальнейшего лечения пациентов [30]. Категории CAD-RADS зависят от степени стеноза коронарной артерии. Для определения степени стеноза коронарных артерий использовали систему классификации, предложенную SCCT. Качество изображений коронарных артерий оценивали по следующим параметрам:

- Отличное – изображение без артефактов;
- Хорошее – определяются артефакты от движения/кальциноза, не препятствующие оценке просвета коронарных артерий;
- Плохое – выраженные артефакты от движения и/или кальциноза, препятствующие оценке просвета артерии.

При оценке диагностической значимости МСКТ-коронарографии использовали только изображения отличного и хорошего качества.

С момента публикации в 2016 году CAD-RADS все чаще используется в Европе и Соединенных Штатах, но широкое использование этой классификации до сих пор не описано. Необходимое условие успешного внедрения классификации CAD-RADS в значительной степени зависит от готовности и решимости специалистов КТ внедрять CAD-RADS в рутинную клиническую практику [43].

При интерпретации результатов МСКТ-коронарографии правильная оценка степени, тяжести и характеристик поражения венечных артерий в значительной степени зависит от клинических навыков и опыта врача. Даже опытные доктора могут неправильно классифицировать случаи из-за отсутствия знаний о классификации CAD-RADS [43]. Группа исследователей [76] опубликовала работу по межоператорской воспроизводимости для категорий оценки CAD-RADS. Воспроизводимость между исследователями различных стран была отличной (ICC 0.958, 95% CI 0.938-0.974, $p < 0.0001$). Высокое качество изображения было связано с более сильным согласием, чем

умеренное качество изображения (ICC 0.944, 95% CI 0.886-0.974 против ICC 0,887, 95% CI 0,775-0,95, $p < 0,0001$).

В будущем разработанные автоматизированные системы классификации могут сочетать в себе анализ изображений и стандартизированные описания, что позволит повысить надежность и оперативность оценки CAD-RADS. Потенциальное сочетание анатомической и функциональной оценки коронарных артерий, взаимодействие с другими разработанными протоколами описания, дальнейшие исследования с использованием стандартизированных данных улучшат междисциплинарное содействие в будущем [43].

Опубликована работа, что автоматическая программа по классификации CAD-RADS лучше определяет категорию CAD-RADS по сравнению с мануальным подсчетом из-за отсутствия человеческого фактора. Структурированные отчеты с автоматизированными результатами подсчета повышают качество данных и клинических решений [121].

В мультинациональном регистре CONFIRM (COronary CT Angiography Evaluation For Clinical Outcomes: An International Multicenter) 5039 пациентам без наличия известной ИБС выполнили МСКТ-коронарографию. Они были стратифицированы по категориям CAD-RADS от 0 до 5 [132]. Для оценки смертности от всех причин или инфаркта миокарда использовались модели Каплана-Мейера и многопараметрического Кокса. Кривые ROC использовались для сравнения CAD-RADS с индексом Duke-ИБС и традиционной классификацией ИБС. Кумулятивная 5-летняя выживаемость без MACE колебалась от 95,2% до 69,3% для CAD-RADS 0 до 5 ($p < 0.0001$). Кривая ROC для предсказания смерти или MI составляло 0,7052 для CAD-RADS, что не уступало индексу Duke-ИБС (0,7073; $p=0.893$) и традиционной классификации ИБС (0.7095; $P=0.783$). Частота инвазивной коронарографии составила 13% для CAD-RADS от 0 до 2, 66% для CAD-RADS 3, и 84% для CAD-RADS 4A. Для категории CAD-RADS 3 58% последующих коронарографий выполнили в первые 30 дней наблюдения. Среди пациентов

категории CAD-RADS 3 57% пациентов, подвергшихся коронарографии в 30-дневный срок были либо бессимптомными или не получали антиангинальную терапию, только 32% имели стенокардию и лечились медикаментозно. Включение системы CAD-RADS в описание МСКТ-коронарографии улучшит оказание необходимого лечения [132].

В доступной литературе отсутствуют данные о результатах использования данных 640-срезовой МСКТ-коронарографии для стратификации пациентов с ИБС по системе CAD-RADS.

При анализе методики проведения 640-срезовой МСКТ-коронарографии в доступной литературе было найдено 5 статей, три из принадлежат группе под руководством Di Cesare E. [37-39]. Они изучали тип контрастного препарата, объем и скорость его введения, размер зоны исследования, автоматическое или ручное начало сканирования, уровень пика рентгеновской плотности и положение зоны его измерения, напряжение на рентгеновской трубке, коэффициент конверсии для легких (определение эффективной дозы облучения), эффективную дозу облучения. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры 640-срезовой МСКТ-коронарографии по данным литературы

| Параметры | Автор, год публикации | | | | |
|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | Di Cesare E. et al. 2014[37] | Di Cesare E. et al. 2015[38] | Di Cesare E. et al. 2018[39] | Yoo R.E. et al.2012[134] | Liu S. et al. 2018[74] |
| Контрастное вещество | Йомепрол 400 мг/мл | Йомепрол 400 мг/мл | Йодиксанол 320 мг/мл | Йомепрол 400 мг/мл | Йогексол 350 мг/мл |
| Объем, скорость введения | 60 мл 5 мл/с | 50 мл 5 мл/с | 50 мл 6 мл/с | 60 мл 5 мл/с | 45-55 мл 4,5-5,5 мл/с |
| Напряжение | 100-135 kV | 100 kV | 100 kV | 80-120 kV | 100-120 kV |
| Положение триггера | Нисходящая аорта | Нисходящая аорта | Нисходящая аорта | Середина сердца | Нисходящая аорта |
| Уровень рентгеновской плотности (HU) | 300 HU | 300 HU | 300 HU | Контраст в камерах сердца | 180 HU |
| Запуск сканирования | SureStart® | SureStart® | SureStart® | ручное | SureStart® |
| Коэффициент конверсии (mSvмGy ⁻¹ cm ⁻¹) | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,0107-0,0188 | 0,017 |
| Эффективная доза (mSv) | 2,55±1,0 3,34±0,8 | 2,67±0,5 4,24±1,24 | 1,43±0,67 2,8±0,57 | 1,2±0,4 3,1±0,8 | 9,7±2,4 |

При 640-срезовой МСКТ-коронарографии использовали неионные контрастные препараты различных химических групп с концентрацией йода от 320 до 400 мг/мл, объем его колебался от 45 до 60 мл, скорость внутривенного введения от 4,5 до 6 мл/с. Триггер для запуска сканирования обычно располагают в нисходящей аорте без точного указания локализации, уровень денситометрической плотности составил от 180 до 300 НУ. В подавляющем большинстве случаев для запуска сканирования использовали программу SureStart[®]. Напряжение на рентгеновской трубке варьировало от 80 до 135 kV, в зависимости от числа сердечных сокращений, массы пациента. При подсчете эффективной дозы облучения коэффициент конверсии колебался от 0,0107 до 0,0188 mSvмGy⁻¹cm⁻¹.

Из анализа немногочисленной доступной литературы видно, что даже по параметрам выполнения 640-срезовой МСКТ-коронарографии имеются определенные разночтения, что требует дальнейшей отработки методики.

Коронарная МСКТ является неинвазивным методом, но имеются риски, которые нужно учитывать при назначении этого исследования. Наличие ионизирующего излучения повышает риск развития ряда заболеваний, в том числе, злокачественных опухолей [44]. По данным литературы до 1,5-2,0% всех случаев онкологических заболеваний может быть связано с использованием КТ [23]. Для получения изображения коронарных артерий необходимого качества требуется достаточно высокая концентрация контрастного вещества в крови, однако при введении больших объемов контрастного вещества и высокой скорости введения увеличивается риск развития контраст-индуцированной нефропатии, либо экстравазации контрастного вещества с повреждением вены [128].

В настоящее время противопоказания к применению МСКТ-коронарографии подразделяются на абсолютные и относительные. К абсолютным противопоказаниям зарубежные авторы относят аллергические реакции на йодсодержащие контрастные препараты средней и высокой тяжести [65]. В качестве относительных противопоказаний рассматриваются:

- хроническая почечная недостаточность (скорость клубочковой фильтрации ниже 60 мл/мин)
- множественная миелома
- тяжелое состояние пациента (хроническая сердечная недостаточность)
- невозможность длительного положения «лежа на спине»
- невозможность осуществить задержку дыхания до 15 с
- некомпенсированный гипертиреозидизм
- беременность.

По мнению ряда авторов, в определенной степени возможности МСКТ-коронарографии зависят от опыта персонала, имеющегося оборудования, наличия расходных материалов, систем обработки и документирования данных и некоторых других факторов [66, 62].

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что одним из перспективных методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний является МСКТ-коронарография. Она рассматривается в качестве альтернативы инвазивной коронарографии, повышение ее возможностей открывает новые перспективы в диагностике различной патологии сердца и венечных артерий для кардиологов, сосудистых хирургов, кардиохирургов, специалистов рентгенэндоваскулярной диагностики и лечения.

Темпы развития МСКТ-коронарографии в последние годы превосходят темпы развития других неинвазивных методов визуализации. Сегодня она считается универсальным средством визуализации, позволяющим оценить выраженность атеросклероза венечных артерий «in vivo». Результаты работ последних лет указывают на то, что МСКТ-ангиография коронарных артерий является ценным инструментом для прогнозирования исходов при ИБС и выбора оптимальной тактики медикаментозного или хирургического лечения.

В то же время необходимо проведение дальнейших исследований для выработки комплексного подхода к диагностике, направленной на снижение заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых болезней.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В этой главе будут представлены и проанализированы поло-возрастной и нозологический состав, клиническая характеристика обследованных больных, описаны методы 640-срезовой КТ-коронарографии, инвазивной коронароангиографии.

Для определения диагностических и дифференциальных возможностей 640-срезовой КТ-коронарографии при стенотических поражениях коронарных артерий с февраля 2016 по ноябрь 2017 года в кабинете рентгеновской компьютерной томографии Российско-Японского научно-образовательного центра визуализации УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) было обследовано 164 человек (109 мужчин и 55 женщин в возрасте от 41 до 90 лет, средний возраст составил $M_{ср} \pm m = 66,7 \pm 8,8$ лет) с ишемической болезнью сердца или высоким риском её развития, наличием имплантированных стентов или рассасывающихся каркасов, перед хирургическим лечением сонных или периферических артерий. По показаниям в рентгендиагностическом отделении ангиографии УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) 39 пациентам провели инвазивную коронароангиографию по стандартной методике.

При анализе томограмм у 33 пациентов полученные изображения коронарного русла были непригодны для последующего анализа. Преимущественно, это было на начальном этапе освоения метода, больные имели выраженный кальциноз коронарного русла (индекс Агатстона более 900 ед.), в трети наблюдений была использована проспективная ЭКГ-синхронизация, более половины больных страдали выраженными пороками сердца (аортальный стеноз, стеноз митрального клапана, аневризма восходящей аорты). Часть полученных данных была использована для

решения частных проблем (сравнение эффективной дозы облучения пациентов при различных программах ЭКГ-синхронизации).

В основном исследовании продолжили участие 131 пациент (89 мужчин и 42 женщины в возрасте от 41 до 90 лет, $M_{cp} = 64,7 \pm 7,5$ лет).

Критериями включения пациентов в исследование явились:

1. Наличие письменного информированного согласия пациента на участие в исследовании.
2. Ишемическая болезнь сердца.

Критерии не включения в исследование:

1. Аллергия на йодсодержащие препараты в анамнезе.
2. Уровень креатинина в сыворотке крови более 115 мкмоль/л для мужчин и более 97 мкмоль/л для женщин.
3. Пациенты с бронхиальной астмой в стадии декомпенсации.
4. Пациенты с сахарным диабетом в стадии декомпенсации.
5. Невозможность находиться неподвижно во время исследования в связи с психическими расстройствами или иными заболеваниями.

При обследовании пациента лечащий врач собирал анамнез жизни и болезни, определял возможные факторы риска, проводил осмотр и физикальное обследование, изучал местный статус, оценивал состояние периферических артерий.

На основании анализа анамнеза пациента, данных его клинического обследования, лабораторных и инструментальных исследований лечащий врач определял имеющийся диагноз. Все исследуемые до проведения мультиспиральной КТ-коронарографии и инвазивной коронароангиографии были в стабильном состоянии.

Дизайн настоящего исследования представлен на схеме 1.

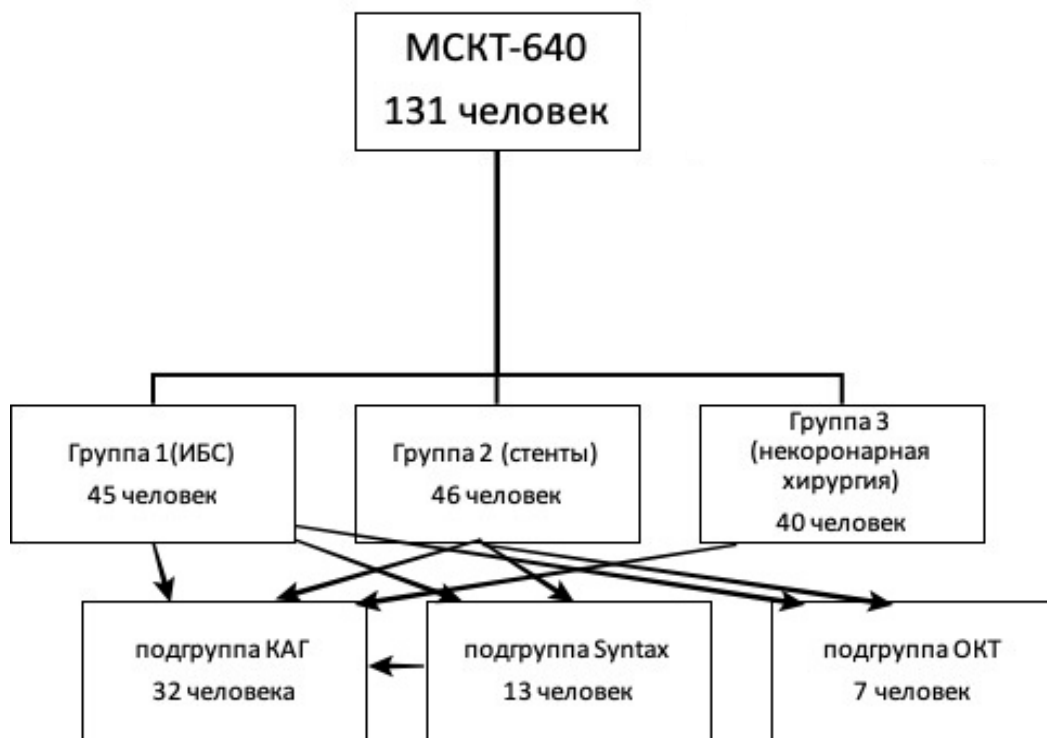


Схема 1. Дизайн проводимого исследования.

В ходе обследования в зависимости от поставленных задач из 131 пациентов были сформированы следующие группы:

1 группа (ИБС) – 45 больных (28 мужчин, 17 женщин) в возрасте от 41 до 90 лет ($M_{cp}=63,9\pm 10,4$ года) с ИБС или высоким риском ее развития, наличием соответствующей ИБС клинической симптоматики стабильной стенокардии напряжения.

2 группа (стенты) – 46 больных (33 мужчины и 13 женщин) в возрасте от 44 до 76 лет ($M_{cp}=59,3\pm 6,2$ лет) в различные сроки от 7 дней до 11 лет ($M_{cp}=46,3\pm 16,8$ мес) после имплантации 70 стентов (63 металлические стенты различных производителей и 7 – биodeградируемые каркасы). Пяти больным МСКТ-коронарография выполнялась дважды с интервалом от 4 до 19 месяцев, всего у них было имплантировано 6 стентов и 3 биodeградируемых каркасов (общее число стентов и каркасов составило 79).

3 группа (некоронарная хирургия) – 40 больных (28 мужчин и 12 женщин) в возрасте от 50 до 78 лет ($M_{cp}=61,2\pm 5,7$ лет) с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля (мультифокальный атеросклероз, аневризма восходящей аорты в 2 двух наблюдениях), которым в ближайшие сроки после исследования были выполнены хирургические вмешательства на сонных, периферических артериях, восходящей дуге аорты. 39 пациентов после выполнения МСКТ-коронарографии в сроки от 3 до 10 дней были оперированы, им выполнены пластика глубокой артерии бедра (18), бедренно-подколенное шунтирование (10), каротидная эндартерэктомия (7), сонно-подключичное протезирование (2), протезирование восходящей аорты – 2. Одному больному пластика глубокой артерии бедра проведена после стентирования передней межжелудочковой артерии, проведенного на основании результатов комплексного обследования с использованием инвазивной и МСКТ-коронарографии. Все 40 пациентов при сроке наблюдения после оперативного лечения до 13 месяцев не имели больших сердечных событий (инфаркт миокарда, инсульт, смерть).

Основная часть пациентов – 111 человек (84,7%) обследована амбулаторно, остальные больные (20) находились на обследовании и лечении в УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

Всем этим больным была проведена стратификация по категориям системы CAD-RADS®. Для изучения статистических показателей 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии были изучены результаты 19 человек из групп 1 и 3, которым по результатам анализа шкалы CAD-RADS® была проведена инвазивная коронарография.

Из пациентов групп 1 и 2 по этой шкале были выделены подгруппа из 13 человек, которым провели плановое стентирование коронарных артерий только на основании данных МСКТ-коронарографии и положительных тестов с нагрузкой. Дополнительно были изучены результаты определения метода выбора реваскуляризации миокарда на основании шкалы Syntax по данным

640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии (проводилась во время стентирования) – подгруппа Syntax.

Таким образом, 13 человек подгруппы Syntax и 19 пациентов из групп 1 и 3 составили подгруппу КАГ из 32 пациентов.

Для сравнения возможностей МСКТ-коронарографии и оптической когерентной томографии в изучении состояния стенок и просвета коронарных артерий у 7 пациентов из групп 1 и 2 были выполнены МСКТ-КАГ и ОКТ в комплексе с коронарографией (подгруппа ОКТ) с промежутком между исследованиями 7-10 дней.

Таким образом, всего в исследование был включен 131 пациент (89 мужчин и 42 женщины в возрасте от 41 до 90 лет, $M_{cp} = 64,7 \pm 7,5$ лет).

Важнейшими преимуществами направлением диагностики с применением объемной МСКТ-коронарографии является оценка просвета артерий. В связи с этим оценивали величину просвета сосудов в области установки стента, а также проксимальных и дистальных сегментов коронарных сосудов.

Для определения статистически достоверных возможностей МСКТ-коронарографии отдельно для каждого пациента были изучены и обработаны полученные томограммы коронарного русла для определения качества изображения при различных алгоритмах сканирования, также проведено сравнение результатов МСКТ-640 и КАГ в различных подгруппах пациентов.

Для анализа результатов повторных измерений полученных при МСКТ-коронароангиографии томограмм артериального русла проведен тест оценки внутри- и межоператорской воспроизводимости для различных величин по методу Бленда-Альтмана. Из всех обследованных пациентов выделена группа из 19 обследуемых, которым количественно определяли степень сужения венечных артерий. Это выполняли 2 врача-рентгенолога со стажем работы более 3 лет на рабочей станции Vitrea®.

Также проводили оценку безопасности применения МСКТ-коронарографии путем анализа, полученного пациентом во время проведения

исследования уровня эффективной дозы облучения.

Клиническая характеристика пациентов

В анализ были включены диагностические результаты комплексного обследования 131 пациента. Распределение больных по полу и возрасту представлено в таблице 2.

Таблица 2. Распределение 131 обследованного пациента по полу и возрасту

| Возраст (лет) | Мужчины (n=89) | | Женщины (n=42) | | Всего (n=131) | |
|---------------|----------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | 89 | 67,9% | 42 | 32,1% | 131 | 100% |
| 40–59 | 19 | 14,5% | 9 | 6,9% | 28 | 21,4% |
| 60–80 | 67 | 51,1% | 30 | 22,9% | 97 | 74,0% |
| Старше 80 | 3 | 2,3% | 3 | 2,3% | 6 | 4,6% |

Как видно из таблицы 2, практически 3/4 пациентов были в возрасте от 60 до 79 лет, больных в возрасте до 60 лет – 21,4 %. Меньше всего было больных старше 80 лет – 6 пациентов (4,6 %). Женщины составили почти треть (32,1%) обследованных пациентов.

Распределение больных групп 1, 2, 3 по полу и возрасту представлено в таблицах 3, 4, 5, соответственно.

Таблица 3. Распределение 45 больных группы 1 (ИБС) по полу и возрасту

| Возраст (лет) | Мужчины (n=28) | | Женщины (n=17) | | Всего (n=45) | |
|---------------|----------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
| | 28 | 62,2% | 17 | 37,8% | 45 | 100% |
| 40–59 | 9 | 32,1% | 3 | 17,6% | 12 | 26,7% |
| 60–80 | 18 | 64,3% | 13 | 76,5% | 31 | 68,9% |
| Старше 80 | 1 | 3,6% | 1 | 5,9% | 2 | 4,4% |

Таблица 4. Распределение 46 больных группы 2 (стенты) по полу и возрасту

| Возраст, лет | Мужчины (n=33) | | Женщины (n=13) | | Всего (n=46) | |
|--------------|----------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
| | 33 | 71,7% | 13 | 28,3% | 46 | 100% |
| 40–59 | 6 | 18,2% | 4 | 30,8% | 10 | 21,7% |
| 60–80 | 25 | 75,7% | 9 | 69,2% | 34 | 73,9% |
| Старше 80 | 2 | 6,1% | - | - | 2 | 4,4% |

Таблица 5. Распределение 40 больных группы 3 (некоронарная хирургия) по полу и возрасту

| Возраст, лет | Мужчины (n=28) | | Женщины (n=12) | | Всего (n=40) | |
|--------------|----------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
| | 28 | 70,0% | 12 | 30,0% | 40 | 100% |
| 40–59 | 2 | 7,1% | 4 | 33,3% | 6 | 15,0% |
| 60–80 | 25 | 89,3% | 7 | 58,3% | 32 | 80,0% |
| Старше 80 | 1 | 3,6% | 1 | 8,3% | 2 | 5,0% |

Как видно из таблиц 3-5, половозрастной состав в группах 1-3 был практически одинаковым, статистически достоверных различий между группами не выявлено ($P < 0,05$).

Клинические данные 131 обследованного пациента из групп 1-3 представлены в таблице 6.

Таблица 6. Клинические параметры 131 обследованного больного групп 1-3.

| Параметр | N=131 |
|--------------------------|------------|
| Возраст (годы) | 64,7±7,5 |
| Рост (см) | 172,8±8,1 |
| Вес (кг) | 88,1±13,8 |
| Индекс массы тела | 29,8±4,4 |
| Ожирение | 47(35,9%) |
| Артериальная гипертензия | 88 (67,2%) |
| Курение | 58(44,3%) |
| Дислипидемия | 51(38,9%) |
| Сахарный диабет | 21(16,0%) |
| Мужчины | 89(67,9%) |

Как видно из таблицы 6, наиболее распространенным фактором риска у обследованного контингента была артериальная гипертензия, отмеченная у 88 пациентов (67,2%), на втором месте - курение (44,3%), дислипидемия и ожирение встречались практически с одинаковой частотой, 38,9% и 35,9%, соответственно. Сахарный диабет имел место у 16,0% пациентов.

Распределение имплантированных стентов и каркасов в группе 2 (стенты) в зависимости от их локализации в коронарных артериях представлено в таблице 7.

Таблица 7. Распределение 79 стентов и рассасывающихся каркасов у 46 больных группы 2 (стенты) в зависимости от локализации в коронарных артериях

| Коронарные артерии | Всего (n=79) | |
|----------------------------------|--------------|-------|
| | n | % |
| Передняя межжелудочковая артерия | 32 | 40,5% |
| Правая коронарная артерия | 28 | 35,5% |
| Огибающая артерия | 11 | 13,9% |
| Ветвь тупого края | 8 | 10,1% |

Как видно из таблицы 7, наиболее часто стенты и каркасы были имплантированы в переднюю межжелудочковую и правую коронарные артерии (76,0%).

МСКТ-коронарография

Мультиспиральная коронарная томография выполнялась на 640-срезном компьютерном томографе Aquilion ONE® (Toshiba, Japan).

Параметры протокола исследования коронарных артерий при МСКТ-коронарографии представлены в таблице 8.

Таблица 8. Параметры исследования коронарных артерий с применением протокола Cardiac CTA®

| Протокол исследования | Параметры сканирования |
|-----------------------------|------------------------|
| Область сканирования | Сердце, 160 мм |
| Направление сканирования | Кранио-каудальное |
| Время полного оборота | 0,275 с |
| Время сканирования | до 4,5 с |
| Временное разрешение | 75 мс |
| Толщина среза | 0,625 мм |
| Напряжение | 120 kV |
| Шаг реконструкции | 0,5 мм |
| Задержка пуска сканирования | 5 с |

Перед компьютерной томографией во всех случаях тщательно изучали аллергологический анамнез, пациенты подписывали информированное согласие на внутривенное введение контрастного препарата.

Рентгеноконтрастное вещество (Йопромид 370 мг/мл или Йогексол 350 мг/мл) вводили больным через браунюлю диаметром 18 G (внутренний просвет – 1,2 мм), установленной в вене предплечья. Его вводили двухколбовым автоматическим инжектором Stellant D® (Medrad®) с использованием программы SureStart®. Объем необходимого контрастного вещества рассчитывался индивидуально для каждого обследуемого из расчета 1,0 мл/кг (не более 90 мл). Контрастное вещество объемом от 60 до 90 мл ($M_{cp}=68,4\pm 8,3$ мл) вводили внутривенно болюсом со скоростью 4,5 мл/с.

Использовали модифицированный протокол компьютерной томографии с получением топограммы в прямой проекции для определения области исследуемого объекта. Первым этапом выполняли нативное исследование

сердца для определения уровня кальциноза коронарного русла по программе CaScore[®], вторым этапом была артериальная фаза исследования, которая начиналась автоматически с использованием программы SureStart[®] при достижении пикового значения рентгеновской плотности в просвете нисходящей аорты на уровне деления легочной артерии, соответствующего 220 HU. Размер зоны исследования составил 16 см от бифуркации трахеи до диафрагмы, что дало возможность полностью охватить область сердца (рис. 1).



Рисунок 1. Топограмма грудной клетки с определением зоны исследования при проведении МСКТ-коронарографии

Мультиспиральная томография выполнялась на высоте вдоха с максимально возможной задержкой дыхания пациентом. Для этого до исследования в кабинете проводили дыхательную тренировку пациента (рис. 2). Томография выполнялась с использованием ретроспективной ЭКГ-синхронизации, β -блокаторы или нитроглицерин для урежения сердечного ритма пациента не использовали.

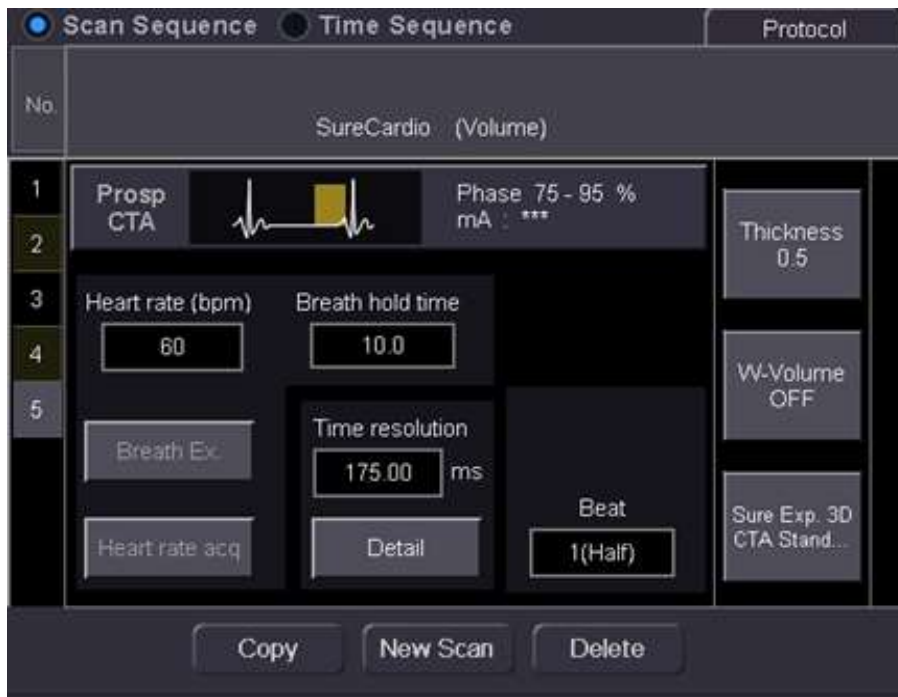


Рисунок 2. Настройка программы в ходе тренировки задержки дыхания.

На первом этапе автоматически считали кальциевый индекс по шкале Agatston в основных коронарных артериях (рис. 3). При определении кальциноза более 400 единиц проводили редактирование полученного изображения артерий «вручную» для исключения изображения кальциевой бляшки из просвета сосуда.

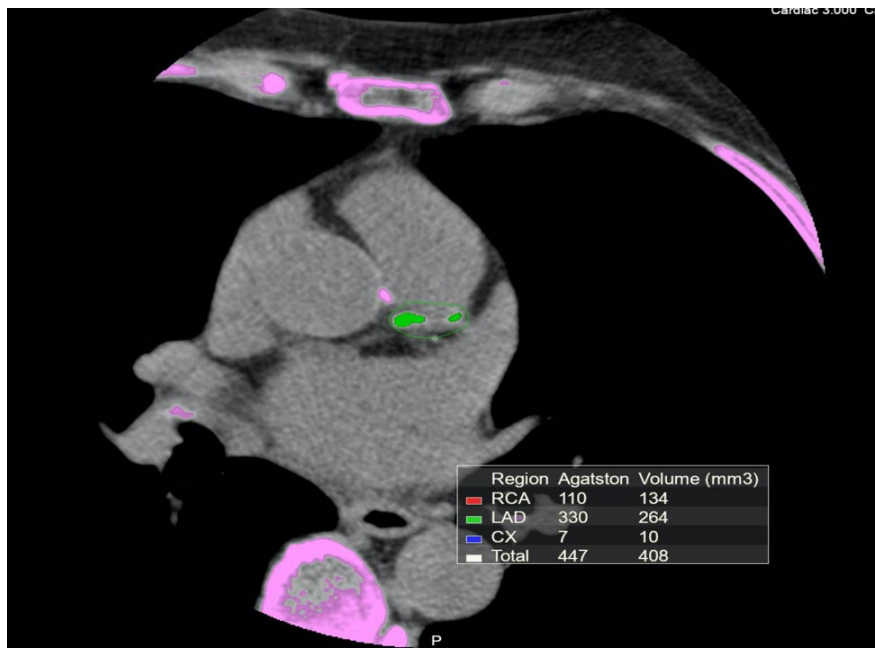


Рисунок 3. Вид рабочей станции Vitrea® при применении программы для автоматического подсчета коронарного кальция - кальцинированная атеросклеротическая бляшка в передней межжелудочковой артерии (выделено зеленым цветом).

При хорошем качестве изображения коронарного русла анализировали данные, полученные в конечно-диастолическую фазу сердечного цикла (75-80% интервала R-R) или оценивали комплекс изображений артерий с шагом в 10% от длительности сердечного цикла.

Данные томографического исследования артериального русла на первом этапе изучали по аксиальным срезам, затем «сырые» изображения обрабатывали в различных режимах реконструкции – MPR, MIP и VRT на рабочей станции Vitrea® в приложении CTA–Coronary Artery Analysis®. Обработка изображений коронарных артерий состояла в установке специальных отметок из программного приложения на трех уровнях: уровне стеноза, уровне непораженного просвета артерии проксимальнее и дистальнее локализации бляшки для количественной оценки степени и протяженности стенозирования венечных артерий (рис. 4).

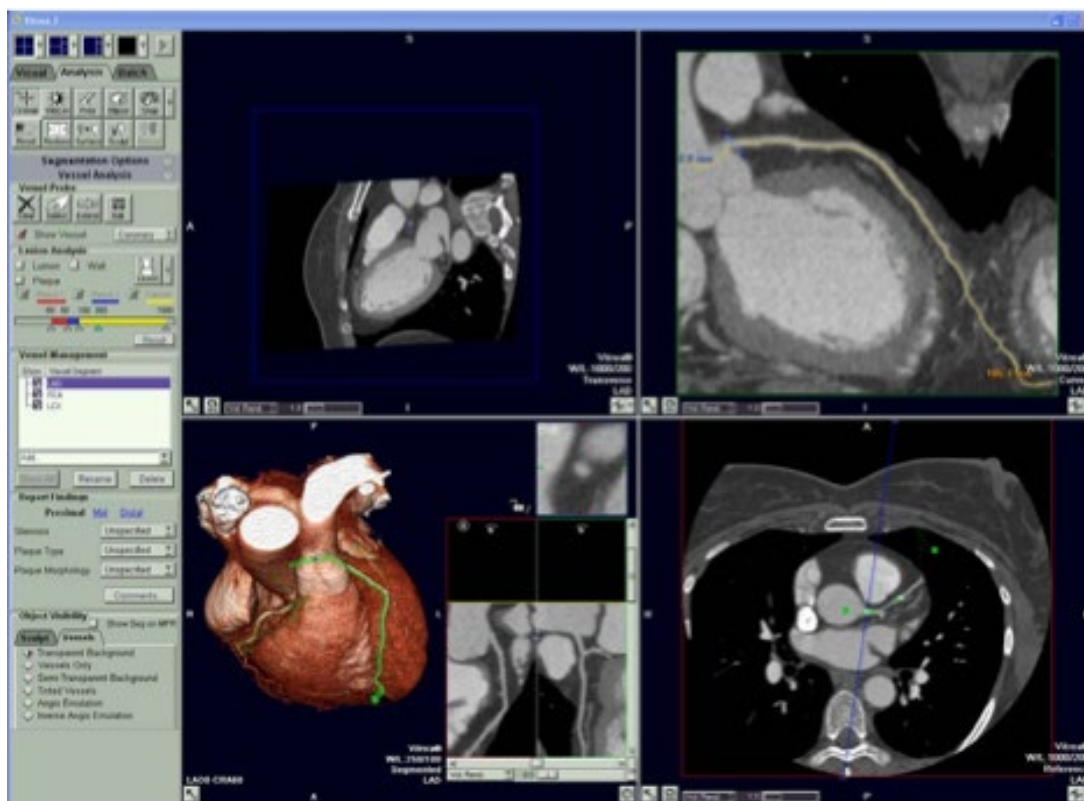


Рисунок 4. Вид экрана рабочей станции Vitrea® при использовании программы CTA–Coronary Artery Analysis.

На рисунке 5 представлен вариант реконструкции изображения коронарных артерий с автоматическим определением уровня стеноза.

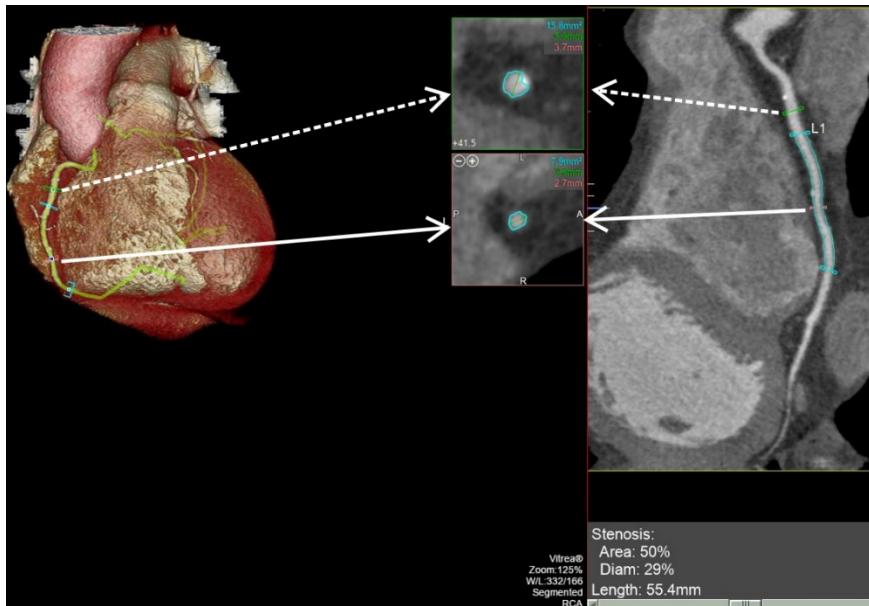


Рисунок 5. Реконструкция изображений с автоматическим определением степени стеноза коронарной артерии.

На рисунке 6 представлен вариант реконструкции изображений венечных артерий с ручным определением уровня стеноза.

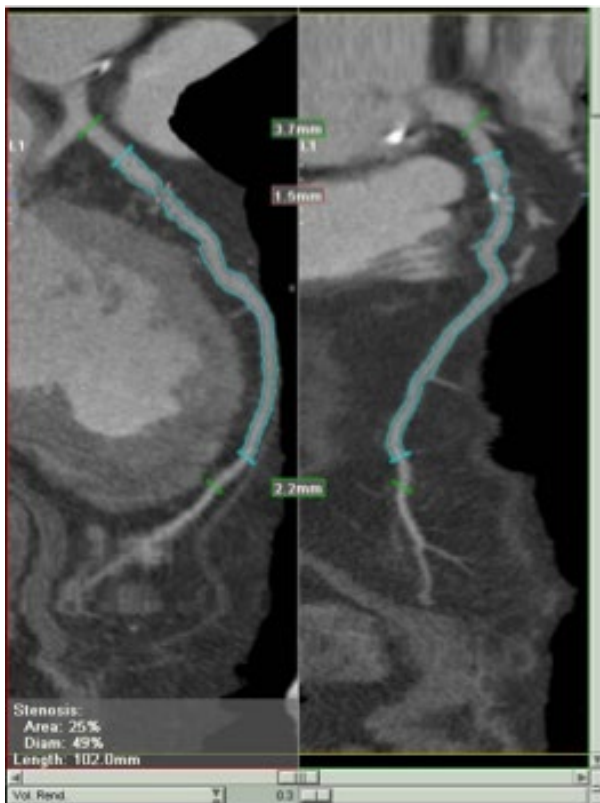


Рисунок 6. Реконструкция изображений с ручным определением степени стеноза коронарной артерии.

Качественная оценка визуализации просвета стентов по 3-х балльной шкале для каждого стента по отдельности проводилась по методике [4]:

1 – неинтерпретабельное изображение из-за металла стента и артефакта повышения жесткости излучения или артефакта рассеивания, оценка просвета невозможна;

2 – качество визуализации несколько снижено из-за металла стента и артефакта повышения жесткости излучения или артефакта рассеивания, но оценка просвета возможна;

3 – хорошая визуализация, интерпретабельное изображение.

Оценку просвета коронарных артерий производили по сегментам, согласно классификации Society of Cardiovascular Computed Tomography (рис. 7).

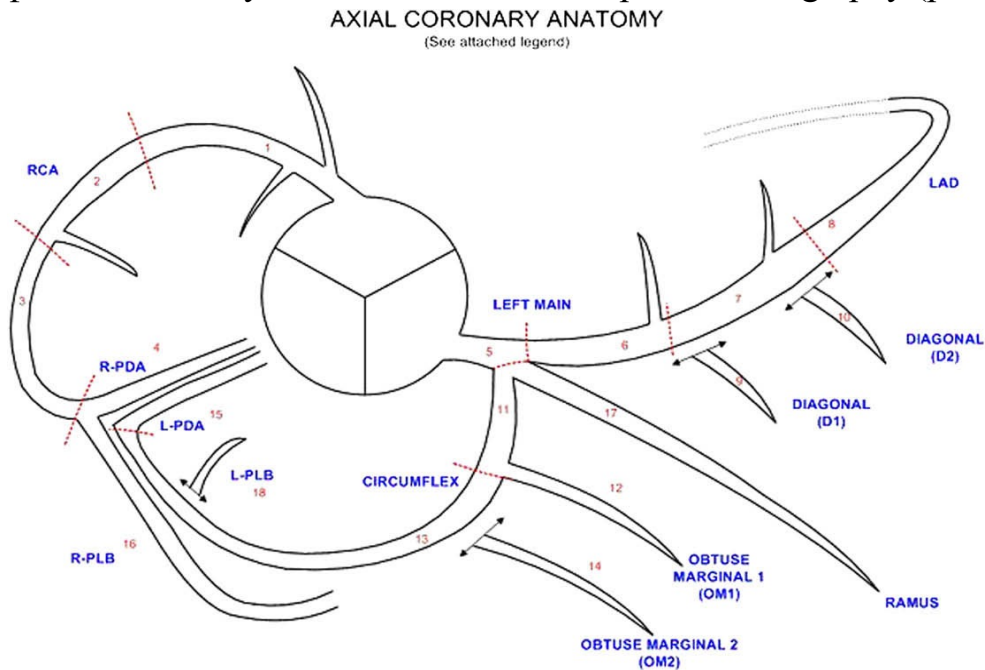


Рисунок 7. Схема сегментов коронарных артерий по классификации Society of Cardiovascular Computed Tomography [99].

Условные обозначения: 1 – проксимальный сегмент правой коронарной артерии, 2 – средний сегмент правой коронарной артерии, 3 – дистальный сегмент правой коронарной артерии, 4 – задняя межжелудочковая артерия от правой коронарной артерии, 5 – ствол левой коронарной артерии, 6 – проксимальный сегмент передней межжелудочковой артерии, 7 – средний сегмент передней межжелудочковой артерии, 8 – дистальный сегмент передней межжелудочковой артерии, 9 – первая диагональная ветвь, 10 – вторая диагональная ветвь, 11 – проксимальный сегмент огибающей артерии, 12 – первая ветвь тупого края, 13 – средний и дистальный сегменты огибающей артерии, 14 – вторая артерия тупого края, 15 – задняя межжелудочковая артерия от огибающей артерии, 16 – задняя боковая ветвь от правой коронарной артерии, 17 – интермедиарная артерия, 18 – задняя боковая ветвь от огибающей артерии.

CAD-RADS[®] является акронимом Coronary Artery Disease – Reporting and Data System (система описания данных КТ при стенотических поражениях коронарных артерий). Рекомендации разработаны Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), American College of Radiology (ACR) и North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) в 2016 году для стандартизации описания результатов КТ-коронарографии, облегчения понимания результатов лечащими врачами и выбора способа дальнейшего лечения пациентов [30].

Категории CAD-RADS[®] зависят от степени стеноза коронарной артерии. Для определения степени стеноза коронарных артерий использовали систему классификации, предложенную SCCT. Она представлена в таблице 9.

Таблица 9. Шкала SCCT для определения выраженности стеноза коронарной артерии [30]

| Степень стеноза просвета артерии | Описание |
|----------------------------------|--------------------|
| 0% | Стеноз отсутствует |
| 1-24% | Минимальный стеноз |
| 25-49% | Начальный стеноз |
| 50-69% | Умеренный стеноз |
| 70-99% | Выраженный стеноз |
| 100% | Окклюзия |

Качество изображений коронарных артерий оценивали по следующим параметрам:

- Отличное – изображение без артефактов;
- Хорошее – определяются артефакты от движения/кальциноза, не препятствующие оценке просвета коронарных артерий;
- Плохое – выраженные артефакты от движения и/или кальциноза, препятствующие оценке просвета артерии.

Для определения диагностических возможностей МСКТ-коронарографии использовали только изображения хорошего и отличного качества.

Рекомендации CAD-RADS® по оценке результатов МСКТ-коронарографии представлены в таблице 10.

Таблица 10.

Рекомендации CAD-RAD® по оценке степени стеноза (2016)

| Категории | Степень максимального стеноза коронарной артерии | Интерпретация | Дальнейшее обследование сердца |
|-------------------|--|---------------------------------|---|
| CAD-RADS 0 | 0% (нет бляшки или стеноза) | ИБС отсутствует | Не требуется |
| CAD-RADS 1 | 1%-24% Минимальный стеноз или бляшка без стеноза | Минимальная необструктивная ИБС | Не требуется |
| CAD-RADS 2 | 25-49% Начальный стеноз | Начальная необструктивная ИБС | Не требуется |
| CAD-RADS 3 | 50-69% стеноз | Умеренный стеноз | Показано выполнение функциональных проб |
| CAD-RADS 4 | A – 70-99% стеноз | Выраженный стеноз | Показано выполнение ангиографии или функциональных проб |
| | B - стеноз >50% ствола левой коронарной артерии или 3-х сосудистый стеноз (>70%) | | Рекомендована ангиография |
| CAD-RADS 5 | 100% (тотальная окклюзия) | Тотальная коронарная окклюзия | Показано выполнение ангиографии и/или определение жизнеспособности миокарда |
| CAD-RADS N | Неинформативное исследование | ИБС не может быть исключена | Необходимо дополнительное или альтернативное исследование |

При наличии модификаторов символ «косая черта» (/) сопровождает каждый модификатор в следующем порядке:

Первый: модификатор **N** (неинформативный)

Второй: модификатор **S** (стент)

Третий: модификатор **G** (шунт)

Четвертый: модификатор **V** (уязвимость)

Система использовалась у каждого пациента для определения клинически наиболее значимого (обычно более выраженного) стеноза коронарной артерии. Анализу подвергались все артерии более 2.0 мм в диаметре.

Описание МСКТ-коронарографии выполняли по модифицированному нами шаблону [30].

МСКТ- коронарография

Пациент Б., 65 лет.

Предъявляет жалобы на боли за грудиной.

Проведена МСКТ-коронарография на аппарате Aquilion One-640. При использовании внутривенного введения 80 мл Омнипака 350 со скоростью 4,5 мл/с получены 0.5 мм изображения коронарного русла. Премедикация не использовалась.

Использовано проспективная/ретроспективная ЭКГ-синхронизация. ЧСС во время исследования приблизительно составила 65 уд/мин. Данные переданы на рабочую станцию для выполнения 3D реконструкций, включая кривую MPR и мультипланарную реконструкцию. Качество исследования хорошее.

При исследовании выявлено: общий коронарный индекс 0 – отсутствие кальцинированных бляшек в коронарных артериях. Коронарные артерии отходят обычно. Тип кровоснабжения правый.

Ствол левой коронарной артерии (сегмент 5) имеет диаметр 4.0 мм, делится на ПМЖА и ОА. Признаков наличия стеноза или бляшек нет. ПМЖА (сегменты 6-8) без признаков наличия стеноза или бляшек. От нее отходят 2 проходимых диагональных ветви (сегменты 9, 10). ОА (сегменты 11,13) без признаков наличия стеноза или бляшек. От нее отходит проходимая артерия тупого края (сегмент 12).

Правая коронарная артерия (сегменты 1-3) без признаков наличия стеноза или бляшек, она делится на проходимую ЗМЖА и проходимую ЗБВ.

Клапаны сердца: аортальный и митральный клапаны без утолщений и кальцинатов. Перикард без признаков выпота, утолщения и кальцификации. Внесердечные структуры: в доступном ограниченном пространстве легких и средостения патологических изменений не выявлено.

Заключение: коронарный индекс – 0, при МСКТ-коронарографии не выявлено бляшек или стенозов коронарных артерий.

Оценка по CAD-RADS - 0.

Рекомендовано: поиск других источников болевого синдрома в грудной клетке.

Коронарная ангиография

КАГ выполнялась по стандартной методике лучевым или феморальным доступом моделированными катетерами диаметром 5-6 Ф по методике Джадкинса на ангиографических аппаратах «Innova 2100» (GE, USA) и «Infinix VFi» (Toshiba, Japan) в рентгенодиагностическом отделении ангиографии УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). Контрастный препарат (Йопромид 370 мг/мл или Йогексол 350 мг/мл) вводился вручную при регистрации изображения коронарных артерий в нескольких проекциях. Объем введенного контрастного препарата колебался от 85 до 200 мл ($M_{cp}=95,8\pm 9,6$ мл). Скорость регистрации изображений коронарных артерий составляла 15 кадров в секунду. Полученные данные анализировались двумя опытными специалистами (стаж работы более 20 лет).

Оптическая когерентная томография

Оптическая когерентная томография проводилась на системе ILUMEN (SJM) с использованием внутрисосудистых датчиков Dragonfly Optis в режиме автоматического распознавания просвета артерии во время проведения диагностической коронарографии. После предварительной подготовки катетера Dragonfly Optis – заполнения просвета катетера чистым контрастным веществом, подсоединения к ДОС-станции и автоматической калибровки, он по коронарному проводнику 0,14” вводится под рентгеноскопическим контролем в необходимую коронарную артерию. Для промывания контрастом сосуда использовали 20.0 мл шприц с ручным введением контрастного вещества или автоматический шприц-инжектор. При автоматическом режиме протяжки система распознает отмытый сосуд и делает протяжку со скоростью 20 мм/сек протяженностью участка 54.0 мм с разрешающей способностью 290 поперечных срезов. Система в режиме реального времени выдает в течении 3-5 сек 2D продольное изображение сосуда и поперечные сечения. После чего проводились интерпретация полученного изображения и необходимые измерения степени и протяженности стеноза артерии.

Статистическая обработка полученных данных

Статистическая обработка полученных в исследовании результатов проводилась в программе Statistica 10.0 (StatSoft, США). Использовали методы параметрической и непараметрической статистики. Полученные данные представляли в виде среднего арифметического (M) и ошибки среднего значения (m) либо медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (Q_{25} ; Q_{75}).

Для оценки различий значений количественных показателей применяли t -критерий Стьюдента для независимых выборок с уровнем достоверности нулевой статистической гипотезы равным 0,05.

Метод Блэнда-Альтмана использовали для определения теста внутриоператорской и межоператорской воспроизводимости для различных величин с представлением результатов – среднее арифметическое значение внутриоператорской разности (M , %), стандартное отклонение разности (STD , %), коэффициент вариации (CV , %).

Для количественной оценки результатов объемной динамической МСКТ-коронарографии по визуализации венечных артерий рассчитывали общепринятые показатели чувствительности, специфичности и точности. Данные МСКТ-коронарографии сравнивали с результатами стандартной коронароангиографии.

Для выявления выраженности связи между результатами различных методов диагностики коронарного русла проводили корреляционный анализ с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена.

ГЛАВА 3. 640-СРЕЗОВАЯ МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ КТ-КОРОНАРОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОРОНАРНОГО РУСЛА

В данной главе на основании комплексного обследования 131 больного с хронической ИБС будут проанализированы результаты классификации CAD-RADS, проведено сравнение результатов 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии, диагностические пределы 640-срезовой МСКТ-коронарографии в анализе послеоперационного состояния стентированных коронарных артерий, возможностей КТ-коронарографии для выбора тактики оперативного лечения по шкале Syntax, изучения данных МСКТ и оптической когерентной томографии в визуализации просвета артерий и анализе состава атеросклеротических бляшек, оценка лучевой нагрузки и возможных осложнений МСКТ-640.

3.1 Анализ изображений коронарных артерий на основании результатов МСКТ-коронарографии по шкале CAD-RADS

После получения серии поперечных томографических срезов на рабочей станции Vitrea[©] выполнялась реконструкция изображений в различных проекциях, позволяющие определять венечные артерии на протяжении. Анализу подвергались следующие сегменты коронарных артерий (по классификации SCCT [99]):

- правая коронарная артерия (сегменты 1-3)
- ствол левой коронарной артерии (сегмент 5)
- передняя межжелудочковая артерия (сегменты 6-8)
- 1-я диагональная артерия (сегмент 9)
- огибающая артерия (сегменты 11, 13)
- 1-я артерия тупого края (сегмент 12).

Задняя боковая ветвь (сегмент 16), задняя межжелудочковая артерия (сегмент 4), 2-я диагональная артерия (сегмент 10), 2-я артерия тупого края (сегмент 14) исключены из анализа из-за диаметра артерии менее 2,0 мм. При левом типе кровоснабжения исключали из анализа заднюю боковую ветвь (сегмент 18), задняя межжелудочковая артерия (сегмент 15), отходящие от огибающей артерии. Таким образом, у каждого больного оценивались 11 сегментов. В 4 случаях оценивали интермедиарную артерию (сегмент 17).

Для изучения использования данных МСКТ-коронарографии в определении выбора тактики последующего обследования или лечения была произведена оценка этих результатов в соответствии с рекомендациями Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), American College of Radiology (ACR) и North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI) разработанными в 2016 году для стандартизации описания результатов КТ-коронарографии. Результаты МСКТ-коронарографии у 131 пациента из групп 1-3 представлены в таблице 11. При наличии нескольких стенозов различной степени у одного больного для определения категории CAD-RADS учитывали самый выраженный стеноз.

Таблица 11. Распределение 131 пациента групп 1-3 на основании данных МСКТ-коронарографии на категории по классификации CAD-RADS

| Категории | Группы n (%) | | | Всего n (%) |
|-------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-------------|
| | 1 (ИБС) - 45 | 2 (стенты) - 46 | 3 (некоронарная хирургия) - 40 | |
| CAD-RADS 0 | 3 (2,3%) | - | 2 (1,5%) | 5 (3,8%) |
| CAD-RADS 1 | 5 (3,8%) | - | 8 (6,1%) | 13 (9,9%) |
| CAD-RADS 2 | 9 (6,9%) | 16 (12,2%) | 27 (20,6%) | 52 (39,7%) |
| CAD-RADS 3 | 14 (10,7%) | 20 (15,3%) | 2 (1,5%) | 36 (27,5%) |
| CAD-RADS 4A | 9 (6,9%) | 5 (3,8%) | 1(0,7%) | 15 (11,5%) |
| CAD-RADS 4B | 3 (2,3%) | - | - | 3 (2,3%) |
| CAD-RADS 5 | 2 (1,5%) | 5 (3,8%) | - | 7 (5,3%) |

Как видно из таблицы 11, в 70 случаях (53,4%) выявлены категории CAD-RADS 0, 1, 2. Пациентам из групп ИБС и некоронарной хирургии в 54 наблюдениях (41,2%) дальнейшее обследование по поводу ИБС не требовалось. В группе стентов у 16 пациентов (12,2%) также не было необходимости в проведении инвазивной коронарографии. На рис.8-10 представлены типичные данные МСКТ-коронарографии в этих категориях CAD-RADS.

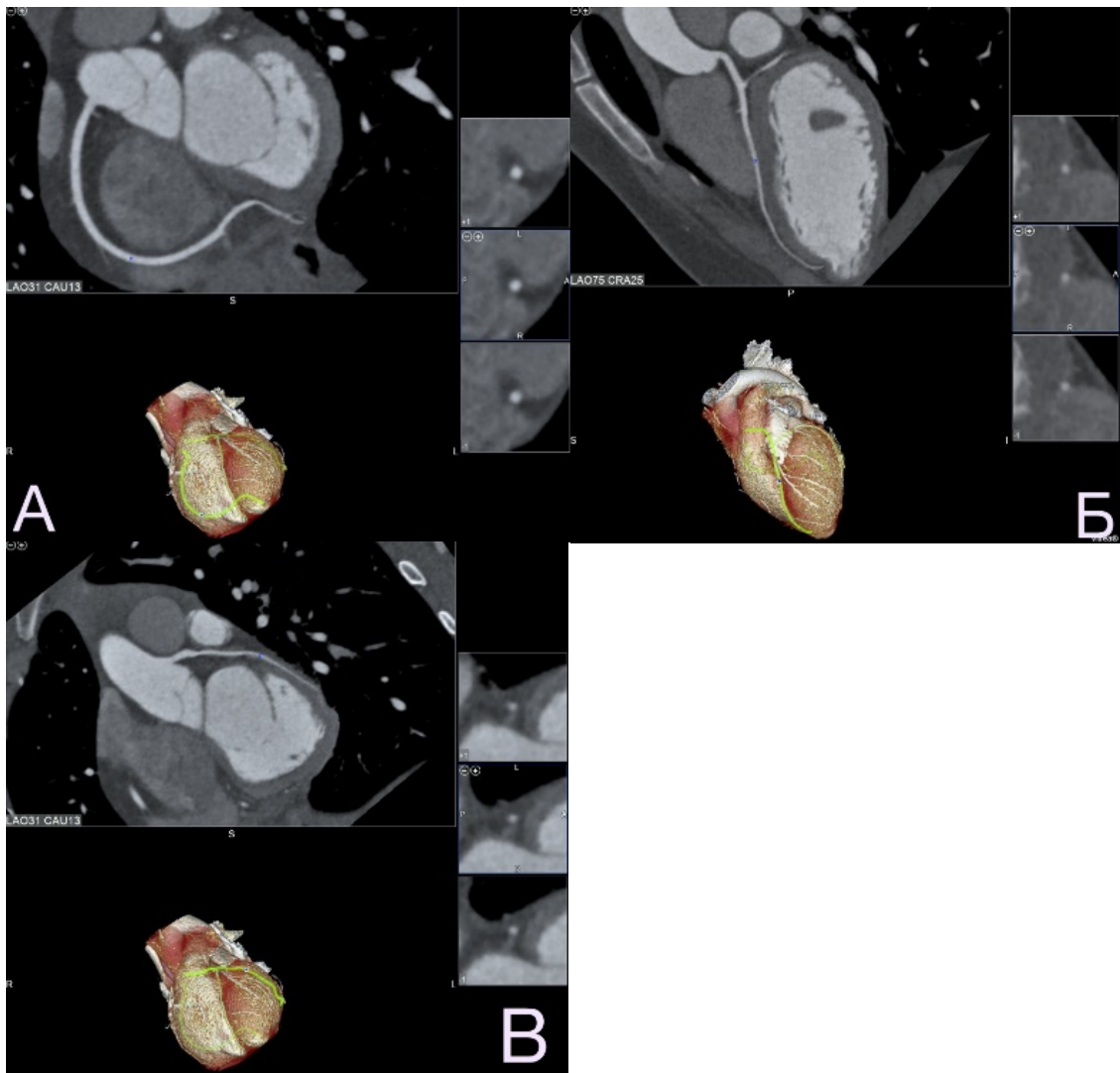


Рисунок 8. МСКТ-коронарограммы венечных артерий пациентки 3., 42 л. Категория CAD-RADS 0 – стенозов и бляшек нет. Правая коронарная артерия (А), передняя межжелудочковая артерия (Б), огибающая артерия (В).

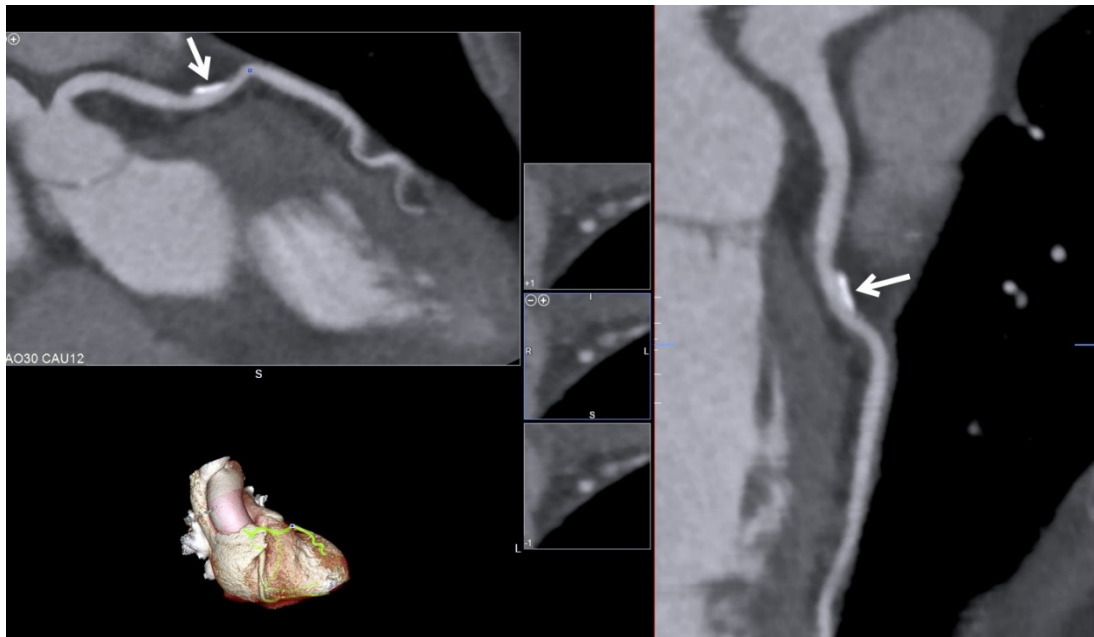


Рисунок 9. МСКТ-коронарограмма передней межжелудочковой артерии б-й Т., 69 л. Категория CAD-RADS 1. Единичная бляшка без стеноза (стрелка).

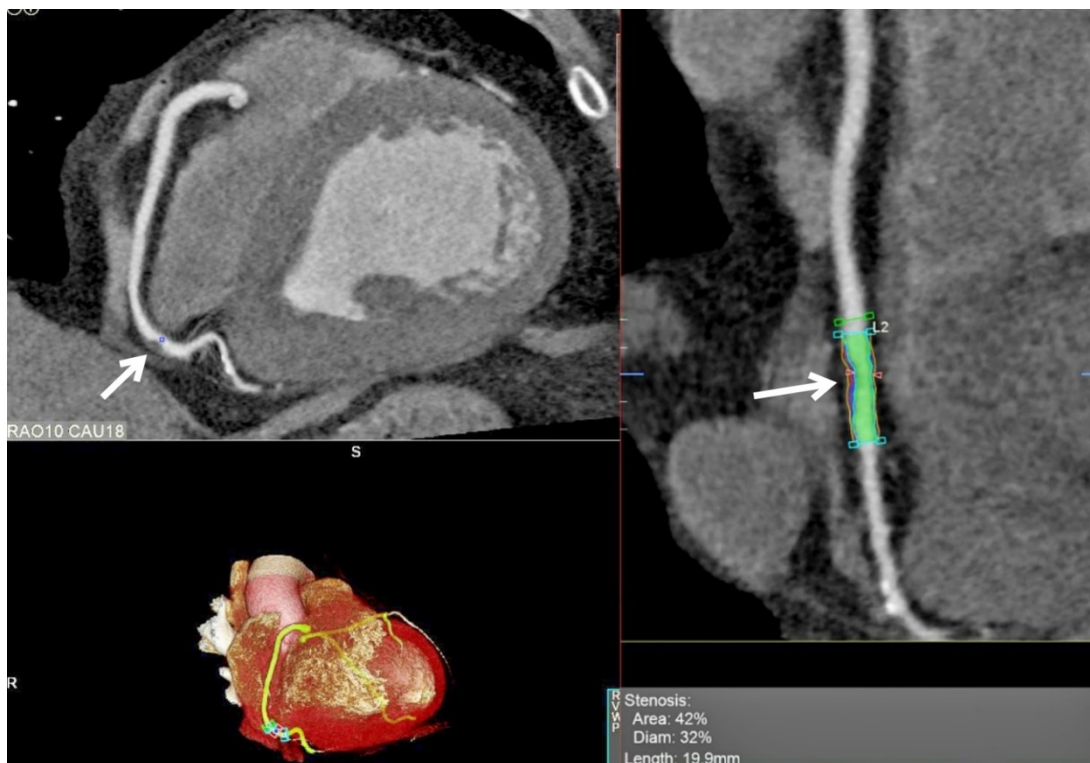


Рисунок 10. МСКТ-коронарограмма правой коронарной артерии б-го К., 60 л. Категория CAD-RADS 2. Начальный стеноз (42%) (стрелка).

У 36 больных (27,5 %) определена категория CAD-RADS 3 (рис. 11), в 25 случаях (19,1 %) изменения коронарных артерий соответствовали категориям CAD-RADS 4А, Б и CAD-RADS 5 (рис. 12, 13).

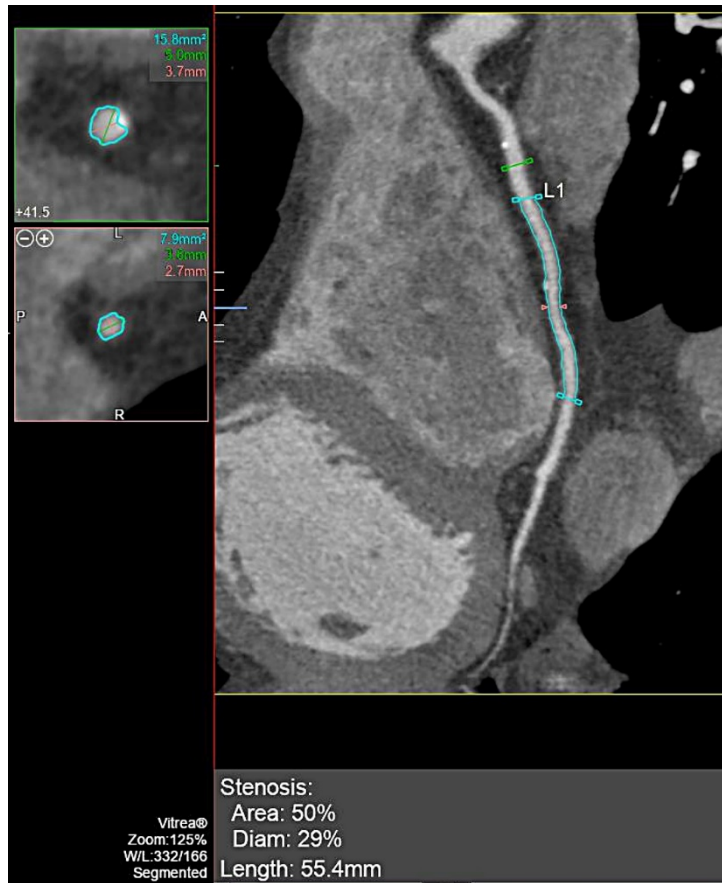


Рисунок 11. МСКТ-коронарограмма правой коронарной артерии б-го Р., 69 л. Категория CAD-RADS 3. Стеноз (50 %) в среднем сегменте артерии.

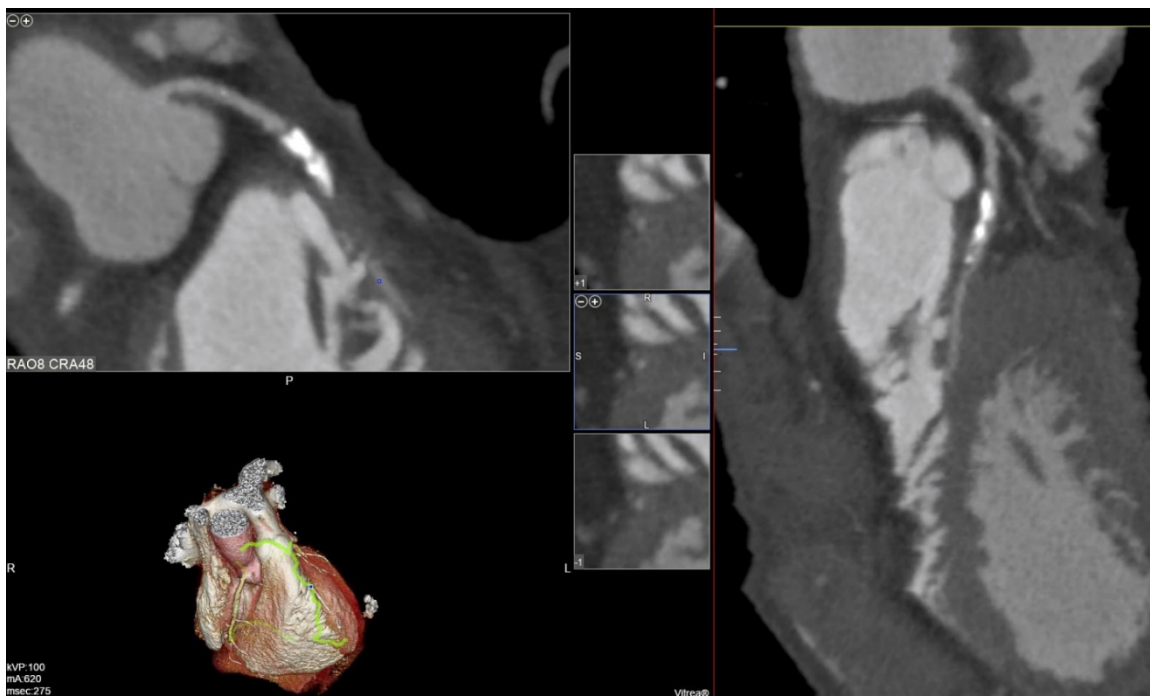


Рисунок 12. МСКТ-коронарограмма передней межжелудочковой артерии б-го К., 70 л. Категория CAD-RADS 4A. Стеноз (>70 %) в среднем сегменте артерии, выраженные атеросклеротические бляшки. КИ – 762 ед.



Рисунок 13. МСКТ-коронарограмма передней межжелудочковой артерии 6-го А., 70 л. Категория CAD-RADS 5. Окклюзия сегментарная (стрелки) в среднем сегменте артерии, хорошее контрастирование постокклюзионных отделов артерии.

Такие поражения, преимущественно, встретились в группах ИБС – 14 (10,7%) и группе стентов у 10 пациентов (7,6%). В этих ситуациях рекомендовали выполнение инвазивной коронарографии или функциональных тестов для определения дальнейшей тактики лечения.

3.2 Сравнительная оценка состояния коронарных артерий по результатам 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии

При оценке диагностических возможностей (чувствительность, специфичность и точность) 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии были использованы данные 32 пациентов из групп 1, 2 и 3.

Было изучено 474 сегмента в 96 венечных артериях. Из них после исключения 20 сегментов малого калибра (<2,0 мм) осталось 354 сегмента. Среди 354 сегментов коронарных артерий для окончательного анализа были пригодны 348 (98,3%), 6 сегментов из-за артефактов от колебания артерий или выраженного кальциноза стенок артерии были исключены. Непораженными оказались 289 сегмент, 59 сегментов имели стенозы разной степени выраженности или окклюзию.

Результаты сопоставления результатов данных МСКТ коронарных артерий и инвазивной коронароангиографии у 32 пациентов при расчете на количество сосудов приведены в таблице 12.

Таблица 12. Результаты оценки степени стенозирования коронарных артерий при разных методах визуализации у 32 пациентов (348 сегментов)

| Характеристика | КАГ | МСКТ |
|---------------------------------------|------------|------------|
| | N (%) | N (%) |
| Стеноз отсутствует/минимальный | 291(83,6%) | 292(83,9%) |
| Стенозы (от начального до умеренного) | 35 (10,1%) | 33 (9,5%) |
| Выраженный стеноз (70-99%) | 14 (4,0%) | 16 (4,6%) |
| Окклюзия | 8(2,3%) | 7(2,0%) |
| Всего | 348 (100%) | 348 (100%) |

Сокращения: КАГ – коронароангиография, МСКТ – мультиспиральная КТ-коронарография

Как видно из таблицы 12, по данным МСКТ-коронарографии несколько чаще выявлялись гемодинамически значимые стенозы - в 16 случаях (4,6 %), тогда как по результатам КАГ – 14 случаев (4,0 %). В то же время данные КАГ чаще свидетельствовали о начальных или умеренных стенозах в сосудах – 35 случаев (10,1 %), хотя МСКТ-коронарография показала несколько меньшую долю таких случаев – 33 (9,5%). При поражениях такого типа МСКТ-640

более чувствительна, чем стандартная коронарография из-за особенностей получения изображения (рис. 14). Частота обнаружения окклюзий и неизмененных артерий при использовании различных методов исследования была практически одинаковой. При этом статистически достоверных межгрупповых отличий показателей отмечено не было ($p>0,005$).



Рисунок 14. Комплексное обследование венечных артерий у 6-й П., 78 лет (группа ИБС). А - МСКТ-коронарограмма передней межжелудочковой артерии. Коронарный индекс 68 ед. Агатстона. Категория CAD-RADS 2 (стеноз 29% - стрелка). Б - инвазивная коронарограмма передней межжелудочковой артерии - стеноз и кальциноз артерии не определяется (стрелка).

Статистические показатели 640-срезовой МСКТ-коронарографии у 32 пациентов групп 1-3 представлены в таблице 13.

Таблица 13. Характеристики МСКТ-640 при оценке степени стенозирования коронарных артерий (32 пациентов)

| Показатели | % |
|--------------------------|-------|
| Чувствительность | 99,2% |
| Специфичность | 99,7% |
| Диагностическая точность | 96,1% |

Как видно из таблицы 13, 640-срезовая МСКТ-коронарография имеет высокие показатели чувствительности и специфичности (99,2% и 99,7%), но чуть более низкую точность (96,1%).

При анализе данных МСКТ-640 было выявлено, что кальциевый индекс у обследованных пациентов в этой подгруппе варьировал от 68 до 1878 ед. Агатстона ($M_{cp}=645,6\pm 260,5$). Несовпадение данных МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии наблюдались у больных с кальциевым индексом более 700 ед. Агатстона.

В 11 наблюдениях (8,4%) во всей когорте основного исследования у пациентов с нарушениями ритма сердечной деятельности (фибрилляция предсердий, мерцательная аритмия) при проведении МСКТ-коронарографии были получены изображения коронарного русла хорошего и удовлетворительного качества.

3.3 Результаты корреляционного анализа данных, полученных с помощью различных методов исследования состояния коронарных артерий

Изучение степени стенозирования коронарных артерий по данным МСКТ-коронарографии и КАГ с помощью корреляционного анализа свидетельствовало о наличии прямых значимых ($p < 0,001$) коэффициентов корреляции высокой силы. Результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14. Взаимосвязь результатов МСКТ-коронарографии и КАГ в выявлении стенозов в коронарных артериях

| Показатели | Коэффициент корреляции Спирмена, R | p |
|--|------------------------------------|-------|
| Частота выявления стенозов (%) | 0,93 | <0,05 |
| Частота выявления выраженных стенозов (%) | 0,91 | 0,023 |
| Частота выявления стенозов различных локализаций | | |
| ПМЖА (%) | 0,95 | 0,011 |
| ПКА (%) | 0,92 | <0,01 |
| ОА (%) | 0,91 | 0,042 |

Сокращения: ПМЖА – передняя межжелудочковая артерия, ОА – огибающая артерия, ПКА – правая коронарная артерия

Как видно из таблицы 14, взаимосвязь результатов двух методов по определению стеноза коронарных артерий составила 0,93, по частоте выявления выраженных стенозов (70-99%) – 0,91.

На рисунках 15, 16 представлены результаты корреляционного анализа данных МСКТ-коронарографии и КАГ в диагностике стенозов различной степени выраженности и градацией по степени выраженности.

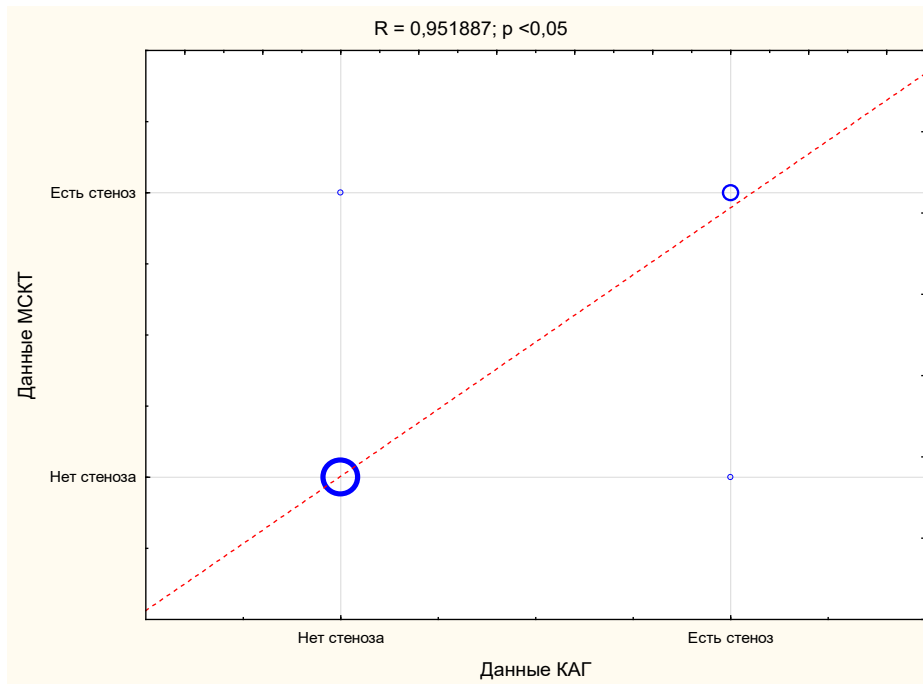


Рисунок 15. Результаты корреляционного анализа данных КАГ и МСКТ-коронарографии для диагностики стеноза коронарных артерий любой выраженности.

Для передней межжелудочковой артерии значение коэффициента корреляции R составило 0,95, для огибающей артерии – 0,92, для правой коронарной артерии – 0,91.

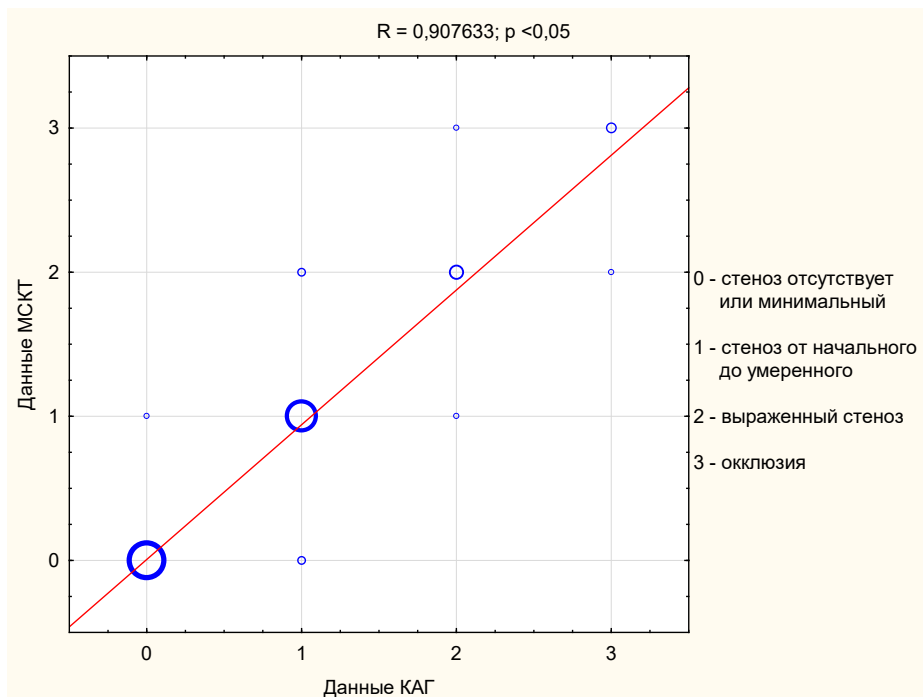


Рисунок 16. Результаты корреляционного анализа данных КАГ и МСКТ-коронарографии для диагностики стеноза коронарных артерий с градацией по степени выраженности.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую сопоставимость результатов изучения состояния коронарных артерий этими двумя методами. Значительное сходство данных по частоте выявления различных вариантов стенозов сосудов, а также наличие сильных значимых корреляций данных МСКТ-коронарографии и КАГ подтверждает диагностические возможности МСКТ-коронарографии по выявлению поражений коронарного русла и степени их выраженности.

3.4 Диагностические характеристики метода МСКТ-коронарографии

При оценке 395 коронарных артерий (1443 сегмента) у 131 пациента были рассчитаны характеристики метода МСКТ-коронарографии в отношении выявления такого признака, как наличие стеноза коронарной артерии. Результаты представлены в таблице 15.

Таблица 15. Характеристики МСКТ-640 при выявлении стеноза коронарных артерий и их сегментов

| Показатели | Пациенты (n=131) % | Коронарные артерии (n=395) % | Сегменты артерий (n=1443) % |
|------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Чувствительность | 96,2 | 97,5 | 96,4 |
| Специфичность | 83,2 | 87,4 | 85,7 |
| Точность | 94,1 | 96,1 | 94,9 |

Как видно из таблицы 15, лучшие результаты МСКТ-640 отмечены при выявлении стенозов по коронарным артериям – чувствительность составила 97,5%, точность – 96,1%.

На рисунке 17 представлена ROC-кривая диагностических характеристик метода в отношении диагностики стеноза коронарных артерий.

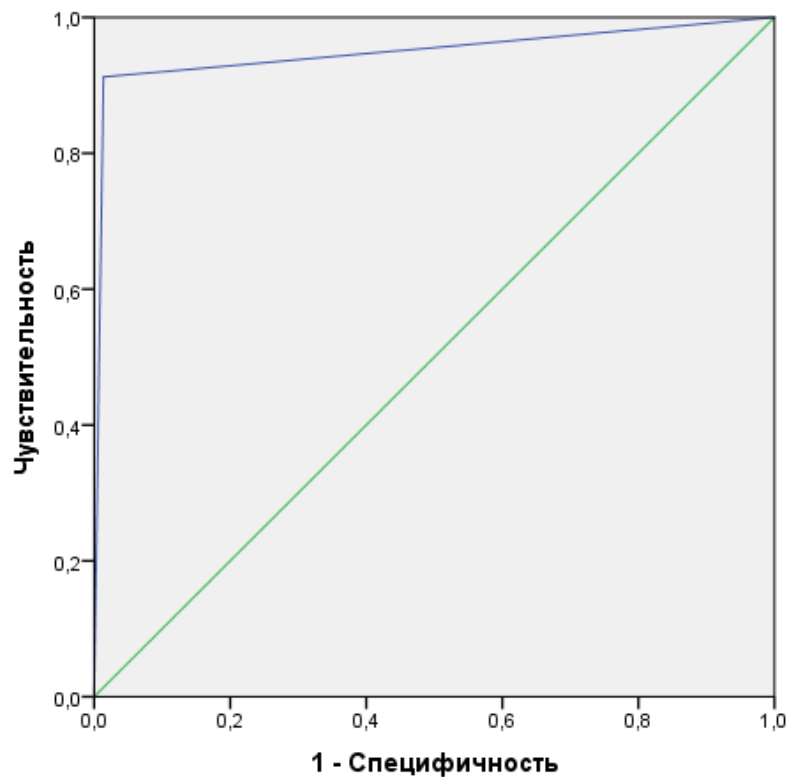


Рисунок 17. ROC-кривая, отображающая диагностическую способность МСКТ-коронарографии в диагностике стеноза коронарных артерий (в качестве «золотого стандарта» взята КАГ). Площадь под кривой – AUC [95% ДИ] = 0,949 [0,906-0,993].

Полученные данные свидетельствуют о том, что МСКТ-640 позволяет оценивать диаметр просвета сосудов и установленных в них стентов, степень выраженности стеноза. Эти характеристики метода позволяют осуществлять динамическое наблюдение за больными со стенотическими поражениями коронарных артерий без использования инвазивных методов диагностики.

Неинвазивная 640-срезовая МСКТ-коронарография может использоваться в диагностике ранних послеоперационных осложнений после стентирования коронарных артерий при наличии вариантов анатомии коронарных артерий, что демонстрирует следующее наблюдение.

В клинику Первого МГМУ им.И.М.Сеченова обратился пациент К., 76 лет, с жалобами на давящие боли за грудиной с иррадиацией в межлопаточную область при ходьбе на 20-30 метров, периодические приступы давящих болей в покое. Длительно страдает гипертонической болезнью. В 2001 году перенес инфаркт миокарда с Q-зубцом нижней стенки левого желудочка. Принимал эгилек, аспирин. В июле 2016 года был госпитализирован в больницу по месту жительства с нестабильной стенокардией. При коронарографии выявлена окклюзия в устье передней межжелудочковой артерии, окклюзия огибающей артерии в среднем отделе; правую коронарную артерию не удалось катетеризировать (рис. 18), отмечается выраженный кальциноз правой коронарной артерии. Проводилась медикаментозная терапия.

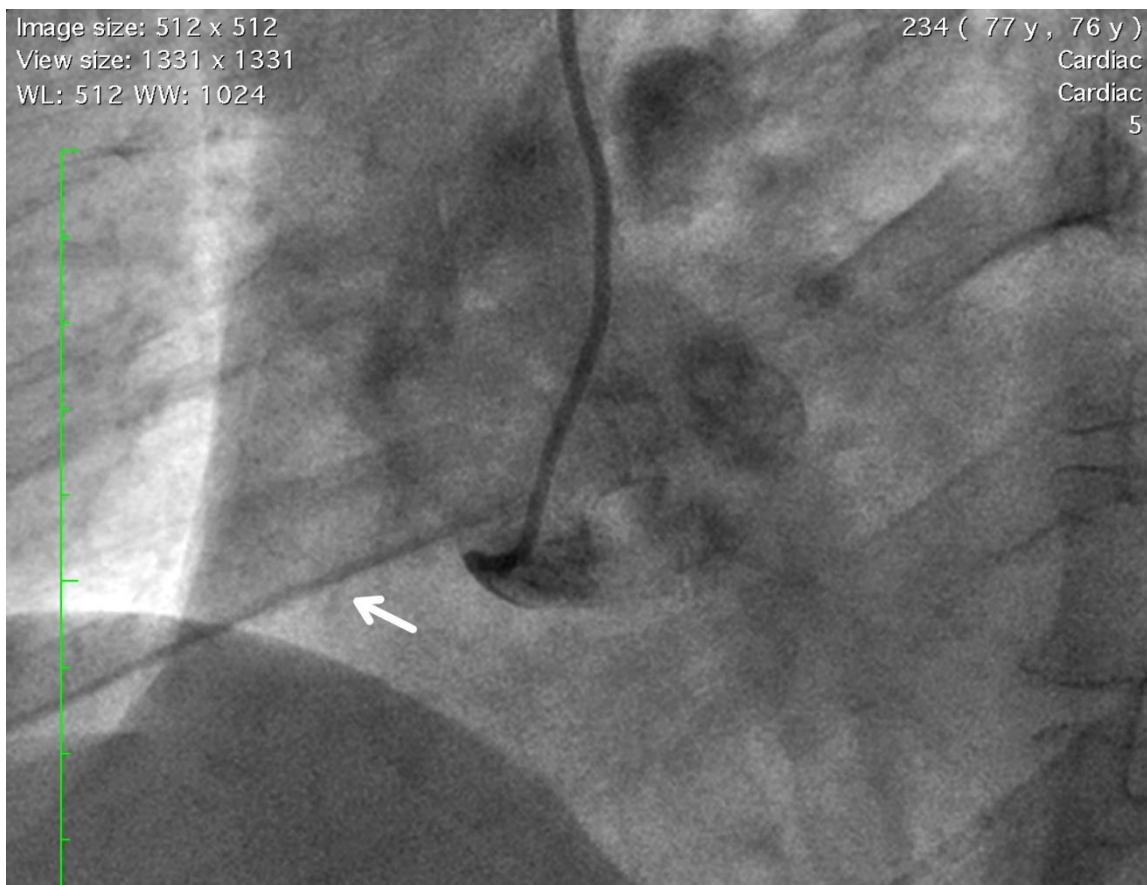


Рисунок 18. Аортография из правого синуса Вальсальвы: устье правой коронарной артерии не контрастируется, отмечается обызвествление стенок артерии (стрелка).

После выписки на фоне терапии (тромбоасс, лопирел, моночинкве 40 мг утром, беталок-ЗОК 200 мг в сутки, амлодипин 5 мг днем, берлиприл 20 мг в сутки, индапамид, аторвастатин 40 мг в сутки) сохранялись приступы стенокардии при небольших физических нагрузках, периодически приступы стенокардии в покое. В августе 2016 года

развился тяжелый ангинозный приступ, был госпитализирован в больницу по м/ж, диагностирован повторный инфаркт миокарда нижней стенки левого желудочка с Q-зубцом, проводилась тромболитическая терапия пулолазой. После выписки принимал постоянно конкур 5 мг, дигоксин 0,125 мг в сутки, верошпирон 100 мг, симгал 10 мг, энап 5 мг 2 раза в сутки, клопидогрель, тромбоасс. На фоне терапии сохранялись приступы стенокардии малых напряжений и покоя.

ЭКГ при поступлении: синусовый ритм, ЧСС 69 в минуту, зубец Q и отрицательные T в II, III, aVF, косонисходящая депрессия ST до 1 мм и отрицательные T в V4-V6 отведениях. Сглаженный T в I отведении. Без существенной динамики по сравнению с ЭКГ от 06.10.2016. ЭХОКГ - Заключение: размеры камер сердца не увеличены. Кальциноз фиброзного кольца аортального клапана, уплотнение фиброзного кольца митрального клапана без стенозирования отверстий. Нарушение систолической функции ЛЖ (ФВ 38%). Нарушения локальной сократимости ЛЖ: акинезия базального и среднего сегмента задней стенки левого желудочка, гипокинезия задне-перегородочного сегмента левого желудочка. Нарушение диастолической функции левого желудочка. Признаков легочной гипертензии не выявлено. Больному запланировано проведение канализации огибающей артерии с имплантацией стента.

26.10.2016 выполнена трансрадиальная реканализация, баллонная ангиопластика и стентирование огибающей артерии коронарным стентом "Калипсо" 2,5x28 мм с провизорным стентированием 2-й артерии тупого края.

Под м-а 20 мг лидокаина пунктирована правая лучевая артерия, установлен интродьюсер 6F, через него на проводнике в устье левой коронарной артерии установлен проводниковый катетер Launcher EBU 3.0 6F. При полипозиционной артериографии выявлена окклюзия среднего отдела огибающей после отхождения 2-й крупной артерии тупого края, отмечается ретроградное заполнение дистального русла правой коронарной артерии (рис. 19).

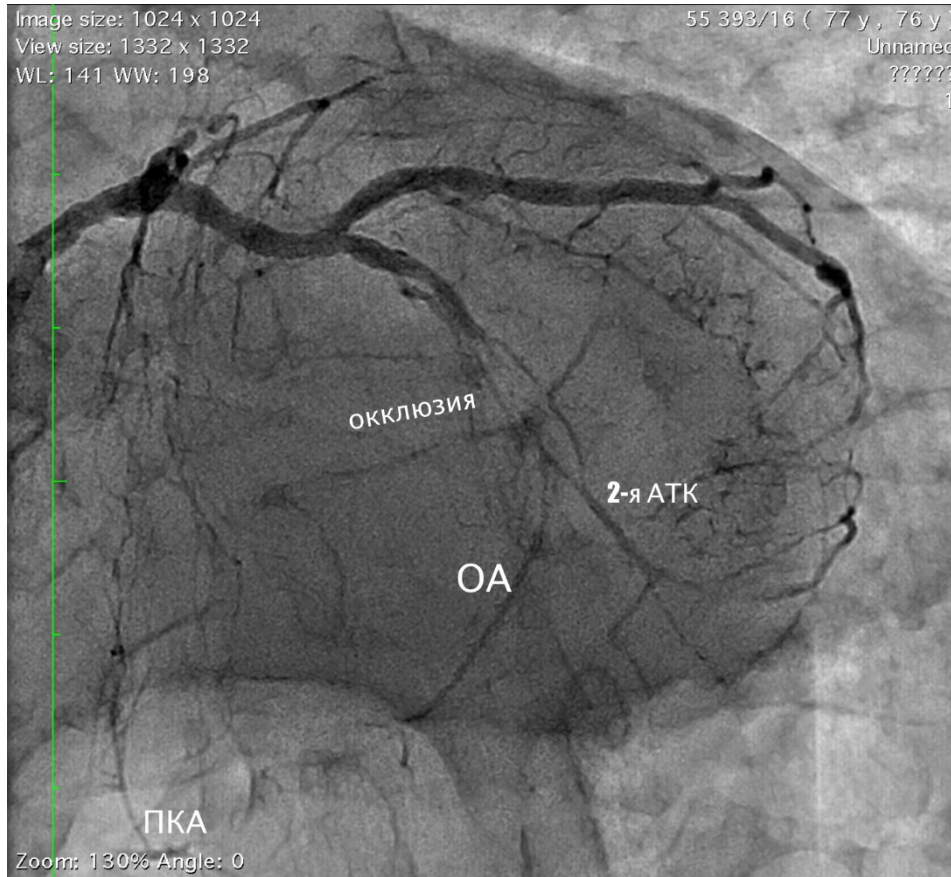


Рисунок 19. Артериография левой коронарной артерии перед ангиопластикой и стентированием. Визуализируются окклюзия передней межжелудочковой артерии в устье, окклюзия огибающей артерии в среднем отделе (окклюзия с контрастированием дистального русла (ОА и 2-й артерии тупого края (2-я АТК по коллатералям из 1-й артерии тупого края. Отмечается ретроградное заполнение дистальных отделов правой коронарной артерии (ПКА), что может свидетельствовать о выраженном стенозе артерии.

По проводниковому катетеру первым интракоронарным проводником реканализована окклюзия, проводник проведен в дистальные отделы огибающей артерии. Второй интракоронарный проводник установлен в дистальные отделы второй артерии тупого края для ее защиты. По проводнику баллонным катетером 2.0x12 мм реканализована окклюзия, при артериографии выявлены 70-80% стенозы. Баллонный катетер 2.0x12 мм установлен в зоне стенозов, выполнена серия преддилатаций стеноза под давлением до 12 атм (2.25 мм). При артериографии отмечается остаточный стеноз 40%, диссекция интимы. В место стеноза по интракоронарному проводнику проведен коронарный стент "Калипсо" 2,5x28 мм, стент имплантирован под давлением 10 атм (2.54 мм). Затем выполнена проксимальная постдилатация стента под давлением 12 атм (2.64 мм). При контрольной ангиографии кровотоков по огибающей артерии TIMI III, диссекции интимы нет, остаточного стеноза нет, имеется стеноз устья артерии тупого края 70%. Из артерии тупого края

коронарный проводник через ячею стента снова переставлен в артерию тупого края. Баллонный катетер 2.0x12 мм установлен в устье артерии тупого края, затем выполнена баллонная ангиопластика устья и проксимального отдела артерии тупого края под давлением 12 атм (2.25 мм). Коронарные проводники удалены. При контрольной ангиографии кровотоки по огибающей артерии и ее ветвям TIMI III, остаточного стеноза нет, остается неокклюзирующая диссекция проксимального отдела 2-й артерии тупого края на протяжении 8-10 мм (рис. 20). Проводниковый катетер удален из устья передней межжелудочковой артерии. Проводниковый катетер удален из устья левой коронарной артерии. Попытки катетеризации правой коронарной артерии с заменой катетеров различной кривизны не удалось. Интродьюсер удален из лучевой артерии.



Рисунок 20.

Контрольная ангиография после реканализации, стентирования огибающей артерии и провизорного стентирования 2-й артерии тупого края. Стент расположен между артериями тупого края (стент. Визуализируется увеличение калибра дистального русла огибающей артерии (ОА и 2-й артерии тупого края, в проксимальном отделе которой имеется линейная неокклюзирующая диссекция (2-я АТК. Заполняются дистальные отделы правой коронарной артерии (ПКА).

У больного 29.10.16 развился приступ ангинозных болей при небольшой нагрузке, сопровождающийся динамикой ЭКГ в виде углубления депрессии ST в V4-V6 отведениях, приступ купировался через 2 минуты после приема нитроглицерина. Тропонин Т отрицательный. В последующем неоднократно возникали боли в области сердца при небольших нагрузках, не сопровождающиеся динамикой ЭКГ. На фоне терапии (получал клексан 0,6 мл 2 раза в сутки 7 дней, конкор 5-10 мг в сутки, тромбоасс 100 мг в сутки, липримар 40 мг в сутки, зилт 75 мг в сутки, норваск 7,5 мг на ночь, кардикет 40 мг утром и 40 мг днем, оmez 20 мг на ночь, кораксан 5 мг утром, ранекса 1000 мг утром и 1000 мг вечером) ангинозные приступы прекратились, ЧСС в покое 50-60 в минуту, при ходьбе 70-85 в минуту, активизирован в пределах отделения. Сохранялись приступы болей в области сердца по ночам (около 3 часов ночи), не сопровождающиеся динамикой ЭКГ. Для определения состояния стента и коронарных артерий через 7 дней после операции 03.11.2016 проведена динамическая объемная 640-срезовая КТ-коронароангиография: выявлен атеросклероз коронарных артерий. Окклюзия передней межжелудочковой артерии в устье. Стент в огибающей артерии и 2-я артерия тупого края проходимы (рис. 21 а). Правая коронарная артерия отходит от левого коронарного синуса, диффузно обезызвлена, имеются стенозы до 50-60% среднего и дистального отделов (рис. 21 б, в). Проведена ЭГДС, исключено эрозивно-язвенное поражение пищевода и желудка, как возможная причина болей по ночам. На фоне добавления к терапии сероквеля на ночь 12,5 мг боли в области сердца в ночное время прекратились (вероятно, ночные боли носили психогенный характер). На фоне терапии АД 110-120/70-80 мм. рт.ст., ЧСС 50-70 в минуту. Больной в стабильном состоянии выписывается под наблюдение кардиолога по месту жительства.

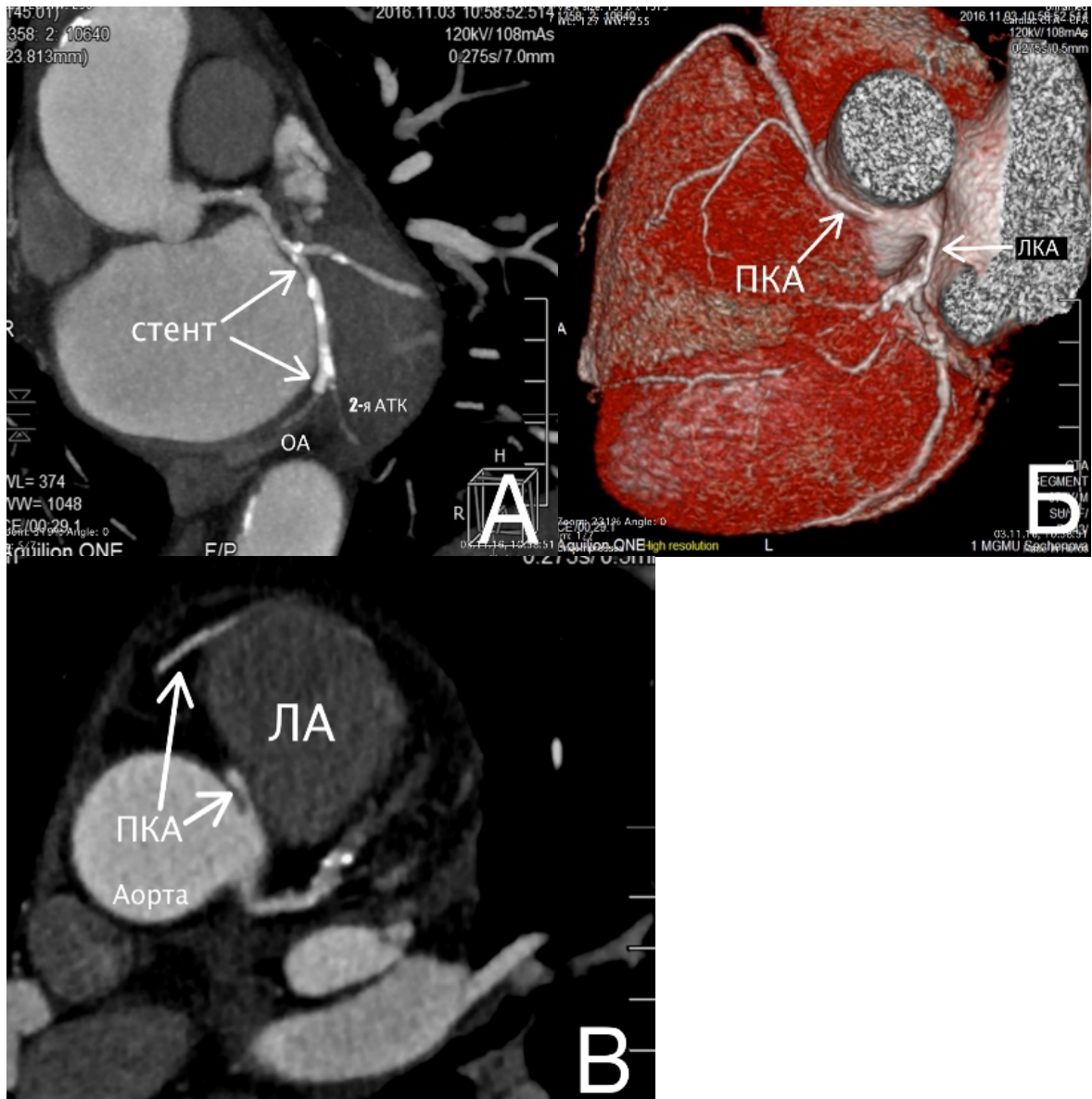


Рисунок 21. 640-срезовая КТ-коронарография на 7-е сутки после стентирования огибающей артерии: А – мультипланарная реконструкция, хорошо определяется стент в огибающей артерии (стрелки), контрастируются дистальные отделы огибающей артерии после стента (ОА) и артерия тупого края (2-я АТК); Б – 3D-реконструкция, четко визуализируется правая коронарная артерия (ПКА, отходящая от левого коронарного синуса, и ствол левой коронарной артерии (ЛКА). В - На аксиальном срезе хорошо видно устье правой коронарной артерии, отходящей из левого синуса Вальсальвы. Артерия проходит между аортой (аорта и лёгочной артерией (ЛА), ход артерии указан стрелками.

Данное наблюдение показало, что применение 640-срезовой КТ-коронарографии в раннем периоде после реканализации и стентирования

коронарной артерии с баллонной ангиопластикой отходящей из-под стента крупной сегментарной артерии при подозрении на тромбоз оперированных коронарных артерий позволило избежать небезопасной инвазивной КАГ, выявить ранее недиагностированную аномалию отхождения коронарных артерий. В нашем наблюдении имелся не типичный ход правой коронарной артерии между аортой и легочной артерией (рис. 21 в).

Всего в основной группе из 131 пациентов аномалии отхождения коронарных артерий выявлены в 2 наблюдениях (1,53%). Во втором случае имелось отхождение огибающей артерии от правой коронарной артерии.

Использование МСКТ-коронарографии позволяет выявить варианты аномального отхождения венечных артерий (что необходимо для решения вопроса о способе реваскуляризации миокарда), определить локализацию, длину и выраженность сужений коронарных сосудов.

3.5 Результаты оценки проходимости, величины просвета сосудов после имплантации стентов и биорастворимых каркасов

Для оценки проходимости коронарных сосудов у больных, которым были установлены стенты и биодеградируемые каркасы обследовано 46 пациентов с 70 стентами (группа 2) в сроки от 7 дней до 11 лет ($M_{cp}=46,3\pm 16,8$ мес). Пяти больным МСКТ-коронарография выполнялась дважды с интервалом от 4 до 19 месяцев, всего было имплантировано 9 стентов (общее число стентов составило 79).

Распределение 79 стентов и каркасов по сегментам коронарных артерий представлено в таблице 16.

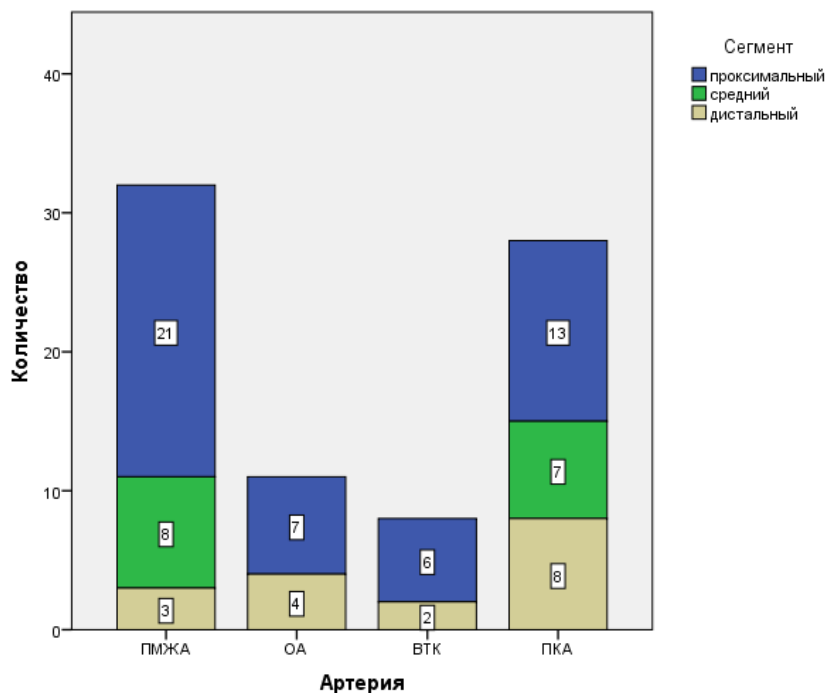
Таблица 16. Локализация 79 имплантированных стентов/каркасов по сегментам коронарных артерий

| Коронарная артерия (п - число стентов) Сегмент | ПМЖА | ОА | ВТК | ПКА | Итого (79) |
|---|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| проксимальный | 21(26,6%) | 7(8,9%) | 6(7,6%) | 13(16,4%) | 47(59,5%) |
| средний | 8(10,1%) | - | - | 7(8,9%) | 15(19,0%) |
| дистальный | 3(3,8%) | 4(5,1%) | 2(2,5%) | 8(10,1%) | 17(21,5%) |
| Всего | 32 (40,5%) | 11(13,9%) | 8(10,1%) | 28(35,4%) | 79(100,0%) |

Сокращения: ПМЖА – передняя межжелудочковая артерия, ОА – огибающая артерия, ВТК - ветвь тупого края, ПКА – правая коронарная артерия

Как видно из таблицы 16, большинство стентов локализовалось в проксимальном сегменте коронарных артерий (59,5%), практически поровну (19,0% и 21,5%) в среднем и дистальном сегментах.

Распределение 79 имплантированных стентов по локализации в абсолютных величинах представлено на рисунке 22.



Рисунок

22.

Распределение 79 имплантированных стентов по локализации в коронарной артерии и ее сегменту – абсолютные величины.

Также нами был выявлен ряд различий характеристик просвета артерий в разные сроки после имплантации стентов и каркасов, что представлено на рисунках 23-26.

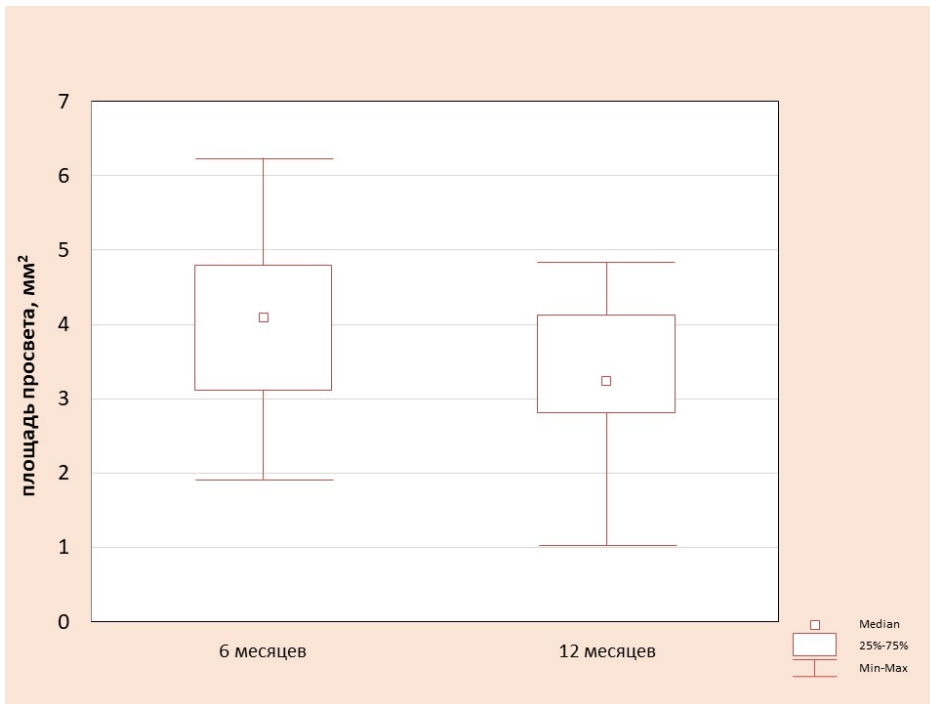


Рисунок 23. Минимальная площадь просвета коронарной артерии в динамике.

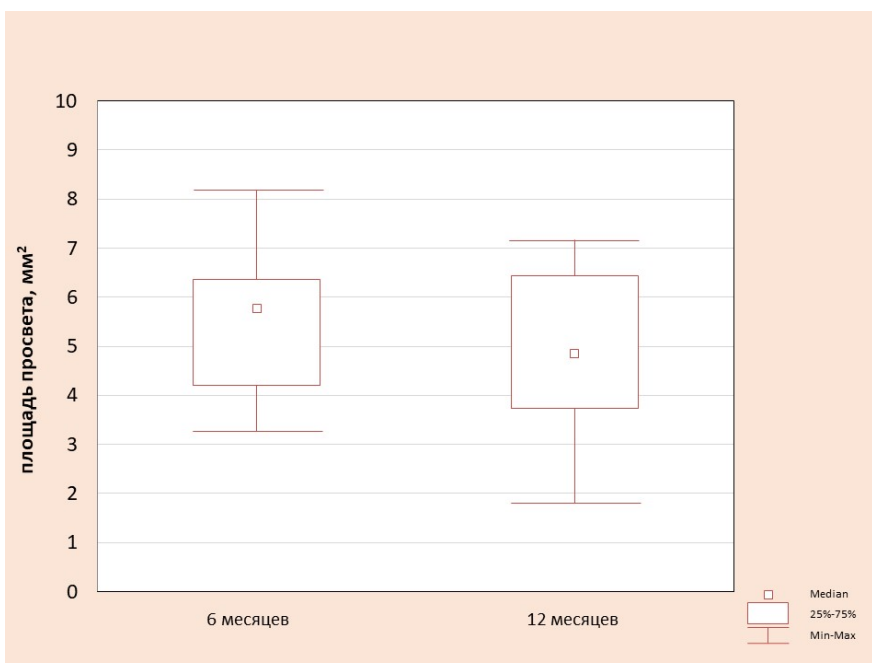


Рисунок 24. Изменения площади просвета артерии в динамике.

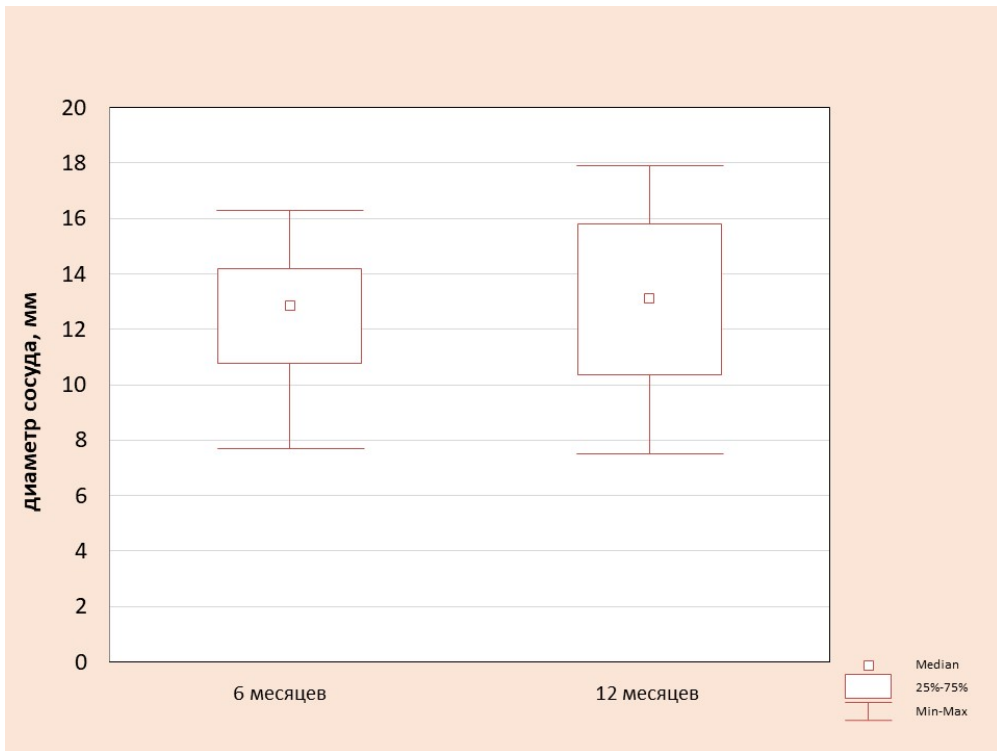


Рисунок 25. Изменения диаметра артерии в динамике.

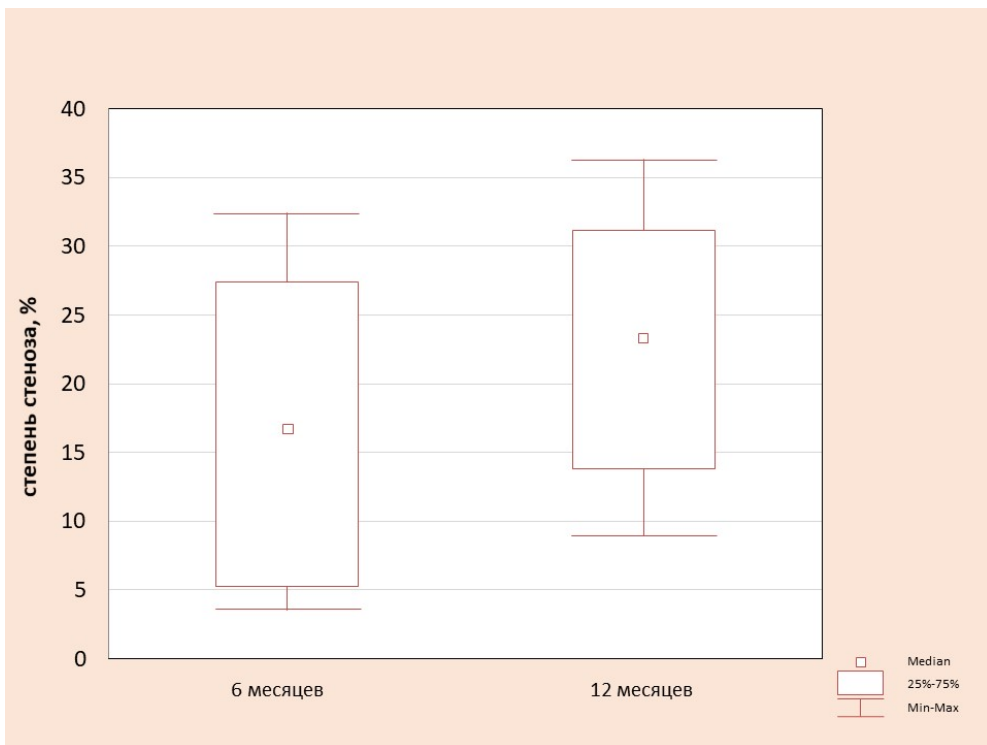


Рисунок 26. Динамика степени стеноза коронарной артерии.

Значение показателя минимального просвета сосуда через 12 месяцев были достоверно ниже ($p < 0,05$), чем через 6 мес. Также отмечена достоверная отрицательная динамика показателей среднего просвета сосуда и статистически незначимое увеличение ($p > 0,05$) показателя степени стеноза с 16,7 до 23,4 % (рис. 27).

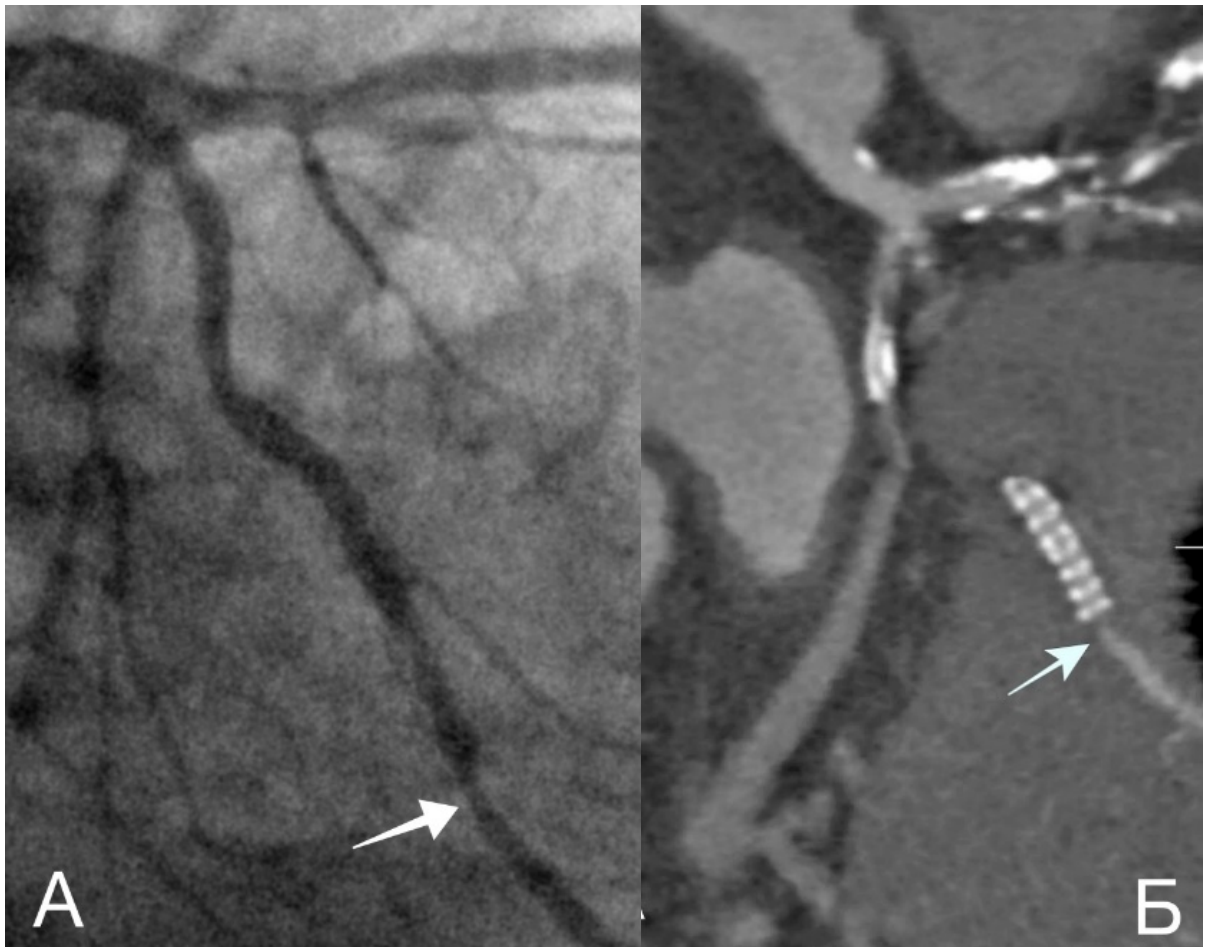


Рисунок 27. Стентирование артерии тупого края у больного К., 79 л. А – коронарограмма через 4 года после имплантации стента в артерию тупого края, стеноз 40% после дистального края стента (стрелка). Б – МСКТ-коронарография через 35 месяцев после предыдущей коронарографии. Стент в артерии тупого края проходим, степень стеноза увеличилась (стрелка).

Следующее наблюдение показывает, что диагностика состояния стентированных коронарных артерий возможна в отдаленные периоды операций при диаметре имплантированного стента не менее 2,4 мм.

Пациент Б., 64 года. Диагноз: ИБС: стенокардия напряжения 3 ФК.

Под местной анестезией 200 мг лидокаина пунктирована правая бедренная артерия, установлен интродьюсер 6F. По проводнику в устье правой коронарной артерии установлен проводниковый катетер 6F JR 4. При контрольной ангиографии подтверждено наличие 80% стеноза среднего сегмента правой коронарной артерии. По проводниковому катетеру интракоронарный проводник проведен в дистальные отделы правой коронарной артерии. В зону стеноза по интракоронарному проводнику проведен коронарный стент **Xience V** длиной 28 мм, смонтированный на баллоне диаметром 3,5 мм. Выполнена прямая имплантация стента под давлением 10 атм (3,63 мм). Выполнена постдилатация проксимального отдела под давлением 12 атм (3,75 мм). Баллонный катетер удален. При контрольной ангиографии кровотоков по правой коронарной артерии TIMI III, признаков резидуального стеноза и диссекции артерии нет. Проводниковый катетер удален из устья правой коронарной артерии.

По проводнику в устье левой коронарной артерии установлен проводниковый катетер Launcher EBU 3,5 SH. При контрольной ангиографии подтверждено наличие окклюзии в среднем сегменте передней межжелудочковой артерии, 70% стеноза дистального отдела огибающей артерии. По проводниковому катетеру интракоронарный проводник проведен в дистальные отделы огибающей артерии. В зону стеноза по интракоронарному проводнику проведен коронарный стент **Xience V** длиной 15 мм, смонтированный на баллоне диаметром 3,5 мм. Выполнена прямая имплантация стента под давлением 12 атм (3,75 мм). Выполнена постдилатация под давлением 13 атм (3,80 мм). Баллонный катетер удален. При контрольной ангиографии кровотоков по огибающей артерии TIMI III, признаков резидуального стеноза и диссекции артерии нет.

По проводниковому катетеру интракоронарным проводником выполнена реканализация хронической окклюзии ПМЖА, он проведен в дистальные отделы передней межжелудочковой артерии. В место имевшейся окклюзии по интракоронарному проводнику установлен баллонный катетер Sprinter 2,25x15 мм, выполнены повторные ангиопластики под давлением 6 и 8 атм. Баллонный катетер удален. При контрольной ангиографии признаки остаточного 40% резидуального стеноза. В зону стеноза по интракоронарному проводнику проведен коронарный стент **Xience V** длиной 28 мм, смонтированный на баллоне диаметром 2,5 мм. Выполнена имплантация стента под давлением 9 атм (2,52 мм). Баллонный катетер удален.

При контрольной ангиографии имеются признаки диссекции по дистальному краю стента. Интракоронарно введено 250 мкг нитроглицерина. В место диссекции по интракоронарному проводнику проведен коронарный стент *Xience V* длиной 18 мм, смонтированный на баллоне диаметром 2,5 мм, он установлен в зоне диссекции с «перекрытием» предыдущего стента на 1-2 мм. Выполнена имплантация стента под давлением 6 атм (2,46 мм). Баллонным катетером выполнена баллонная ангиопластика зоны «перекрытия» стентов под давлением 11 атм (2,63 мм). Баллонный катетер удален. При контрольной ангиографии кровотоков по передней межжелудочковой артерии TIMI III, признаков резидуального стеноза и диссекции артерии нет. Проводниковый катетер удален из устья левой коронарной артерии.

Интродьюсер удален из правой бедренной артерии. Гемостаз с использованием ушивающего устройства *EchoSeal*. Асептическая давящая повязка на место пункции правой бедренной артерии. Аллергических реакций на контрастное вещество не отмечено. Гемодинамика в ходе операции стабильные.

Для определения состояния стентов и коронарных артерий через **35 месяцев** после их имплантации 10.06.2016 была проведена КТ-коронарография на 640-срезовом компьютерном томографе *Toshiba*.

Выявлено: Сбалансированный тип кровоснабжения миокарда. ЛКА равномерно заполняется контрастным препаратом. В среднем сегменте ПМЖА установлены два стента, они проходимы без признаков рестеноза в стенке, дистальнее артерия контрастируется без стенотических изменений (рис.28). В проксимальном отделе ОА установлен стент, кровотоков в просвете стента и непосредственно за стентом сохранен, артерия дистальнее стента имеет ровные контуры, стенотических изменений не выявлено (рис. 29). В среднем сегменте ПКА определяется стент, кровотоков в просвете стента сохранен (рис.30).

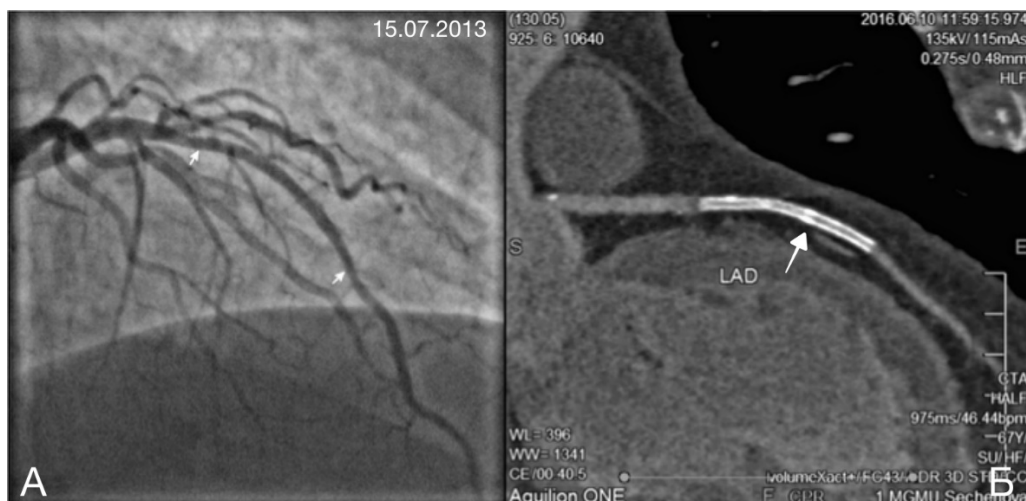


Рисунок 28. Стентирование реканализованной окклюзии передней межжелудочковой артерии двумя стентами **Xience V** 2.5x28 мм и 2.5x18 мм (диаметр просвета стентов после постдилатации 2.60 мм). А – коронарограмма ПМЖА после имплантации двух стентов (стрелки). Б – МСКТ-коронарография **через 35 месяцев** после операции. Стенты в передней межжелудочковой артерии проходимы, хорошо определяется зона «перекрытия» стентов (стрелка). Диаметр и длина стентов соответствуют ангиографическим данным.

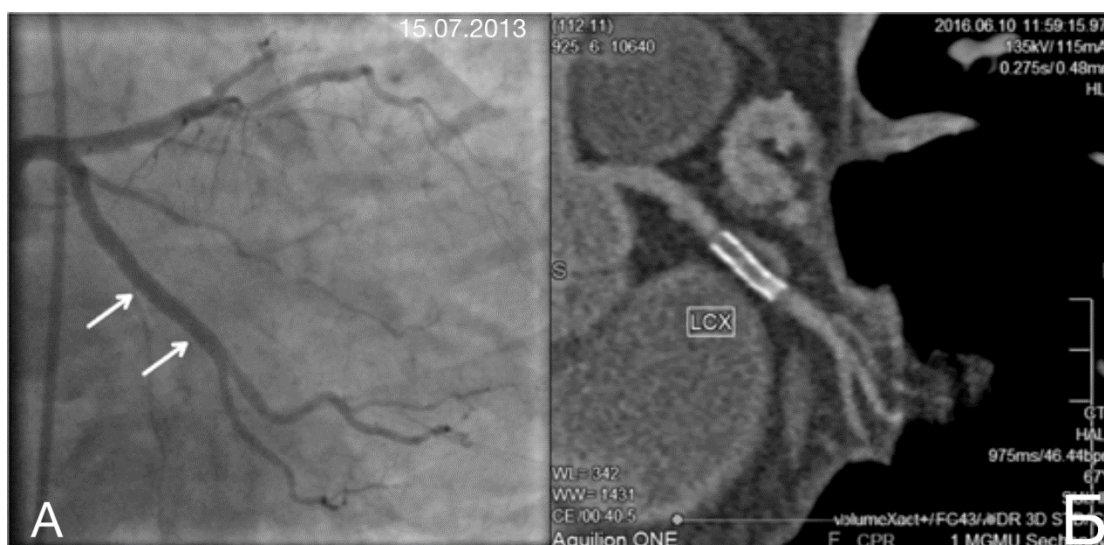


Рисунок 29.

Стентирование огибающей артерии стентом **Xience V** 3.5x15 мм (диаметр просвета стента после постдилатации 3.80 мм). А – коронарограмма огибающей артерии после имплантации стента в дистальном сегменте (стрелки). Б – МСКТ-коронарография **через 35 месяцев** после операции. Стент в огибающей артерии проходим. Диаметр и длина стента соответствуют ангиографическим данным.

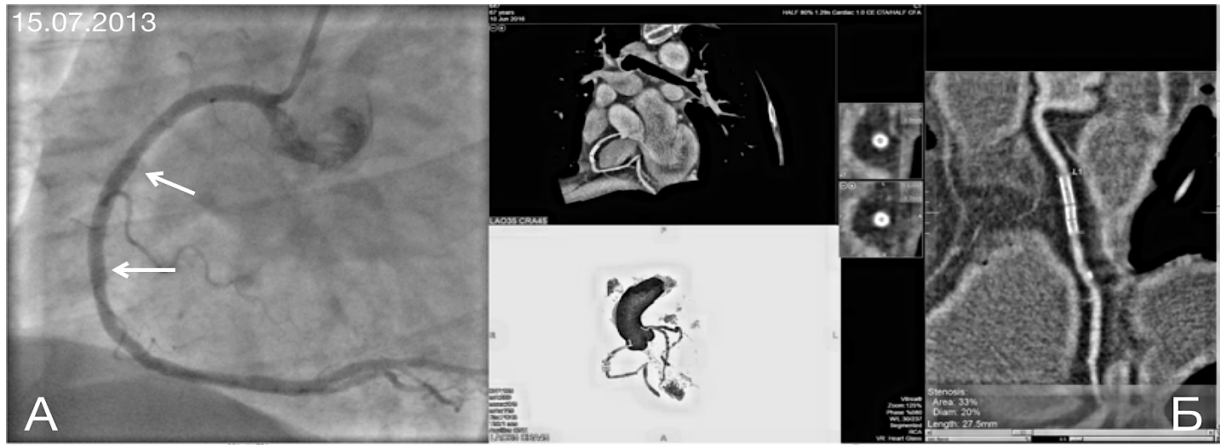


Рисунок 30. Стентирование правой коронарной артерии стентом *Xience V* 3.5x28 мм (диаметр просвета стента после постдилатации 3.75 мм). А – коронарограмма правой коронарной артерии после имплантации стента в среднем сегменте (стрелки). Б – МСКТ-коронарография через 35 месяцев после операции. Стент в правой коронарной артерии проходим. Диаметр и длина стента соответствуют ангиографическим данным.

Стент *Xience V* (Abbott Vascular) сделан из CoCr сплава 605L, является тонкостенным (толщина стенки 0,081 мм). Покрытие стента обеспечивает контролируемое выделение Эверолимуса для снижения риска рестеноза, низкую частоту повторных вмешательств и тромбозов стента. Рентгеновская визуализация стента при коронарографии из-за тонких стенок и состава сплава невысока. Стент представлен на рисунке 31.

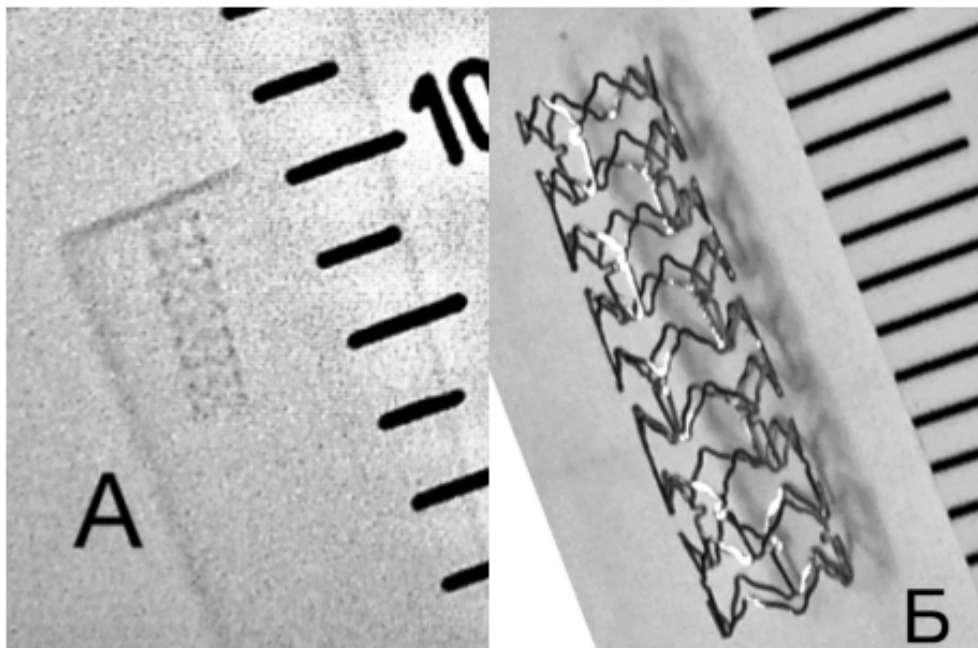


Рисунок 31. Стент *Xience V* 3.0x12 мм. А – рентгенограмма стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Б – фото стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Диаметр и длина стента соответствуют паспортным данным производителя (справа от стента измерительная лента. А – шаг 5 мм, Б – шаг 1 мм).

Пройодимость стентов или каркасов по данным МСКТ-коронарографии в различные сроки после имплантации составила 88,6%, тромбоз стентов встретился в 9 случаях (рис. 32), преимущественно, после 5-летнего срока после имплантации.

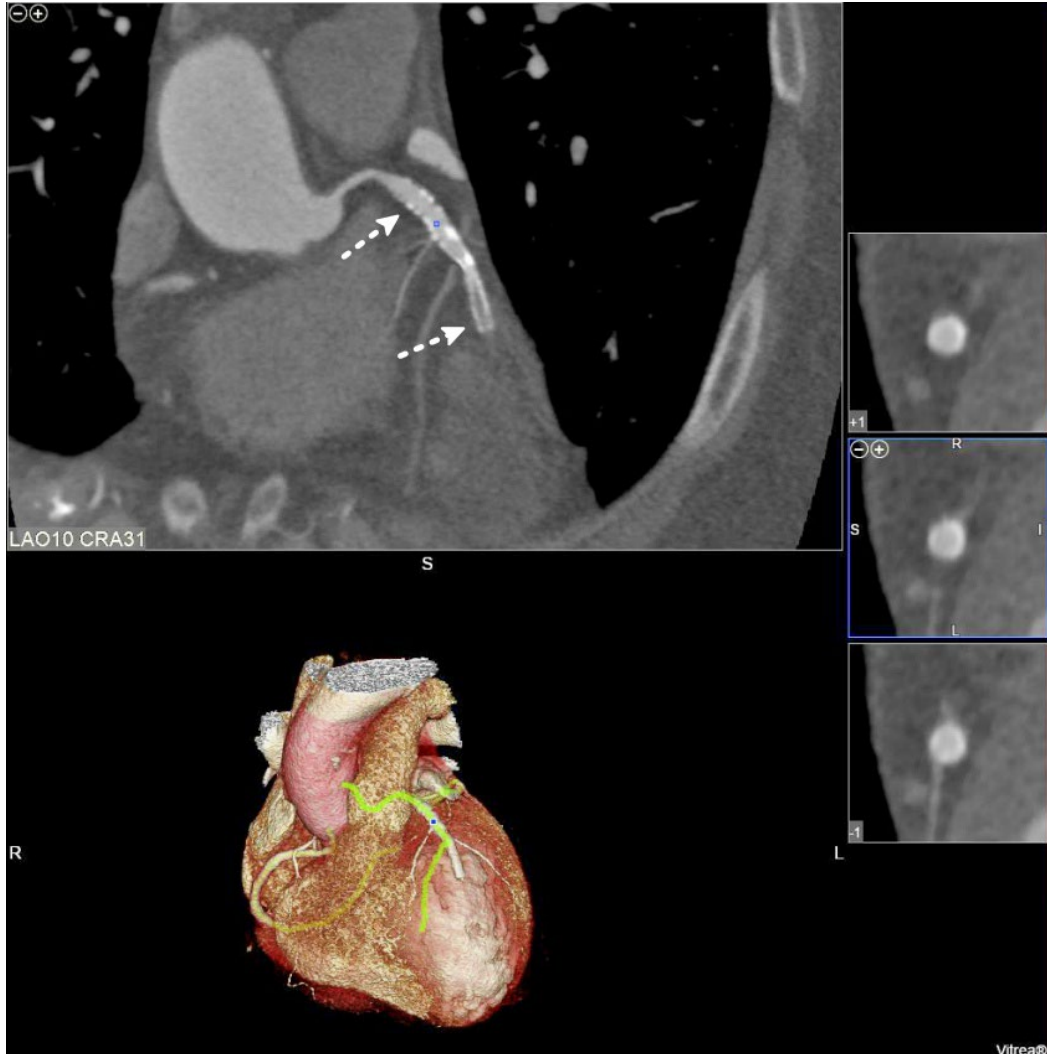


Рисунок 32. Тромбоз дистального стента передней межжелудочковой артерии у б-й С., 68 лет, через 5 лет после имплантации 2-х стентов Resolute Endeavor (стрелки). Хорошо определяется просвет стентов, сужение в зоне «перекрытия», после стентов артерия не контрастируется.

Рестенозы стентов имели место в 8 случаях (10,1%), степень рестеноза не превышала 50%. В одном наблюдении через 7 лет после тотального стентирования правой коронарной артерии стентами Cypher с толщиной стенки 0.14 мм (нержавеющая сталь 316L) возник рестеноз 80% в просвете дистального стента, в просвет стента имплантирован стент Taxus 2.5x20 мм с

толщиной стенки 0.132 мм (нержавеющая сталь 316L). При проведении МСКТ-коронарографии через 3 года стенты в правой коронарной артерии проходимы, просвет «двойного» стента из-за толщины стенки в 0,272 мм и высокой рентгеновской плотности материала стента (нержавеющая сталь) практически не виден, однако дистальнее хорошо определяется просвет первоначально имплантированного стента и задней межжелудочковой артерии, что говорит о проходимости стентов (рис.33).

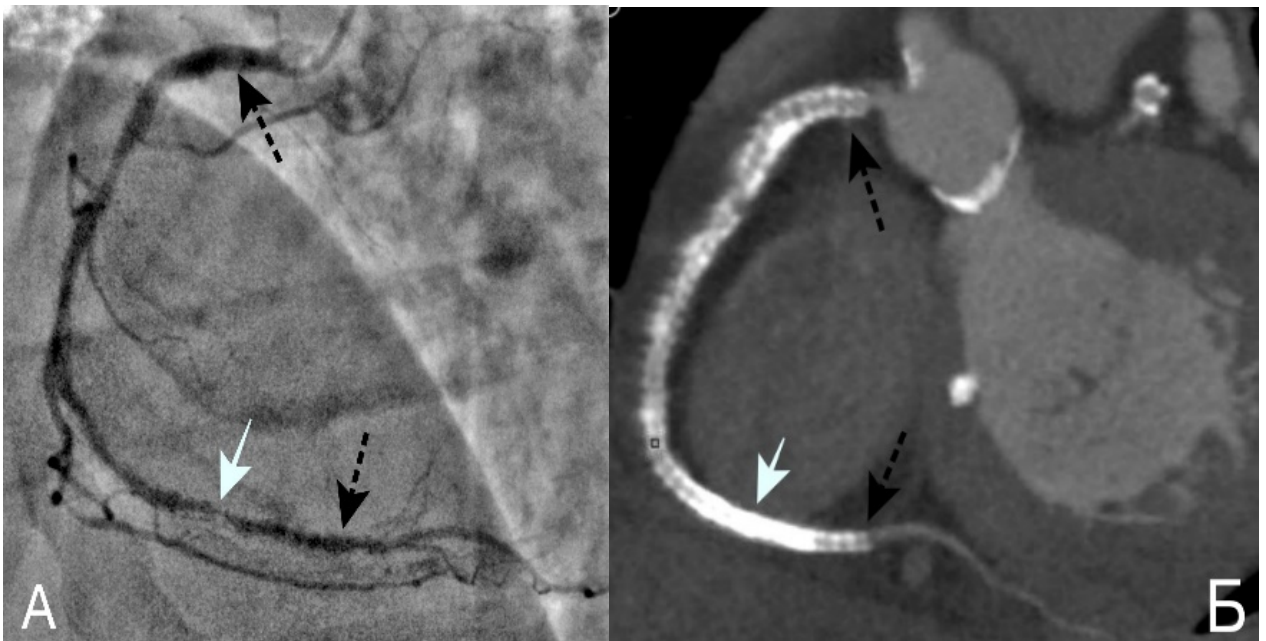


Рисунок 33. Комплексное исследование правой коронарной артерии у б-го К., 79 лет, после начальной имплантации стентов в 2006 году и контрольного исследования в 2017 году. А – 2013 год. Коронарография через 7 лет после имплантации 4-х стентов Cypher (черные стрелки), выявляется рестеноз 80% в дистальном стенте (белая стрелка). Б – 2017 год. МСКТ-коронарография правой коронарной артерии. 11 лет после начальной имплантации стентов Cypher (толщина стенки 0,14 мм). Протяженность стентов отмечена черными стрелками. В дистальном стенте дополнительно имплантирован стент Taxus 2.5x20 мм (толщина стенки 0,132 мм). Просвет «двойного стента» (белая стрелка) из-за толщины общей стенки в 0,272 мм практически не определяется. Дистальнее хорошо определяется просвет первоначально имплантированного стента и задней межжелудочковой артерии.

Стент Cypher (Cordis) является ведущим представителем первого поколения стентов с лекарственным покрытием Сиролимус, он произведен из специальной нержавеющей стали 316L, является толстостенным (толщина стенки 0,142 мм). Покрытие стента обеспечивает контролируемое выделение Сиролимуса для снижения риска рестеноза, низкую частоту повторных

вмешательств и тромбозов стента. Рентгеновская визуализация стента при коронарографии из-за толстых стенок и состава сплава хорошая. Был первым стентом с лекарственным покрытием, разрешенным для имплантации (2003), снят с производства в 2011 году. Стент представлен на рисунке 34.

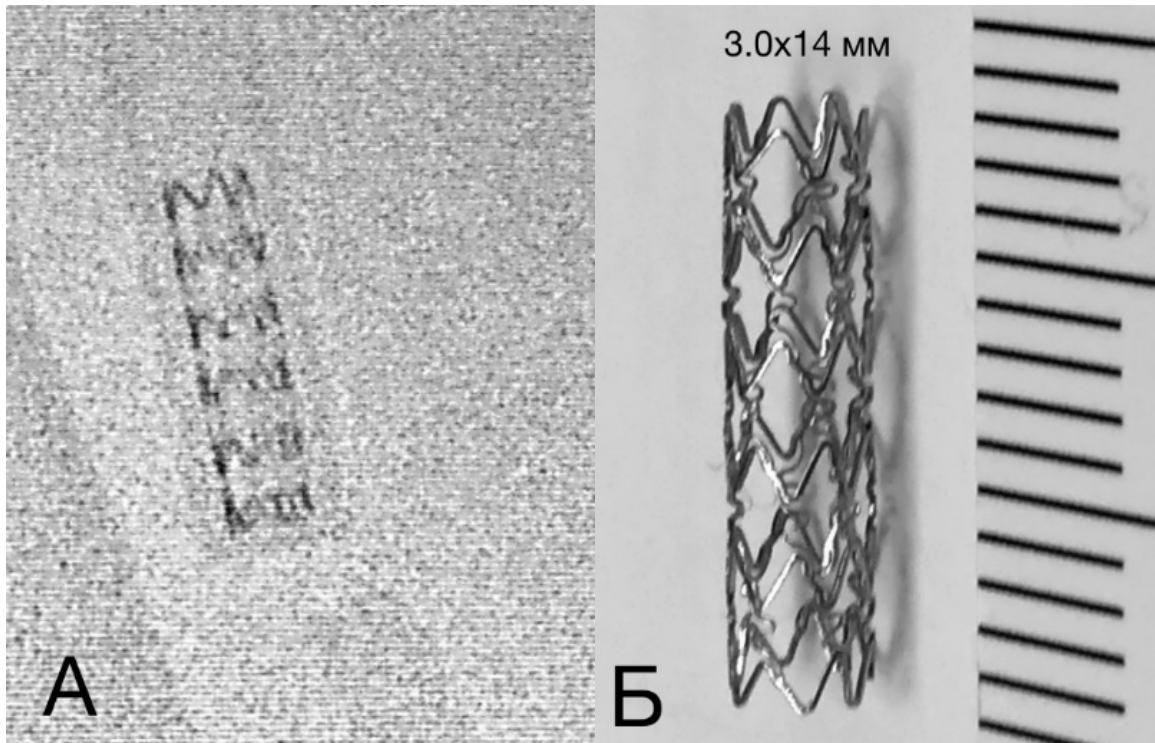


Рисунок 34. Стент **Cypher** 3.0x14 мм. А – рентгенограмма стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Б – фото стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Диаметр и длина стента соответствуют паспортным данным производителя (справа от стента измерительная лента – шаг 1 мм).

Стент Nobori (Terumo) с лекарственным покрытием биodeградируемым полимером с препаратом биолимуc А9, который нанесен аблюминально. Также относится к группе стентов из нержавеющей стали 316L, толщина стенки 0,125 мм. Технология покрытия обеспечивает эффективность и безопасность применения в течение длительного времени. По рентгеноконтрастности несколько уступает стентам Cypher. Стент представлен на рисунке 35.

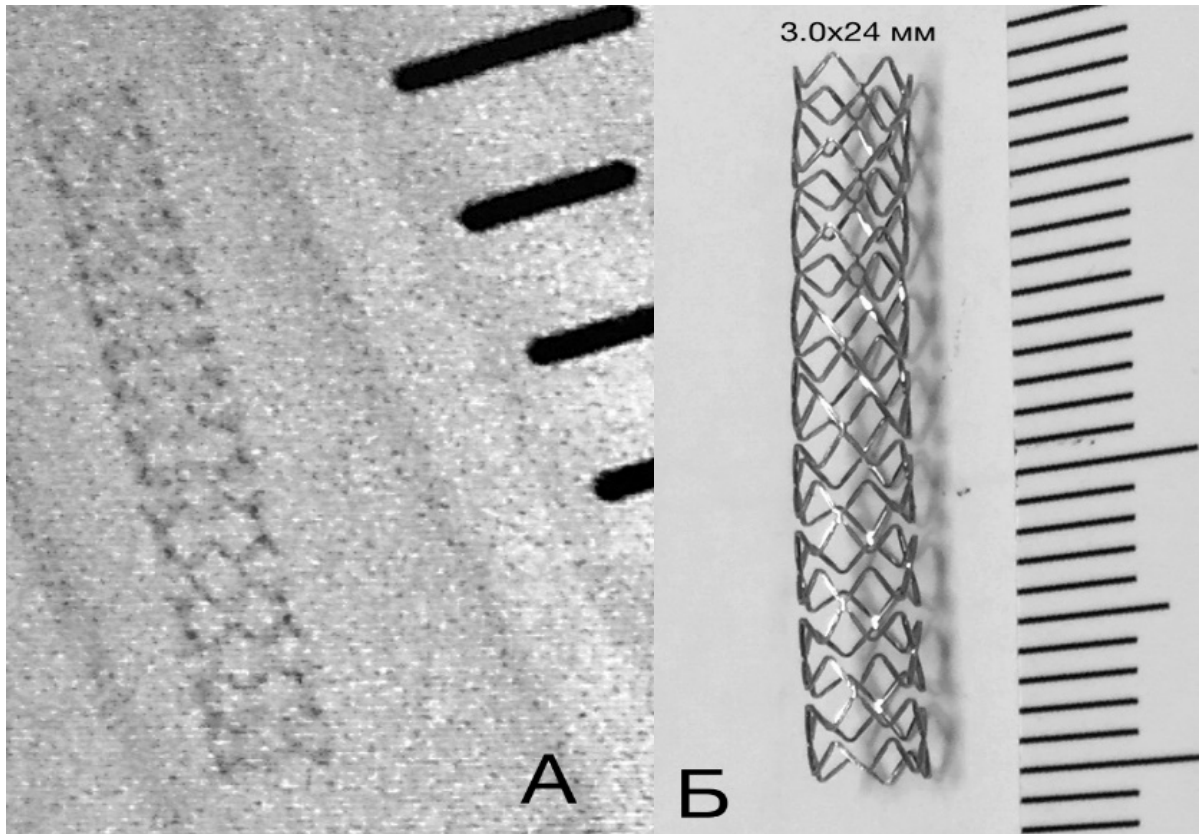


Рисунок 35. Стент **Nobori** 3.0x24 мм. А – рентгенограмма стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Б – фото стента “in vitro” после полного раскрытия стента. Диаметр и длина стента соответствуют паспортным данным производителя (справа от стента измерительная лента. А – шаг 5 мм, Б – шаг 1 мм).

Стент **Amazonia® Pax** (Minvasys) сделан из CoCr сплава 605L, является тонкостенным (толщина стенки 0,073 мм). Аблюминальное бесполимерное покрытие стента паклитакселом. Рентгеновская визуализация стента при коронарографии из-за тонких стенок и состава сплава невысока. Однако при МСКТ-коронарографии визуализация просвета стента лучше по сравнению с другими стентами даже при просвете стента менее 3.0 мм (рис.36).

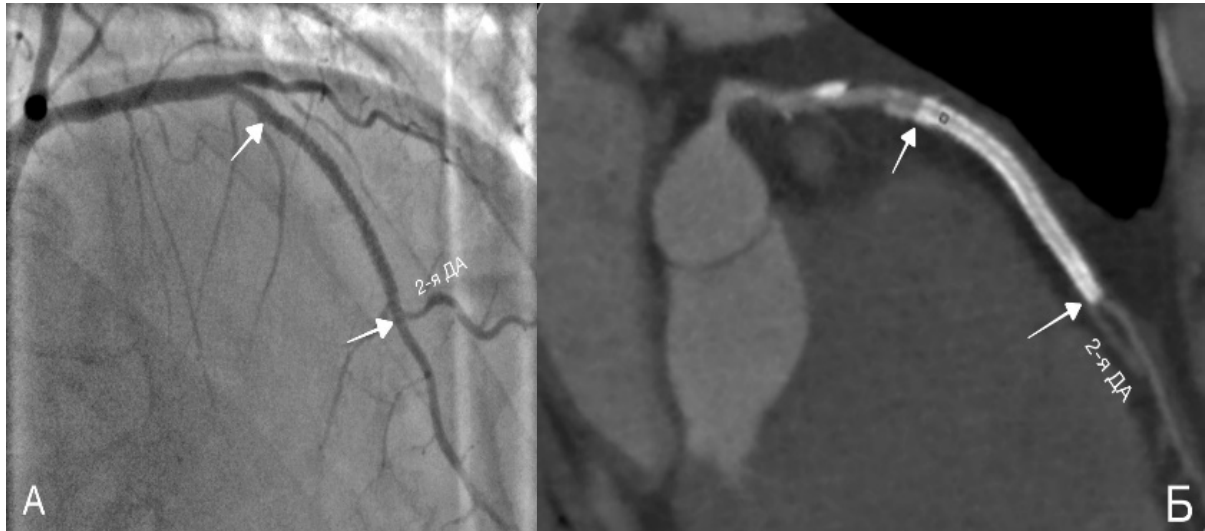


Рисунок 36. Комплексное исследование передней межжелудочковой артерии у 61-го Т., 61 г. А – коронарограмма ПМЖА после имплантации стента **CoCr Amazonia® Pax** 2.5x40 мм (дилатация до 2.60 мм) на протяжении от 1-й ДА до 2-й ДА (стрелки). Б – МСКТ- коронарограмма ПМЖА через 30,5 месяцев после имплантации стента: хорошо определяется просвет стента (стрелки) и дистальное русло.

Марку и типоразмеры имплантированных стентов и каркасов удалось точно установить в 54 случаях из 79 (68,4%). Характеристики и размеры 54 стентов/каркасов представлены в таблице 17.

Таблица 17. Технические характеристики и типоразмеры 54 имплантированных стентов и каркасов в группе 2

| Стент | Диаметр (мм) | | | | | Толщина стенки (мм) | Материал стента | Всего |
|-----------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------------|-----------------|--------------|
| | 2,25 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,5 | | | |
| Сypher | 4 | 3 | 6 | 5 | - | 0,142 | Сталь 316L | 18 |
| Taxus | - | 1 | - | - | - | 0,132 | Сталь 316L | 1 |
| Nobori | - | - | 1 | 1 | - | 0,125 | Сталь 316L | 2 |
| Driver Sprint / Endeavor Resolute | - | - | 1 | 3 | - | 0,091 | CoCr 605L | 4 |
| Xience V | - | 3 | 5 | 4 | - | 0,081 | CoCr 605L | 12 |
| Калипсо/Синус | - | 1 | 1 | - | 1 | 0,080 | CoCr 605L | 3 |
| Amazonia® Pax | - | 2 | 1 | 1 | - | 0,073 | CoCr 605L | 4 |
| Absorb | - | - | 7 | 3 | - | 0,150 | poly-L-lactide | 10 |
| Итого | 4 (7,4%) | 10 (18,5%) | 22 (40,7%) | 17 (31,5%) | 1 (1,9%) | | | 54 (100%) |

Как видно из таблицы 17, среди различных марок стентов и каркасов в 40 случаях (74,1%) диаметр просвета стентов был равен или превышал 3.0 мм. Стальные толстостенные стенты составили 38,9% (21 стент), тонкостенные кобальт-хромовые – 23 (42,6%), практически они разделились поровну. Биорастворимые каркасы имплантированы в 10 случаях (18,5%).

Качество изображения просвета стентов и каркасов на томограммах оценивали по 3-хбальной шкале. Полученные результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18. Качество изображения просвета 54 имплантированных стентов и каркасов в группе 2 в зависимости от диаметра, толщины стенок и материала

| Тип стента (N) | Диаметр стента (мм) | Качество изображения | | | Всего |
|--|---------------------|----------------------|------------|------------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Толстостенные (0,125-0,142 мм) сталь 316L (21) | 2,25 | - | 4 | - | 4 |
| | 2,50 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| | 3,00 | - | 3 | 4 | 7 |
| | 3,50 | - | 2 | 4 | 6 |
| Тонкостенные (0,073-0,091 мм) CoCr 605L (23) | 2,50 | 1 | 2 | 3 | 6 |
| | 3,00 | - | 3 | 5 | 8 |
| | 3,50 | - | 3 | 5 | 8 |
| | 4,50 | - | - | 1 | 1 |
| Absorb (0,150 мм) poly-L-lactide (10) | 3,00 | - | 2 | 5 | 7 |
| | 3,50 | - | - | 2 | 3 |
| Итого | | 2 (3,7%) | 20 (37,0%) | 32 (59,3%) | 54 (100%) |

Качество изображения просвета стентов: 1 – неудовлетворительное, 2 – удовлетворительное, 3 – хорошее.

Как видно из таблицы 18, удовлетворительное (20 стентов) и хорошее качество (32 стента) изображения стентов было в подавляющем большинстве случаев – 96,3%. Хорошее качество изображения просвета толстостенных стальных стентов было в 10 случаях (47,6%), при исследовании тонкостенных кобальт-хромовых имплантов – 60,9% (14), биорастворимых каркасов в 70%.

Следует отметить, что просвет тонкостенных стентов и каркасов в большинстве наблюдений был больше по сравнению с толстостенными стентами. Статистически достоверно ($P < 0,05$) при МСКТ-коронарографии лучше визуализируются тонкостенные стенты из кобальт-хрома и аналогичного материала, также как биорастворимые каркасы диаметром более 3.0 мм.

Удовлетворительное качество изображения просвета было при изучении имплантированных стентов диаметром от 2,25 мм (оптимизированы до просвета 2,35-2,40 мм).

Размеры стентов (диаметр и длина) после имплантации в коронарные артерии по данным МСКТ-коронарографии статистически достоверно ($P < 0,05$) не отличались от указанных в маркировке изделия (рис. 37).



Рисунок 37. МСКТ-коронарография у б-го С., 77 л, через 13 месяцев после стентирования среднего сегмента правой коронарной артерии стентом Синус 4,5x18 мм (постдилатация до 4,75 мм). На томограмме хорошо визуализируется стент диаметром 4,70 мм.

Четырем пациентам в венечные артерии были имплантированы 7 биорассасывающихся каркасов Absorb диаметром 3.0 и 3.5 мм (5 – правая коронарная артерия, 1 – передняя межжелудочковая артерия, 1 – интермедиарная артерия). В сроки от 11 до 41 месяца ($M_{cp}=26,0\pm 11,3$ мес) им была проведена МСКТ-коронарография, из них в двух случаях дважды (стенты располагались в ПМЖА, ИМА и ПКА). Таким образом, всего изучено 10 каркасов.

Absorb представляет собой биорассасывающийся стент в форме неметаллической сетчатой трубочки из полимерного материала L-полилактида толщиной стенки 0,15 мм, размещенной на доставляющем баллоне. Лекарственное вещество эверолимус. По краям каркаса для визуализации при имплантации имеются металлические метки (рис.38).

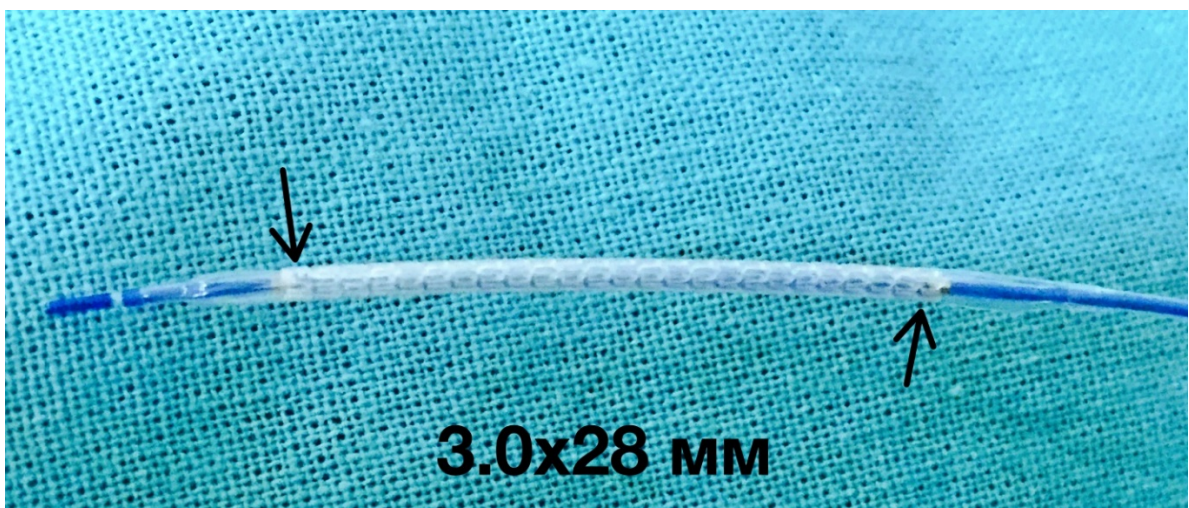


Рисунок 38. Фото каркаса Absorb 3.0x28 мм с метками по краям (стрелки) перед имплантацией.

В течение до 3-х лет стенки каркаса полностью распадаются на воду и углекислый газ, в стенке артерии остаются только рентгеноконтрастные метки. В сентябре 2017 года выпуск этого устройства прекращен из-за «отсутствия коммерческой рациональности». Тем не менее, в России к этому времени было имплантировано несколько тысяч каркасов этого типа.

По данным МСКТ-коронарографии визуализировать стенки каркасов не удалось ни в одном случае, хорошо определяется просвет в зоне имплантации каркасов, границы стента определяются по контрастным меткам на концах устройства (рис. 39).

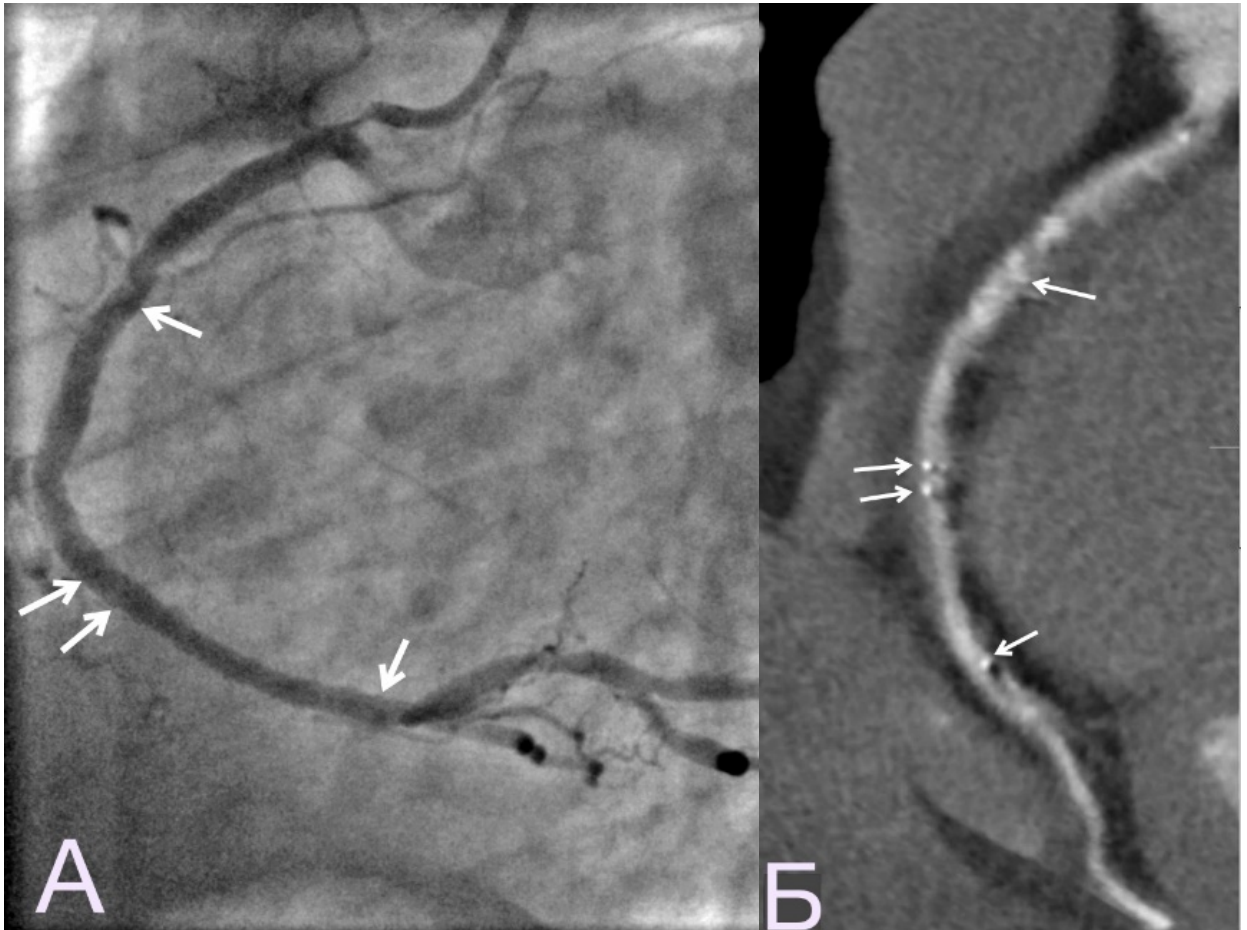


Рисунок 39. Комплексное исследование правой коронарной артерии у б-го П., 44 л. А – коронарограмма ПКА после имплантации каркасов Absorb 3.0x28 мм (дилатация до 3.28 мм) в дистальный сегмент и впритык Absorb 3.5x28 мм (дилатация до 3.87 мм) в средний сегмент. Концы каркасов содержат рентгеноконтрастные метки (стрелки). Б – МСКТ- коронарограмма ПКА через 13 месяцев после имплантации каркасов: хорошо определяется просвет артерии внутри каркасов и дистальное русло, контрастные метки отмечены стрелками. Стенки каркасов не визуализируются.

Эти метки при МСКТ-коронарографии отличаются от кальцинатов в стенках артерии своей ровной округлой формой диаметром 0.1 мм (рис. 40).

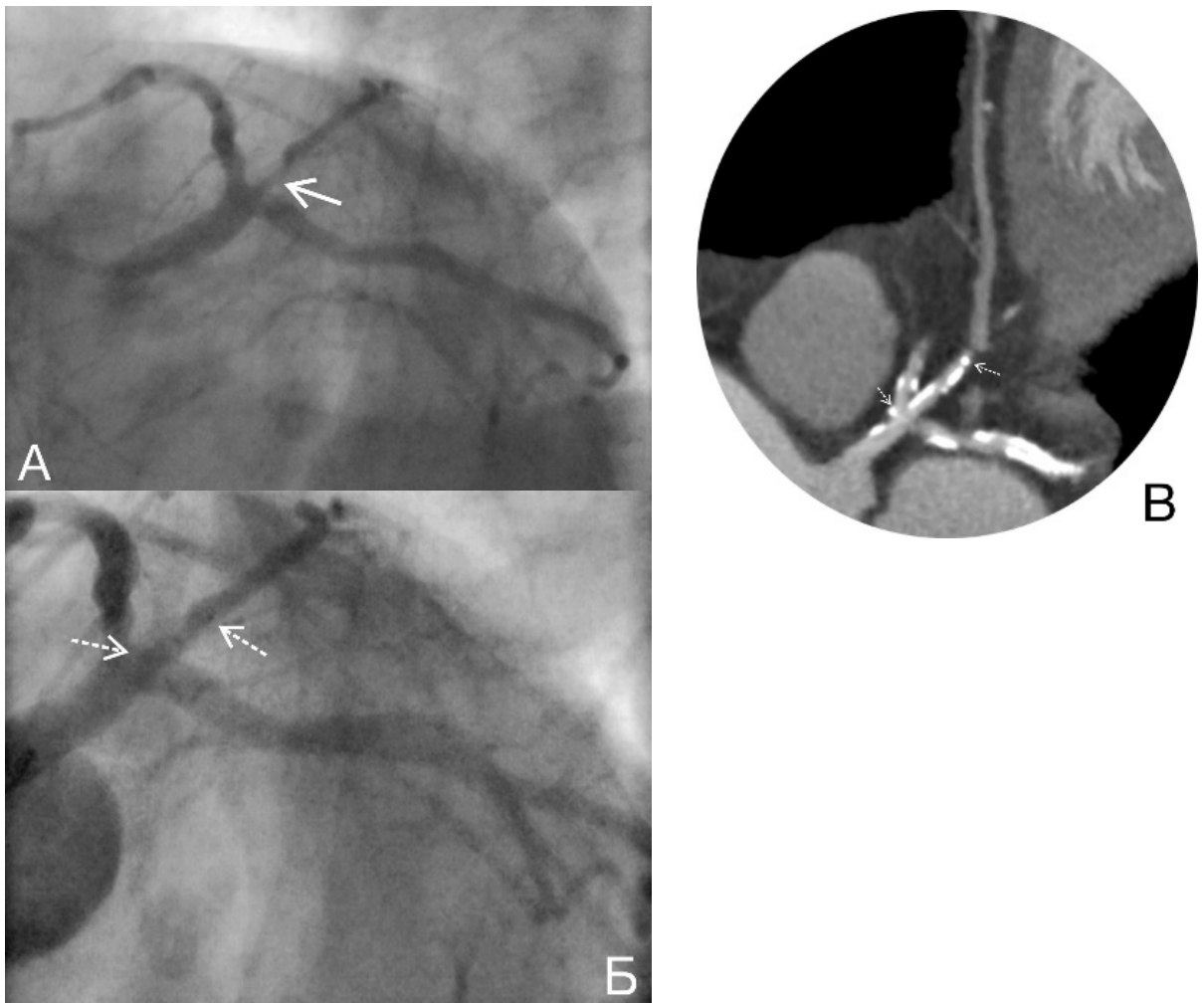


Рисунок 40. Комплексное исследование левой коронарной артерии у б-го Л., 77 л. А – коронарограмма левой коронарной артерии – стеноз проксимального сегмента интермедиарной артерии (стрелка). Б – коронарограмма левой коронарной артерии после стентирования проксимального сегмента интермедиарной артерии каркасом Absorb 2.5x18 мм, контрастные метки по краям (пунктирные стрелки). В – МСКТ-коронарограмма левой коронарной артерии через 32 месяца после имплантации каркаса: хорошо определяется просвет артерии внутри каркаса и дистальное русло, контрастные метки отмечены стрелками. Имеются множественные кальцинаты. КИ – 621 ед. Агатстона.

Таким образом, МСКТ-коронарография позволяет определять проходимость имплантированных стентов в различные сроки после операции, просвет достоверно визуализируемых стентов более 2,4 мм. Лучше визуализируется просвет тонкостенных кобальт-хромовых стентов или биорастворимых каркасов. Проходимость стентов составила около 90% при среднем сроке наблюдения 5 лет.

3.6. Результаты МСКТ- коронарографии в подгруппе Syntax

Согласно полученным данным по шкале CAD-RADS из 91 пациента групп 1 и 2 была выделена подгруппа из 13 человек (11 мужчин, 2 женщины) в возрасте от 44 до 79 лет ($M_{cp}=60,4\pm 8,8$ лет), которым провели плановое стентирование коронарных артерий только на основании данных МСКТ- коронарографии и положительных тестов с нагрузкой. Дополнительно были изучены результаты определения метода выбора реваскуляризации миокарда на основании шкалы Syntax по данным 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии (проводилась во время стентирования) – подгруппа Syntax.

Пять пациентов ранее (от 13 до 45 месяцев) перенесли стентирование коронарных артерий. По данным МСКТ-коронарографии у 13 пациентов имелось стенотическое поражение 17 артерий, по данным коронарографии в одном наблюдении стеноз был 50%, в другом наблюдении дополнительно выявлено поражение коронарной артерии.

Всего 12 пациентам было имплантирован 20 стент, у одного больного стеноз в среднем сегменте передней межжелудочковой артерии дистальнее ранее имплантированного стента 2,75x18 мм по данным инвазивной коронарографии составил 50%, было решено продолжать оптимальную медикаментозную терапию.

Распределение по сегментам коронарных артерий и типоразмеры имплантированных стентов представлены в таблице 19.

Таблица 19. Распределение 20 имплантированных стентов по сегментам и типоразмерам у 12 пациентов подгруппы Syntax

| Сегмент коронарной артерии | ПКА (типоразмеры стента) | ПМЖА (типоразмеры стента) | ОА (типоразмеры стента) | Итого |
|----------------------------|--|--|----------------------------|-------|
| Проксимальный | 3,5x28 мм 4x18 мм 4x23 мм 4x24 мм (2) | 3,5x9 мм 4,0x12 мм 4,0x24 мм | 2,75x30 мм | 9 |
| Средний | 3,0x24 мм (2) 4,0x18 мм | 2,5x32 мм 2,75x14 мм 2,75x18 мм 3,0x15 мм 3,0x19 мм 3,0x24 мм | - | 9 |
| Дистальный | - | 2,5x18 мм 2,5x32 мм | - | 2 |
| Всего | 8 | 11 | 1 | 20 |

Сокращения: ПКА – правая коронарная артерия, ПМЖА – передняя межжелудочковая артерия, ОА – огибающая артерия.

Как видно из таблицы 19, в правую коронарную артерию имплантировано 8 стентов (40%), в переднюю межжелудочковую и огибающую артерии - 12 (60%). При этом почти в половине случаев (9) диаметр стентов составил 3,5-4,0 мм (рис. 41).

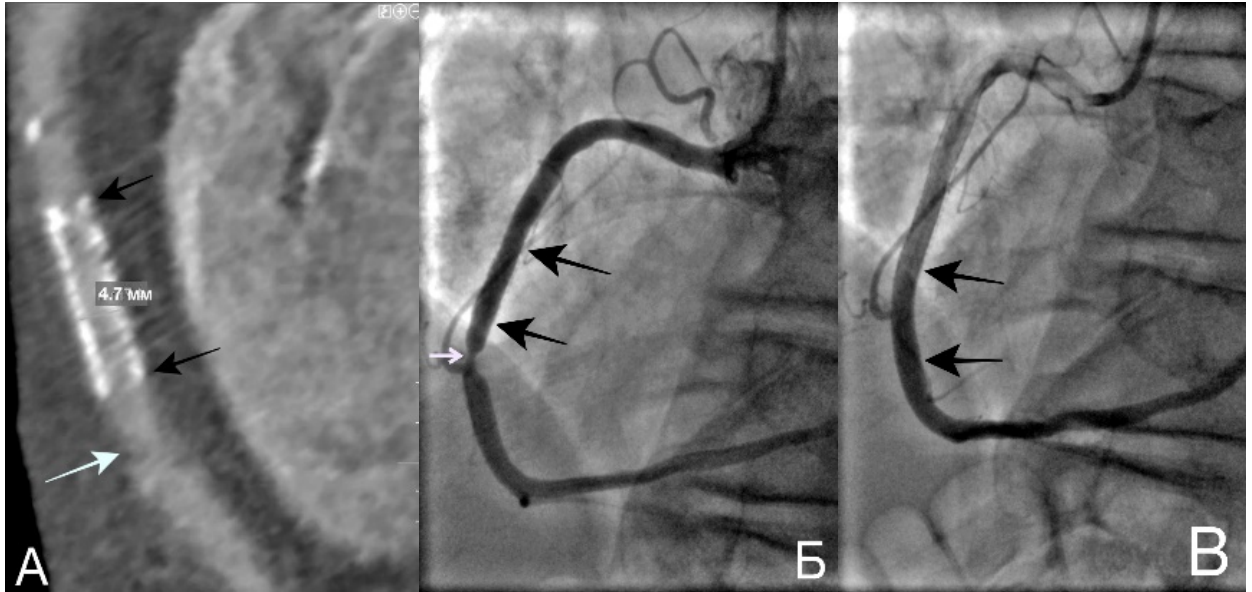


Рисунок 41. Комплексное исследование правой коронарной артерии у 60-го С., 60 л., через 13 месяцев после имплантации стента в правую коронарную артерию. А – МСКТ-коронарограмма – определяется ранее установленный стент 4,7х18 мм (черные стрелки), дистальнее на расстоянии ~10 мм стеноз 70%. Б – коронарограмма правой коронарной артерии подтверждает изменения, выявленные при МСКТ. В – контрольная ангиограмма после имплантации стента 4,0х18 мм (постдилатация до 4,5 мм) в зону стеноза (стрелки). Просвет артерии восстановлен.

У одного пациента с окклюзией ПМЖА через 14 месяцев после стентирования огибающей артерии возник рецидив стенокардии. По данным МСКТ- коронарографии у него имелась аномалия коронарного русла – правая коронарная артерия отходила от левого синуса Вальсальвы, определялся стеноз 65-70% среднего и дистального сегментов артерии. Учитывая данные МСКТ-коронарографии и клинические проявления, было решено провести стентирование правой коронарной артерии без дополнительной инвазивной процедуры. Пациенту выполнено стентирование пораженных участков правой коронарной артерии (рис. 42). После операции отмечалась положительная динамика – класс стенокардии уменьшился до 2 ФК.

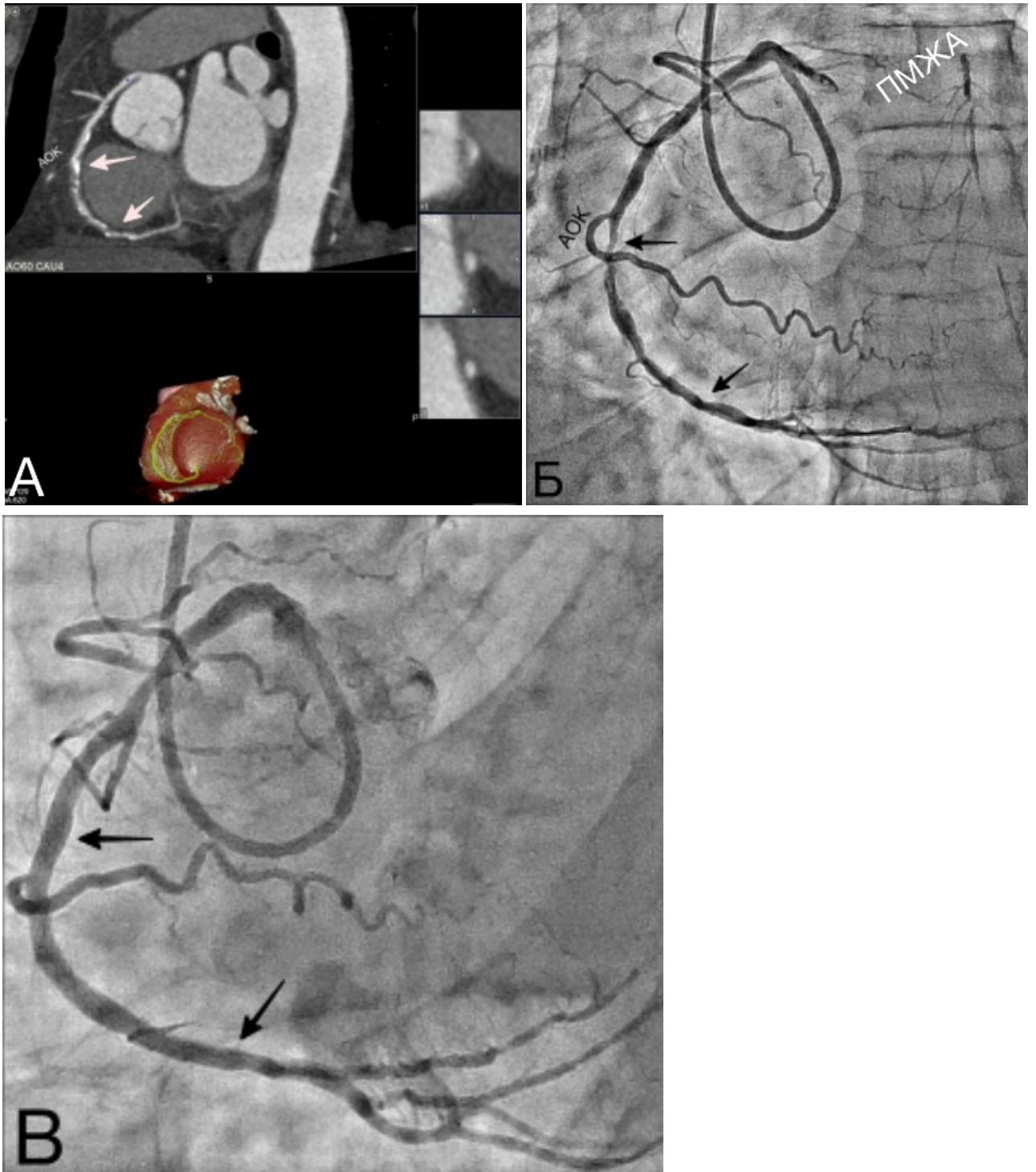


Рисунок 42. Комплексное исследование правой коронарной артерии у 6-год К., 79 л., через 14 месяцев после имплантации стента в огибающую артерию. А – МСКТ-коронарограмма после стентирования – определяются тандемные стенозы 65-70% (стрелки) среднего и дистального сегментов anomalно отходящей правой коронарной артерии. Б – коронарограмма правой коронарной артерии подтверждает изменения, выявленные при МСКТ (стрелки). Хорошо контрастируется через межсистемные коллатерали окклюзированная ПМЖА. В – контрольная ангиограмма после имплантации двух стентов 3.0x24 мм (постдилатация до 3.19 мм) в зону стенозов (стрелки). Просвет артерии восстановлен.

По шкале Syntax была проведена оценка тяжести поражения коронарного русла на основании данных МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии для выбора тактики лечения коронарных артерий. По данным 640-срезовой МСКТ-ангиографии балл поражения колебался от 2 до 14,5 ($M_{cp}=5,7\pm 3,3$), на основании традиционной коронарографии он составил от 0 до 16,5 ($M_{cp}=5,2\pm 3,1$).

Разница в результатах была статистически недостоверна ($P>0,05$), что свидетельствует о возможности использовать результаты МСКТ-коронарографии для выбора тактики реваскуляризации венечных артерий при стабильной ИБС при положительных стресс-тестах.

3.7. МСКТ-коронарография у пациентов 3 группы (некоронарная хирургия)

3 группа (некоронарная хирургия) – 40 больных (28 мужчин и 12 женщин) в возрасте от 50 до 78 лет ($M_{cp}=61,2\pm 5,7$ лет) с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля (мультифокальный атеросклероз, аневризма восходящей аорты в 2 двух наблюдениях). По предтестовой вероятности ИБС все пациенты этой группы имели низкую (<15%) – 5 человек или среднюю (15-50%) вероятность в 35 случаях.

Результаты МСКТ-коронарографии у 40 пациентов из группы 3 (некоронарная хирургия) представлены в таблице 20.

Таблица 20. Распределение 40 пациентов группы 3 на основании данных МСКТ-коронарографии на категории по классификации CAD-RADS

| Категория | Число пациентов n (%) |
|-------------|-----------------------|
| CAD-RADS 0 | 2 (5,0%) |
| CAD-RADS 1 | 8 (20,0%) |
| CAD-RADS 2 | 27 (67,5%) |
| CAD-RADS 3 | 2 (5,0%) |
| CAD-RADS 4A | 1(2,5%) |
| Итого | 40 (100%) |

Как видно из таблицы 20, в подавляющем большинстве случаев (92,5%) степень стеноза коронарных артерий не превышала 50%. Такие изменения венечных артерий не требовали выполнения традиционной коронарографии.

В трех наблюдениях при наличии по данным МСКТ-коронарографии изменений категорий CAD-RADS 3, 4a для верификации диагноза по настоянию лечащих врачей была выполнена инвазивная коронарография, подтвердившая результаты МСКТ (рис. 43).



Рисунок 43. Комплексное обследование левой коронарной артерии у 6-го К., 70 л. А - МСКТ-коронарограмма ПМЖА – в среднем сегменте выраженный кальциноз стенки артерии (стрелка), стеноз 70%. Кальциевый индекс 292 ед. Агатстона. Б – ангиограмма ПМЖА - стеноз артерии 70% (стрелка).

У одного больного с аневризмой восходящей аорты во время выполнения инвазивной коронарографии из-за увеличения просвета аорты не удалось селективно контрастировать левую коронарную артерию, несмотря на использование нескольких катетеров различной кривизны и размеров. Через четыре дня проведена МСКТ-коронарография, при которой стенотических изменений коронарных артерий не обнаружено (рис. 44).

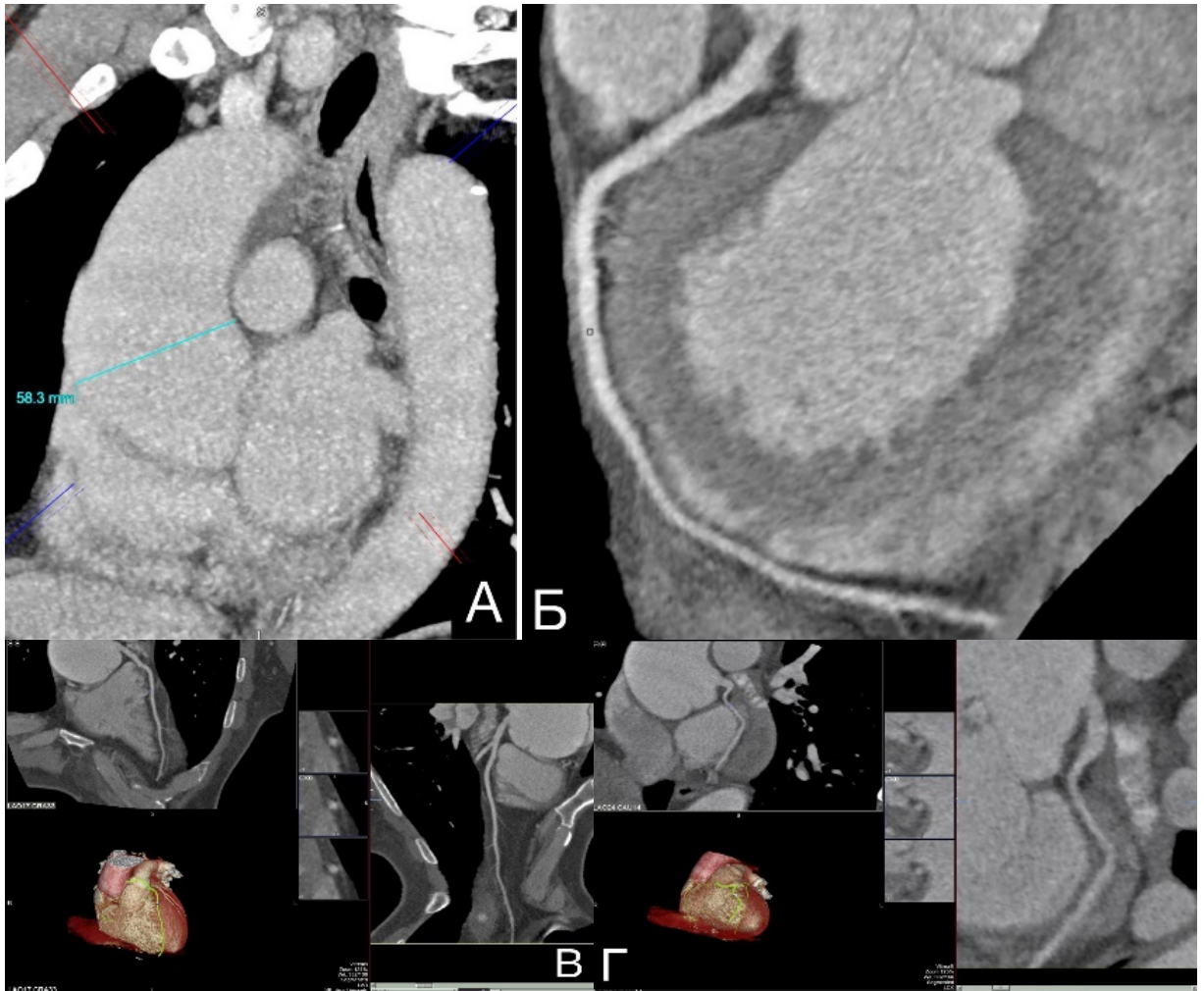


Рисунок 44. МСКТ-коронарография пациента С., 59 л., с аневризмой восходящей аорты. А – томограмма восходящей и грудной аорты в корональной проекции – диаметр восходящей аорты 58,3 мм. Б – правая коронарная артерия. В – передняя межжелудочковая артерия. Г – огибающая артерия. Гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий не выявлено.

39 пациентов после выполнения МСКТ-коронарографии в сроки от 3 до 10 дней были оперированы, им выполнены пластика глубокой артерии бедра (18), бедренно-подколенное шунтирование (10), каротидная эндартерэктомия (7), сонно-подключичное протезирование (2), протезирование восходящей аорты – 2. Одному больному пластика глубокой артерии бедра проведена после стентирования передней межжелудочковой артерии, проведенного на основании результатов комплексного обследования с использованием инвазивной и МСКТ-коронарографии. Все 40 пациентов при сроке

наблюдения после оперативного лечения до 13 месяцев не имели больших сердечных событий (инфаркт миокарда, инсульт, смерть).

Таким образом, пациентам с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля при низкой или средней предтестовой вероятностью ИБС на дооперационном этапе можно заменить инвазивную коронарографию на МКСТ-коронарографию.

3.8 Сравнение МКСТ-коронарографии и оптической когерентной томографии (ОКТ) в оценке состояния коронарных артерий.

Для сравнения возможностей МКСТ-коронарографии и оптической когерентной томографии (ОКТ) в изучении состояния стенок и просвета коронарных артерий у 7 пациентов из групп 1 и 2 были выполнены МКСТ-КАГ и ОКТ в комплексе с коронарографией (подгруппа ОКТ). Промежуток между исследованиями составлял 7-10 дней. Всего изучено 9 коронарных артерий, в которых были обнаружены 14 атеросклеротических бляшек различной структуры. Состав и площадь компонентов атеросклеротических бляшек по данным МКСТ представлен в таблице 21.

Таблица 21. Оценка состава и площади компонентов атеросклеротической бляшки в изучаемой подгруппе при МКСТ-640, Me (Q₂₅; Q₇₅)

| Компоненты | Площадь, мм ² | % |
|------------------|--------------------------|------|
| Липидный | 3,3 (1,95-4,68) | 29,7 |
| Фиброзный | 6,0 (3,76-8,12) | 54,1 |
| Депозиты кальция | 1,8 (0,91-3,28) | 16,2 |

Как видно из таблицы 21, наибольшую площадь в бляшке составил фиброзный компонент 6,0 мм², затем липидный компонент - 3,3 мм². Минимальным было значение площади депозитов кальция, она составила 1,8 мм². Расчет соотношения различных компонентов в структуре атеросклеротической бляшки показал, что доля фиброзного компонента составляет более половины (54,1 %), липидного компонента занимал 29,7% и депозиты кальция - 16,2 % (рис. 46).

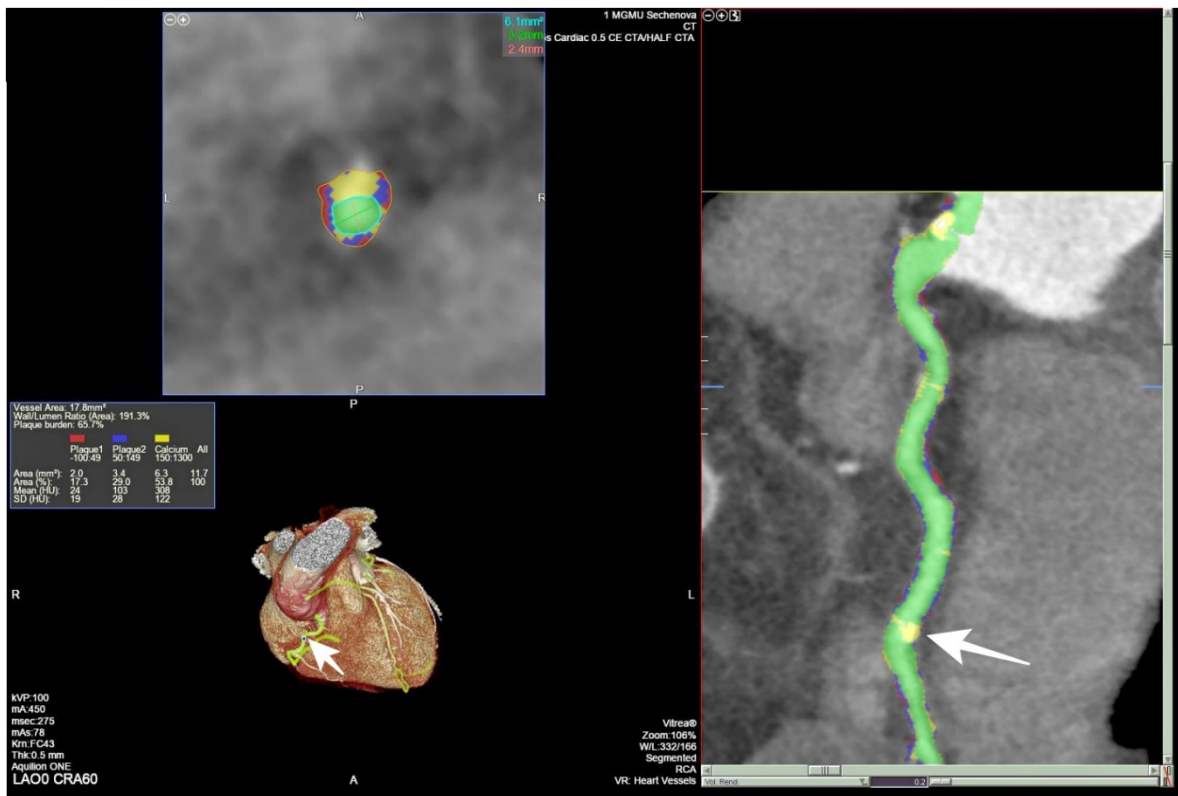


Рисунок 46. МСКТ-КАГ пациента Н., 62 лет. Правая коронарная артерия. Смешанная атеросклеротическая бляшка (стрелка), количественное определение ее состава на поперечном срезе артерии в зоне бляшки. Зеленым цветом выделен проходимый просвет артерии, желтый цвет – депозиты кальция, синий цвет определяет наличие фибрина, красным цветом обозначен липидный компонент бляшки.

При анализе данных МСКТ-коронарографии и ОКТ по характеристике атеросклеротических бляшек было выявлено, что качественный состав бляшек (фиброз, липиды, кальциноз) лучше определяется при оптической когерентной томографии, тогда как количественная характеристика бляшек возможна, преимущественно, при МСКТ-коронарографии (рис. 46, 47).

Оба этих метода достоверно превосходили инвазивную коронарографию в определении кальциноза бляшек (рис.47 в), особенно на ранней стадии развития процесса.

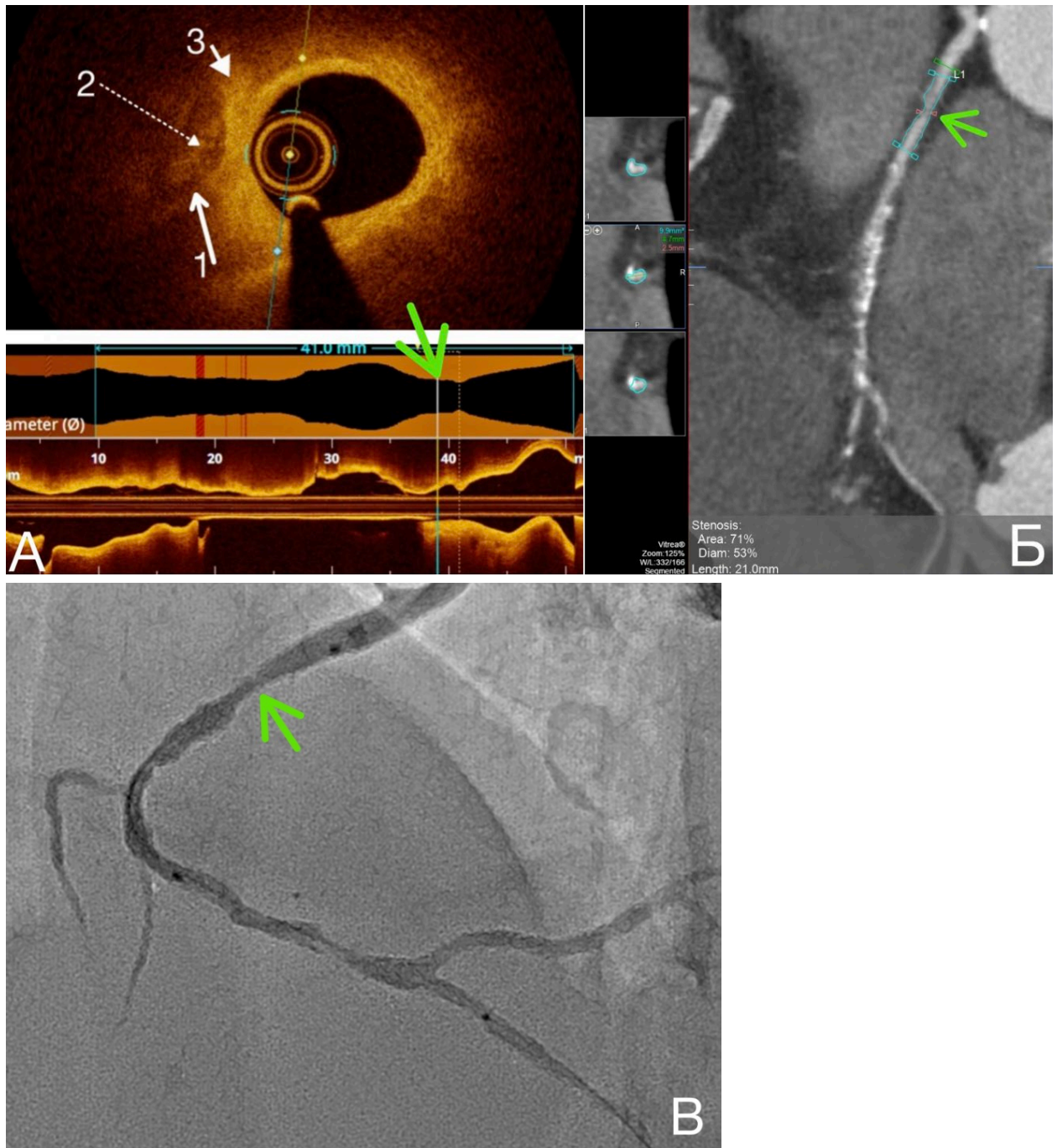


Рисунок 47. Комплексное обследование больной X., 62 л., с хронической ИБС. Правая коронарная артерия. А – ОКТ проксимального сегмента артерии. Стеноз по площади 74%. Фиброатерома. 1 – липидные включения, 2 – липидное ядро с признаками образования кальциноза. 3 – фиброз (не дифференцируются комплекс интима-медиа-адвентиция). Б – МСКТ-КАГ. Стеноз проксимального сегмента артерии 71% (стрелка). На поперечных срезах виден кальциноз в фиброатероме. В – Коронарограмма правой коронарной артерии. Стеноз 68% в проксимальном сегменте артерии (стрелка). Кальциноз не определяется.

Таким образом, первый опыт сравнения МСКТ-коронарографии и ОКТ в оценке состава атеросклеротических бляшек, состояния просвета и стенок коронарных артерий показал достаточно высокий потенциал неинвазивной КТ-коронарографии. Для получения статистически достоверных данных требуются дальнейшие исследования на большем материале.

3.9 Исследование воспроизводимости метода МСКТ-коронарографии и оценка качества получаемых изображений.

На данном этапе исследования с целью анализа результатов повторных измерений данных МСКТ-коронароангиографии проводили тест оценки внутри- и межоператорской воспроизводимости для измеряемых и расчетных величин по методу Бленда-Альтмана.

Из общей выборки была выделена группа из 19 обследуемых, которым последовательно выполняли измерения степени стенозирования коронарных сосудов. Обследование проводили поочередно 2 врача-оператора с опытом работы более 3 лет. Все измерения и расчеты осуществляли с применением программного обеспечения штатной рабочей станции «Vitrea»[®]. Результаты оценки воспроизводимости МСКТ в отношении выявления наличия и степени стеноза коронарных артерий приведены в таблице 22.

Таблица 22. Результаты оценки воспроизводимости метода МСКТ-640 при изучении количественных характеристик коронарных артерий

| Вид воспроизводимости | Количество наблюдений | M (%) | STD (%) | CV (%) |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------|
| внутриоператорская | 19 | 4,17 | 7,05 | 7,6 |
| межоператорская | 19 | 5,38 | 6,25 | 8,3 |

Как видно из таблицы 22, значение коэффициента для внутриоператорской воспроизводимости составило 4,17%, для межоператорской воспроизводимости – 5,38%. Полученные значения не превышали допустимых значений для медицинских исследований в 10 %. Установлена высокая воспроизводимость результатов, полученных с помощью этого метода при изучении состояния коронарных сосудов.

Оценка качества получаемых изображений коронарных артерий в зависимости от режима сканирования при использовании метода МСКТ-640 была выполнена с помощью сопоставления заключений двух независимых операторов. При этом было выполнено сопоставление данных посегментной оценки 188 сегментов коронарных артерий у 15 больных при использовании разных режимов. При этом изображение оценивали по следующим критериям: отличное (без артефактов), хорошее (небольшие артефакты при хорошем диагностическом качестве), удовлетворительное (умеренные артефакты), плохое (выраженные артефакты). Статистически достоверных межгрупповых отличий ($P > 0,05$) по приводимым показателям не было.

3.10 Оценка безопасности и эффективной дозы облучения при МСКТ-коронарографии

В рамках исследования была оценена безопасность применения метода МСКТ-коронарографии. При этом оценивали частоту нежелательных явлений при проведении исследования. Измеряли уровни лучевой нагрузки (эффективную дозу) на пациента при различных вариантах исследования по данным DLP, умножив их на коэффициент конверсии $0.014 \text{ mSv mGy}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (рис. 48).

| Patient ID : | Test Mukumoto | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|----|
| Patient Name (Country) : | V6.0 CTF | | | | | | |
| Patient Name (Multi-byte) : | | | | | | | |
| Patient Info : | | | | | | | |
| Study Date : | 2013/08/06 | | | | | | |
| Dose Display : | IEC 3.0 | | | | | | |
| Total DLP(mGy.cm) : | (Head): - | (Body): 759.60 | | | | | |
| 1. HI Rez Chest HCT | | | | | | | |
| No. | Protocol | #of scan(s) | kVp | CTDIvol (mGy) | DLP (mGy.cm) | | |
| 1 | DualScano | 1 | 120 | | | | |
| 2 | Helical | 1 | 120 | 11.10 (Body) | 455.50 (Body) | | |
| 3 | CTF | 1 | 120 | 112.60 (Body) | 45.00 (Body) | | |
| SURE Exposure | | | | | | | |
| No. | Name | SD | SURE IQ | Image Thickness | Recon FC | Dose Reduction | XY |
| 2 | Standard | 12.50 | Body-Std. Axial | 5.0 | FC18 | Standard | 3D |

Рисунок 48. Информация по лучевой нагрузке, полученной пациентом при выполнении МСКТ-коронарографии, на основании данных DLP.

Сравнение эффективной дозы облучения пациентов показало, что при выполнении КТ-исследования с проспективной ЭКГ-синхронизацией значение показателя составило от 1,5 до 3,2 мЗв ($M_{cp}=2,4\pm 0,8$), при выполнении коронарографии с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией доза облучения колебалась от 3,8 до 8,9 мЗв ($M_{cp}=6,2\pm 1,2$). Статистически достоверно ($P < 0,05$) эффективная доза облучения была выше при МСКТ-коронарографии с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией.

При анализе зависимости эффективной дозы облучения от индекса массы тела (ИМТ) была выявлена статистически достоверная ($P < 0,05$) разница в снижении дозы облучения при нормальном весе ($ИМТ < 25,0$) по сравнению с пациентами более высокого ИМТ. Уровень лучевой нагрузки при обследовании на аппаратах предыдущих поколений или традиционной коронароангиографии составил от 8,1 до 15,6 мЗв ($M_{cp}=11,2\pm 2,1$), что было статистически достоверно выше, чем при МСКТ-коронарографии в нашем исследовании ($P < 0,05$).

Таким образом, метод МСКТ-640 является безопасным, его использование характеризуется отсутствием осложнений, нежелательных явлений и статистически значимым снижением лучевой нагрузки ($P < 0,05$).

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ишемическая болезнь сердца является основной причиной смертности в развивающихся странах. Ранее в качестве «золотого стандарта» диагностики ИБС рассматривалась инвазивная коронарная ангиография, обеспечивающая хорошее разрешение при визуализации коронарных артерий. Метод широко используется при подготовке больных к выполнению эндоваскулярных и хирургических вмешательств [63]. Однако, при проведении инвазивной коронарографии встречаются различные кардиальные и некардиальные осложнения, вплоть до летальных исходов [124, 3]. В связи с этим МСКТ-коронарография рассматривается в качестве перспективного неинвазивного метода диагностики ИБС.

Совершенствование медицинских технологий способствовало недавно начавшемуся внедрению в клиническую практику метода объемной динамической МСКТ с использованием 640-срезовых аппаратов. Метод позволяет за один оборот рентгеновской трубки (0,35 с) без движения стола получить одновременно 640 срезов – протяженность зоны сканирования составляет 16 см при минимальной толщине среза 0,5 мм. Это обеспечивает высокую пропускную способность, отсутствие Step-артефактов, связанных с изменением сердечного ритма, пульсацией магистральных сосудов. При выполнении обследования установлено существенное снижение лучевой нагрузки на пациента.

В настоящее время сообщения о возможностях применения МСКТ-640 при оценке коронарных артерий по системе CAD-RADS недостаточно систематизированы, отсутствуют сведения об ее использовании у пациентов в различные сроки после имплантации стентов, при планировании различных некоронарных хирургических вмешательств разной степени риска или выбора

метода вмешательства на венечных артериях по шкале Syntax.

В связи с этим **целью нашего исследования явилось** повышение клинической эффективности и безопасности диагностики состояния коронарного русла с использованием 640-срезовой мультиспиральной компьютерной томографии.

Для этого нами были поставлены следующие **задачи**:

1. Сравнить показатели диагностической эффективности 640-срезовой КТ-коронарографии и инвазивной коронароангиографии в различные сроки после стентирования венечных артерий.
2. Проанализировать результаты 640-срезовой КТ-коронарографии в диагностике поражений коронарных артерий у пациентов хирургического профиля с различной степенью риска сердечно-сосудистых заболеваний.
3. Оценить диагностическую эффективность 640-срезовой КТ-коронарографии по системе CAD-RADS.
4. Оценить возможности использования 640-срезовой КТ-коронарографии для выбора метода реваскуляризации по шкале Syntax.

Для достижения поставленной цели нами изучены результаты обследования 131 пациента (89 мужчин и 42 женщины в возрасте от 41 до 90 лет, $M_{cp} = 64,7 \pm 7,5$ лет) с ишемической болезнью сердца или высоким риском развития ИБС, наличием в анамнезе имплантированных стентов или рассасывающихся каркасов, перед хирургическим лечением сонных или периферических артерий.

В ходе обследования в зависимости от поставленных задач из 131 пациентов были сформированы следующие группы:

1 группа (ИБС) – 45 больных (28 мужчин, 17 женщин) в возрасте от 41 до 90 лет ($M_{cp} = 63,9 \pm 10,4$ года) с ИБС или высоким риском ее развития, наличием соответствующей ИБС клинической симптоматики стабильной стенокардии напряжения.

2 группа (стенты) – 46 больных (33 мужчины и 13 женщин) в возрасте от 44 до 76 лет ($M_{cp}=59,3\pm 6,2$ лет) в различные сроки от 7 дней до 11 лет ($M_{cp}=46,3\pm 16,8$ мес) после имплантации 70 стентов (63 металлические стенты различных производителей и 7 – биodeградируемые каркасы). Пяти больным МСКТ-коронарография выполнялась дважды с интервалом от 4 до 19 месяцев, всего у них было имплантировано 6 стентов и 3 биodeградируемых каркасов (общее число стентов и каркасов составило 79).

3 группа (некоронарная хирургия) – 40 больных (28 мужчин и 12 женщин) в возрасте от 50 до 78 лет ($M_{cp}=61,2\pm 5,7$ лет) с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля (мультифокальный атеросклероз, аневризма восходящей аорты в 2 двух наблюдениях), которым в ближайшие сроки после исследования были выполнены хирургические вмешательства на сонных, периферических артериях, восходящей дуге аорты. 39 пациентов после выполнения МСКТ-коронарографии в сроки от 3 до 10 дней были оперированы, им выполнены пластика глубокой артерии бедра (18), бедренно-подколенное шунтирование (10), каротидная эндартерэктомия (7), сонно-подключичное протезирование (2), протезирование восходящей аорты – 2. Одному больному пластика глубокой артерии бедра проведена после стентирования передней межжелудочковой артерии, проведенного на основании результатов комплексного обследования с использованием инвазивной и МСКТ-коронарографии. Все 40 пациентов при сроке наблюдения после оперативного лечения до 13 месяцев не имели больших сердечных событий (инфаркт миокарда, инсульт, смерть).

Основная часть пациентов – 111 человек (84,7%) обследована амбулаторно, остальные больные (20) находились на обследовании и лечении в УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

Всем этим больным была проведена стратификация по категориям системы CAD-RADS®. Для изучения статистических показателей 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии были

изучены результаты 19 человек из групп 1 и 3, которым по результатам анализа шкалы CAD-RADS[®] была проведена инвазивная коронарография.

Из пациентов групп 1 и 2 по этой шкале были выделены подгруппа из 13 человек, которым провели плановое стентирование коронарных артерий только на основании данных МСКТ-коронарографии и положительных тестов с нагрузкой. Дополнительно были изучены результаты определения метода выбора реваскуляризации миокарда на основании шкалы Syntax по данным 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии (проводилась во время стентирования) – подгруппа Syntax.

Таким образом, 13 человек подгруппы Syntax и 19 пациентов из групп 1 и 3 составили подгруппу КАГ из 32 пациентов.

Для сравнения возможностей МСКТ-коронарографии и оптической когерентной томографии в изучении состояния стенок и просвета коронарных артерий у 7 пациентов из групп 1 и 2 были выполнены МСКТ-КАГ и ОКТ в комплексе с коронарографией (подгруппа ОКТ) с промежутком между исследованиями 7-10 дней.

Важнейшими преимуществами направлением диагностики с применение объемной МСКТ-коронарографии является оценка просвета артерий. В связи с этим оценивали величину просвета сосудов в области установки стента, а также проксимальных и дистальных сегментов коронарных сосудов.

С целью оценки диагностических возможностей МСКТ-коронарографии были проанализированы полученные в ходе исследования томограммы на предмет качества получаемого изображения в зависимости от примененного алгоритма сканирования для каждого пациента в отдельности, а также сравнение данных МСКТ-640 и КАГ в различных подгруппах пациентов.

На данном этапе исследования с целью анализа результатов повторных измерений данных МСКТ-коронароангиографии также был выполнен тест оценки внутри- и межоператорской воспроизводимости для измеряемых и

расчетных величин по методу Бленда-Альтмана. Для этого из общей выборки была выделена группа из 19 обследуемых, которым последовательно выполняли измерения степени стенозирования коронарных сосудов. Обследование проводили поочередно 2 врача-оператора со стажем работы более 3 лет. Все измерения и расчеты осуществляли с применением программного обеспечения рабочей станции Vitrea®.

Также проводили оценку безопасности применения МСКТ-коронарографии путем анализа, полученного пациентом во время проведения исследования уровня эффективной дозы облучения.

При оценке результатов МСКТ-коронарографии у 131 пациента в соответствии с рекомендациями SCCT, ACR и NASCI [99] в 70 случаях (53,4%) выявлены категории CAD-RADS 0, 1, 2. Пациентам из групп ИБС и некоронарной хирургии в 54 наблюдениях (41,2%) дальнейшее обследование по поводу ИБС не требовалось. В группе стентов у 16 пациентов (12,2%) также не было необходимости в проведении инвазивной коронарографии. У 36 больных (27,5 %) определена категория CAD-RADS 3, в 25 случаях (19,1 %) изменения коронарных артерий соответствовали категориям CAD-RADS 4А, Б и CAD-RADS 5.

Мы учитывали, что больным с уровнями оценки CAD-RADS от 0 до 3 не показано выполнение инвазивной коронарографии, тогда как у больных с степенью стеноза 4А и 4В диагноз был подтвержден при выполнении инвазивной коронарной ангиографии, в дальнейшем им была осуществлена установка стентов. Эти данные совпадают с результаты зарубежных исследователей [132]. Таким образом, применение МСКТ-коронарографии с оценкой результатов по классификации CAD-RADS позволяет на амбулаторном этапе определить тактику лечения пациентов с ИБС.

Необходимое условие успешного внедрения классификации CAD-RADS в значительной степени зависит от готовности и решимости специалистов КТ внедрять CAD-RADS в рутинную клиническую практику [43]. Воспроизводимость данных для категорий оценки CAD-RADS между

исследователями различных стран была отличной (ICC 0.958, 95% CI 0.938-0.974, $p < 0.0001$). Высокое качество изображения было связано с более сильным согласием, чем умеренное качество изображения (ICC 0.944, 95% CI 0.886-0.974 против ICC 0,887, 95% CI 0,775-0,95, $p < 0,0001$) [43].

Автоматическая программа по классификации CAD-RADS лучше определяет категорию CAD-RADS по сравнению с мануальным подсчетом из-за отсутствия человеческого фактора. Структурированные отчеты с автоматизированными результатами подсчета повышают качество данных и клинических решений [121].

В доступной литературе отсутствуют данные о результатах использования данных 640-срезовой МСКТ-коронарографии для стратификации пациентов с ИБС по системе CAD-RADS.

Проведенное сопоставление результатов 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии у 32 пациентов свидетельствовало о том, что по данным МСКТ-коронарографии несколько чаще выявлялись гемодинамически значимые стенозы - в 16 случаях (4,6 %), тогда как по результатам КАГ – 14 случаев (4,0 %).

В то же время данные КАГ чаще свидетельствовали о начальных или умеренных стенозах в сосудах – 35 случаев (10,1 %), хотя МСКТ-коронарография показала несколько меньшую долю таких случаев – 33 (9,5%). При поражениях такого типа МСКТ-640 более чувствительна, чем стандартная коронарография из-за особенностей получения изображения. Частота обнаружения окклюзии и гемодинамически незначимых стенозов при использовании различных методов исследования была сходной. При этом достоверных межгрупповых отличий показателей отмечено не было ($p > 0,005$). Похожие данные получены при 640-срезовой МСКТ другими исследователями [39].

Изучение степени стенозирования коронарных артерий по данным МСКТ и КАГ с помощью корреляционного анализа свидетельствовало о наличии прямых значимых ($p < 0,001$) коэффициентов корреляции высокой

силы. Взаимосвязь результатов двух методов по определению стеноза КА составила 0,93, по частоте выявления гемодинамически значимого стеноза – 0,91. Для передней нисходящей артерии значение R составило 0,95, для огибающей артерии (ОА) – 0,92, для правой коронарной артерии – 0,91.

Полученные данные свидетельствуют о высокой сопоставимости результатов изучения состояния коронарных артерий у больных ИБС. Значительное сходство данных по частоте выявления различных вариантов стенозов сосудов, а также наличие сильных значимых корреляций данных МСКТ и КАГ подтверждает возможности метода МСКТ по выявлению поражений коронарного русла и степени их выраженности.

640-срезовая МСКТ-коронарография имеет высокие показатели чувствительности и специфичности (99,2% и 99,7%), но чуть более низкую точность (96,1%). Похожие результаты получены зарубежными авторами [74].

При анализе данных МСКТ-640 было выявлено, что кальциевый индекс у обследованных пациентов в этой подгруппе варьировал от 68 до 1878 ед. Агатстона ($M_{cp}=645,6\pm 260,5$). Несовпадение данных МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии наблюдались у больных с кальциевым индексом более 700 ед. Агатстона. При использовании КТ с двумя рентгеновскими трубками кальциевый индекс 287 ед. представляет порог, выше которого МСКТ-коронарография позволяет исключить стенозы коронарных артерий >75% менее чем в 50% случаев [107]. В доступной литературе данные о величине допустимого кальциевого индекса венечных артерий для получения диагностически приемлемого изображения коронарных артерий при 640-срезовой МСКТ-коронарографии отсутствуют.

В 11 наблюдениях (8,4%) во всей когорте основного исследования у пациентов с нарушениями ритма сердечной деятельности (фибрилляция предсердий, мерцательная аритмия) при проведении МСКТ-коронарографии были получены изображения коронарного русла хорошего и удовлетворительного качества, что совпадает с результатами итальянских авторов [37].

По предтестовой вероятности ИБС 40 пациентов с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля (мультифокальный атеросклероз, аневризма восходящей аорты в 2 двух наблюдениях) имели низкую (<15%) – 5 человек или среднюю (15-50%) вероятность в 35 случаях. В подавляющем большинстве случаев (92,5%) степень стеноза коронарных артерий не превышала 50%. Такие изменения не требовали выполнения традиционной коронарографии. В трех наблюдениях при изменениях категорий CAD-RADS 3, 4a по данным МСКТ-коронарографии для верификации выполнена инвазивная коронарография, подтвердившая результаты МСКТ. Все пациенты при сроке наблюдения после оперативного лечения до 13 месяцев не имели больших сердечных событий (инфаркт миокарда, инсульт, смерть).

В исследовании Joshi H. et al. [117] у пациентов, перенесших крупные некоронарные кардиохирургические операции, общая чувствительность и специфичность метода МСКТ составили соответственно 100% (95% ДИ = 39,76–100%) и 91,3% (95% ДИ = 79,21–97,58%).

МСКТ позволяет совершенствовать предоперационную стратификацию риска у пациентов, которым планируется выполнить хирургические вмешательства. В целом наши данные, как и результаты других авторов подтвердили, что для этого метода характерно высокое значение отрицательной прогностической ценности (больше 90%), что позволяет выявлять пациентов с ИБС с выраженным стенозом просвета коронарных сосудов > 50% [87].

Важнейшим преимуществом МСКТ-640 является возможность оценки величины просвета сосудов, а также изучения характеристик артерий, в которые устанавливаются металлические или биодеградируемые каркасы.

В рамках нашего исследования оценка характеристик сосудов у больных, которым были установлены стенты и биодеградируемые каркасы, показала наличие ряда различий характеристик в разные сроки после их имплантации. Значение показателя минимального просвета артерии через 12 месяцев были достоверно ниже ($p < 0,05$), чем через 6 мес. Также отмечена

достоверная отрицательная динамика показателей среднего просвета сосуда и статистически незначимое увеличение ($p > 0,05$) показателя степени стеноза с 16,7 до 23,4 %. Значение среднего просвета сосуда несколько увеличилось, хотя значимых отличий показателей в разные сроки выявлено не было. Наши данные согласуются с результатами других авторов. Onuma Y. et al. [90] при анализе результатов исследования ABSORB сообщили, что через 18 и 72 месяцев пациентам была выполнена МСКТ-коронарография с количественной оценкой просвета артерии и определением КТ-фракционного резерва кровотока, полученного на основании данных компьютерной томографии (FFR-СТ). При обследовании пациентов через 72 месяца средняя минимальная площадь просвета сосуда составила 4,05 мм², средняя степень стеноза – 18 %, один каркас был тромбирован. В то же время медиана показателя FFR-СТ в различные сроки практически не изменилась.

Пройодимость стентов или каркасов по данным МСКТ-коронарографии в различные сроки после имплантации составила 88,6%, тромбоз стентов встретился в 9 случаях, преимущественно, после 5-летнего срока после имплантации. Рестенозы стентов имели место в 8 случаях (10,1%), степень рестеноза не превышала 50%.

Удовлетворительное (20 стентов) и хорошее качество (32 стента) изображения стентов было в подавляющем большинстве случаев – 96,3%. Хорошее качество изображения просвета толстостенных стальных стентов было в 10 случаях (47,6%), при исследовании тонкостенных кобальт-хромовых имплантов – 60,9% (14), биорастворимых каркасов в 70%. Следует отметить, что просвет тонкостенных стентов и каркасов в большинстве наблюдений был больше по сравнению с толстостенными стентами. Статистически достоверно ($P < 0,05$) при МСКТ-коронарографии лучше визуализируются тонкостенные стенты из кобальт-хрома и аналогичного материала, также как биорастворимые каркасы диаметром более 3.0 мм. По данным МСКТ-коронарографии визуализировать стенки каркасов не удалось ни в одном случае, хорошо определяется просвет в зоне имплантации

каркасов, границы стента определяются по контрастным меткам на концах устройства.

Удовлетворительное качество изображения просвета было при изучении имплантированных стентов диаметром от 2,25 мм (оптимизированы до просвета 2,35-2,40 мм). Размеры стентов (диаметр и длина) после имплантации в коронарные артерии по данным МСКТ-коронарографии статистически достоверно ($P < 0,05$) не отличались от указанных в маркировке изделия. Похожие результаты описаны зарубежными авторами [111]. В целом, полученные в нашем исследовании результаты в значительной мере соответствовали таковым, представленным в сообщениях разных авторов. В работе Karami M. et al. [60] при МСКТ-коронарографии у 226 пациентов после установки стентов получены следующие результаты: чувствительность 93,8%, специфичность 70,0% и точность 89,7% для выявления рестеноза коронарного стента.

Таким образом, МСКТ-коронарография позволяет определять проходимость имплантированных стентов в различные сроки после операции, просвет достоверно визуализируемых стентов более 2,4 мм. Лучше визуализируется просвет тонкостенных кобальт-хромовых стентов или биорастворимых каркасов. Проходимость стентов составила около 90% при среднем сроке наблюдения 5 лет.

Полученные данные свидетельствуют о том, что 640-срезовая МСКТ-коронарография позволяет оценивать диаметр просвета артерий и установленных в них стентов. Эти характеристики позволяют осуществлять динамическое наблюдение за больными с признаками поражения коронарных артерий без использования инвазивных методов диагностики.

Важнейшей особенностью 640-срезовой МСКТ-коронарографии является возможность оценки состава атеросклеротической бляшки. Проведенное нами исследование показало, что медиана площади липидного компонента бляшек в исследуемых сосудах составила 3,3 мм² (1,95-4,68). Аналогичная величина для фиброзного компонента была на уровне 6,0 мм²

(3,76-8,12), минимальным было значение площади депозитов кальция в бляшке – 1,8 мм² (0,91-3,28). Расчет соотношения различных компонентов в структуре бляшки показал, что доля фиброзного компонента составляет более половины - 54,1 %, значение этого параметра для липидного компонента - 29,7%. На долю депозитов кальция приходится 16,2 %.

При анализе данных 640-срезовой МСКТ-коронарографии и ОКТ по характеристике атеросклеротических бляшек было выявлено, что качественный состав бляшек лучше определяется при оптической когерентной томографии, тогда как количественная характеристика бляшек возможна, преимущественно, при МСКТ-коронарографии. Оба этих метода достоверно превосходили инвазивную коронарографию в определении кальциноза бляшек, особенно на ранней стадии развития процесса. Данных литературы по этому вопросу найти не удалось.

Таким образом, первый опыт сравнения МСКТ-коронарографии и ОКТ в оценке состава атеросклеротических бляшек, состояния просвета и стенок коронарных артерий показал достаточно высокий потенциал неинвазивной КТ-коронарографии. Для получения статистически достоверных данных требуются дальнейшие исследования на большом материале.

Для определения метода выбора реваскуляризации миокарда на основании шкалы Syntax по данным 640-срезовой МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии (проводилась во время стентирования) у 13 пациентов имелось стенотическое поражение 17 артерий, по данным коронарографии в одном наблюдении стеноз был 50%. Всего 12 пациентам было имплантировано 19 стентов, в том числе у одного пациента с аномальным отхождением правой коронарной артерии из левого коронарного синуса. Правая коронарная артерия, отходящая от левого синуса Вальсальвы, чаще всего имеет интраартериальный ход между главными сосудами – аортой и лёгочной артерией, что увеличивает риск внезапной сердечной смерти. По данным литературы, при инвазивной коронароангиографии примерно в 40% случаев не удается идентифицировать место отхождения аномальных

коронарных артерий. В то же время использование МСКТ-коронарографии позволяет прекрасно выявить особенности аномального отхождения венечных артерий (что необходимо для реваскуляризации миокарда), включая длину и выраженность сужений проксимальных сосудов.

По шкале Syntax была проведена оценка тяжести поражения коронарного русла на основании данных МСКТ-коронарографии и инвазивной коронарографии для выбора тактики лечения коронарных артерий. По данным 640-срезовой МСКТ-коронарографии балл поражения колебался от 2 до 14,5 ($M_{cp}=5,7\pm 3,3$), на основании традиционной коронарографии он составил от 0 до 16,5 ($M_{cp}=5,2\pm 3,1$).

Разница в результатах была статистически недостоверна ($P>0,05$), что свидетельствует о возможности использовать результаты МСКТ-коронарографии для выбора тактики реваскуляризации венечных артерий при стабильной ИБС при положительных стресс-тестах. Данных по использованию только результатов 640-срезовой МСКТ-коронарографии для определения тяжести поражения по шкале Syntax в доступной литературе нет.

Для анализа результатов повторных измерений данных МСКТ-коронароангиографии был выполнен тест оценки внутри- и межоператорской воспроизводимости для измеряемых и расчетных величин по методу Бленда-Альтмана. Из общей выборки была выделена группа из 19 обследуемых, которым последовательно выполняли измерения степени стенозирования коронарных сосудов. Обследование проводили поочередно 2 врача-оператора с опытом работы более 3 лет. Все измерения и расчеты осуществляли с применением программного обеспечения штатной рабочей станции «Vitrea»[®].

Оценка воспроизводимости МСКТ в отношении выявления наличия и степени стеноза коронарных артерий показала ее высокий уровень. Значение коэффициента для внутриоператорской воспроизводимости составило 4,17%, для межоператорской воспроизводимости – соответственно 5,38%. Полученные значения не превышали допустимых для медицинских исследований 10 %.

Сравнение качества получаемых изображений в зависимости от режима сканирования при использовании метода МСКТ-640 осуществляли с помощью сопоставления заключений двух независимых операторов. При этом было выполнено сопоставление данных посегментной оценки 188 сегментов коронарных артерий у 15 больных при использовании разных режимов. Установлено, что в абсолютном большинстве случаев (96,3-100 %) оценки разных операторов совпадали. Статистически достоверных межгрупповых отличий ($P > 0,05$) по приводимым показателям не было. Похожие результаты получены другими авторами [16, 76].

В рамках исследования была оценена безопасность применения метода МСКТ-коронарографии. При этом оценивали частоту нежелательных явлений при проведении исследования. Измеряли уровни лучевой нагрузки (эффективную дозу) на пациента при различных вариантах исследования по данным DLP, умножив их на коэффициент конверсии $0.014 \text{ mSv mGy}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. По данным разных авторов коэффициент конверсии колеблется от 0,0107 до 0,0188 $\text{mSv mGy}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ [134, 39, 74]. Сравнение эффективной дозы облучения пациентов показало, что при выполнении исследования с проспективной ЭКГ-синхронизацией значение показателя составило от 1,5 до 3,2 мЗв ($M_{\text{ср}} = 2,4 \pm 0,8$), при выполнении коронарографии с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией доза облучения колебалась от 3,8 до 8,9 мЗв ($M_{\text{ср}} = 6,2 \pm 1,2$). Статистически достоверно ($P < 0,05$) эффективная доза облучения была выше при МСКТ-коронарографии с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией.

При анализе зависимости эффективной дозы облучения от индекса массы тела (ИМТ) была выявлена статистически достоверная ($P < 0,05$) разница в снижении дозы облучения у пациентов с нормальным весом ($\text{ИМТ} < 25,0$) по сравнению с больными с более высоким индексом массы тела.

Уровень лучевой нагрузки при обследовании на аппаратах предыдущих поколений или при выполнении традиционной коронароангиографии составил от 8,1 до 15,6 мЗв ($M_{\text{ср}} = 11,2 \pm 2,1$), что было статистически достоверно выше, чем при МСКТ-коронарографии в нашем исследовании. В

доступной литературе имеются единичные сообщения с похожими результатами [37-39, 134, 74].

640-срезовая МСКТ-коронарография является безопасной, ее использование характеризуется отсутствием осложнений, нежелательных явлений и статистически значимым снижением лучевой нагрузки ($P < 0,05$) по сравнению с МСКТ-коронарографией на аппаратах других типов.

Таким образом, проведенное нами исследование подтвердило высокую диагностическую точность, комфорт для пациента, безопасность 640-срезовой МСКТ-коронароангиографии. Показано, что она является надежной альтернативой инвазивной визуализации и может стать методом выбора для обследования пациентов со стабильной ИБС и выборе тактики лечения на основе шкалы Syntax, в послеоперационном периоде после проведения эндоваскулярного лечения, планировании некоронарных хирургических операций.

ВЫВОДЫ

1. При выявлении стенозов коронарных сосудов объемная 640-срезовая КТ– коронарография показала чувствительность – 99,2 %, специфичность – 99,7 %, точность – 96,1 %.
2. Сопоставление данных МСКТ и коронарной ангиографии в отношении оценки степени поражения коронарных артерий по результатам корреляционного анализа для передней межжелудочковой артерии значение коэффициента корреляции R составило 0,95, для огибающей артерии – 0,92, для правой коронарной артерии – 0,91.
3. Результаты объемной 640-срезовой КТ-коронарографии позволяют достоверно использовать классификацию CAD-RADS для определения поражения коронарных артерий по категориям и планирования дальнейшей тактики лечения пациентов с ИБС.
4. По результатам 640-срезовой КТ-коронарографии достоверно точно можно оценить просвета стентов или биodeградируемых каркасов диаметром более 2,4 мм в различные сроки после их имплантации.
5. На дооперационном этапе 640-срезовая КТ-коронарография у пациентов с некоронарогенными заболеваниями хирургического профиля при низкой или средней предтестовой вероятности ИБС является альтернативным методом неинвазивной визуализации.
6. Результаты МСКТ-коронарографии можно использовать для выбора метода реваскуляризации венечных артерий при стабильной ИБС и положительных стресс-тестах с использованием шкалы Syntax.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При выявлении по результатам 640-срезовой МСКТ-коронарографии у пациентов ИБС категорий 0-3 по классификации CAD-RADS дальнейшего инвазивного обследования не требуется.
2. Модифицированный протокол томографии включает получение топограммы в прямой проекции, нативное исследование сердца для подсчета коронарного кальциноза по программе CaScore[®], артериальная фаза начинается автоматически с использованием программы SureStart[®] при достижении пикового значения рентгеновской плотности в просвете нисходящей аорты на уровне деления легочной артерии в 220 НУ. Размер зоны исследования составляет 16 см от бифуркации трахеи до диафрагмы. Вводится неионное контрастное вещество 350-370 гм/мл йода из расчета 1 мл/кг веса (не более 90 мл) в вены предплечья со скоростью 4,5 мл/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизов В.А., Султанова М.Д., Садыгова Т.А. Сравнительная характеристика методов неинвазивной визуализации в диагностике коронарных кальцификаций // Евразийский кардиологический журнал. – 2016. – № 3. – С. 167.
2. Азизов В.А., Султанова М.Д., Улудаг К. Оценка распространенности и характера атеросклеротических бляшек коронарных артерий у больных сахарным диабетом при помощи мультиспиральной компьютерной томографии // Кардиология в Беларуси. –2014. –№ 4 (35). – С. 58-64.
3. Алекян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В., Карапетян Н.Г. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации – 2017 год // Эндоваскулярная хирургия. – 2018. – Т.2, №5. – С.93-240.
4. Архипова И.М., Сеницын В.Е. Мультисрезовая компьютерная томография коронарных стентов *in vitro* // Медицинская визуализация. - 2013. - № 5. - С. 23-33.
5. Бартош-Зеленая С.Ю., Гусева О.А. Современные возможности диагностики ишемической болезни сердца // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2014. – № 2. – С.223-232.
6. Веселова Т.Н., Меркулова И.Н., Терновой С.К., Руда М.Я. Возможности компьютерной томографии в оценке состояния атеросклеротических бляшек и функциональных параметров левого желудочка при остром коронарном синдроме // Неотложная кардиология. – 2016. – Т. 2, № 2 (2). – С. 3-15.
7. Джураева Н.М., Икрамов А.И., Пирназаров М.М. и др. Оценка информативности и методологические особенности компьютерной

томографии коронарных артерий в диагностике ишемической болезни сердца // *Диагностическая и интервенционная радиология.*—2017.—Т. 11, № 2.— С.24-29.

8. Зяблова Е.И., Порханов В.А. Мультиспиральная компьютерная коронарография в диагностике коронарного атеросклероза // *Кубанский научный медицинский вестник.* – 2015. – № 6 (155). – С. 53-58.

9. Икрамов А.И., Джураева Н.М., Пирназаров М.М., Зулина Т.А. МСКТ-коронарография у пациентов с ишемической болезнью сердца: диагностическая значимость и методологические особенности // *Лучевая диагностика и терапия.* – 2017. – № 2 (8). – С. 104-105.

10. Максудов М.Ф., Икрамов А.И., Джураева Н.М., Хайдаров У.О. МСКТ-ангиография в диагностике аномалий развития и вариантов строения коронарных артерий // *Диагностическая и интервенционная радиология.* – 2017. – Т. 7, № 3-3. – С. 25-35.

11. Огнерубов Д.В., Проваторов С.И., Меркулов Е.В. и др. Сравнение частоты осложнений при коротком и традиционном времени гемостаза после транслюминальной баллонной коронарной ангиопластики радиальным доступом // *Кардиологический вестник.* – 2018. - №3. – с. 21-25.

12. РЕКОМЕНДАЦИИ ESC/ESA ПО ПРЕДОПЕРАЦИОННОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ И ВЕДЕНИЮ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВНЕСЕРДЕЧНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ 2014. Рабочая группа по предоперационному обследованию и ведению пациентов при выполнении внесердечных хирургических вмешательств Европейского общества кардиологов (ESC) и Европейского общества анестезиологов (ESA) // *Российский кардиологический журнал.* - 2015.- Т.8 (124). – С.7–66.

13. Сумин А.Н., Корок Е.В., Коков А.Н. и др. Возможности МСКТ-коронарографии в диагностике гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий // *Сибирский медицинский журнал.* -2011.-Т. 26, № 3. - С. 96-102.

14. Терновой С.К., Веселова Т.Н., Шабанова М.С., Шария М.А. Выявление нестабильности атеросклеротических бляшек у больных

ишемической болезнью сердца методом мультиспиральной компьютерной томографии // Креативная кардиология. – 2015. – № 1. – С. 19-27.

15. Федотенков И.С., Терновой С.К. Скрининг кальциноза коронарных артерий методом мультиспиральной компьютерной томографии // Медицинская визуализация. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 19-32.

16. Фуженко Е.Е., Ховрин В.В., Абугов С.А., Сандриков В.А. Сравнительная характеристика возможностей мультиспиральной компьютерной томографии и ангиографии в оценке степени атеросклеротического поражения коронарных артерий // Диагностическая и интервенционная радиология. – 2017. – Т. 11, № 1. – С. 28-36.

17. Achenbach S., Boehmer K., Pflederer T. et al. Influence of slice thickness and reconstruction kernel on the computed tomographic attenuation of coronary atherosclerotic plaque // J. Cardiovasc. Comput. Tomogr. - 2010.-Vol.4. - P.110-115.

18. Alkadhi H., Stolzmann P., Desbiolles L. et al. Low-dose, 128-slice, dual-source CT coronary angiography: accuracy and radiation dose of the high-pitch and the step-and-shoot mode // Heart. - 2010. – Vol. 96. – P. 933–938.

19. Aldrovandi A., Cademartiri F., Menozzi A. et al. Evaluation of coronary atherosclerosis by multislice computed tomography in patients with acute myocardial infarction and without significant coronary artery stenosis: a comparative study with quantitative coronary angiography // Circ. Cardiovasc. Imaging. - 2008. – Vol.1. – P.205-211.

20. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance // Radiographics. – 2004. – Vol.24. – P.1679-1691.

21. Belgrano M., Bregant P., Djoguella M. et al. 256-slice CT coronary angiography: in vivo dosimetry and technique optimization // Radiol. Med. – 2014. – Vol.119. – P.249-256.

22. Bittencourt M.S., Schmidt B., Seltmann M. et al. Iterative reconstruction in image space (IRIS) in cardiac computed tomography: initial experience // Int. J. Cardiovasc. Imaging. - 2011. - Vol.27. – P.1081-1087.

23. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure // *N. Engl. J. Med.* - 2007. - Vol.357. - P.2277-2284.

24. Bu G., Miao Y., Bin J. et al. Comparison of 128-Slice Low-Dose Prospective ECG-Gated CT Scanning and Trans-Thoracic Echocardiography for the Diagnosis of Complex Congenital Heart Disease // *PLoS One.* – 2016. – Vol. 11. – e0165617.

25. Budoff M.J., Dowe D., Jollis J.G. et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial // *J. Am. Coll. Cardiol.* - 2008. – Vol.52. – P.1724-1732.

26. Burgstahler C., Reimann A., Drosch T. et al. Cardiac dual-source computed tomography in patients with severe coronary calcifications and a high prevalence of coronary artery disease // *J. Cardiovasc. Comp. Tomography.*–2007. – Vol.1. – P.143–151.

27. Cavalcante R., Onuma Y., Sotomi Y. et al. Non-invasive Heart Team assessment of multivessel coronary disease with coronary computed tomography angiography based on SYNTAX score II treatment recommendations: design and rationale of the randomised SYNTAX III Revolution trial // *EuroIntervention.* – 2017. – Vol. 12. – P. 2001-2008.

28. Cordeiro M.A.S., Miller J.M., Schmidt A. et al. Non-invasive half millimetre 32 detector row computed tomography angiography accurately excludes significant stenoses in patients with advanced coronary artery disease and high calcium scores // *Heart.* – 2006. – Vol.92. – P.589–597.

29. Chung S.H., Kim Y.J., Hur J. et al. Evaluation of coronary artery in-stent restenosis by 64-section computed tomography: Factors affecting assessment and accurate diagnosis // *J. Thorac. Imaging.* - 2010. - Vol.25. - P.57–63.

30. Cury R.C., Abbara S., Achenbach S. et al. CAD-RADS™ coronary

artery disease - reporting and data system. An expert consensus document of the society of cardiovascular computed tomography (SCCT), the American College of Radiology (ACR) and the North American society for cardiovascular imaging // *J. Cardiovasc. Comp. Tomography.* – 2016. – V.10. – p. 269-281.

31. Dalager M.G., Bottcher M., Dalager S. et al. Imaging atherosclerotic plaques by cardiac computed tomography in vitro: impact of contrast type and acquisition protocol // *Invest. Radiol.* - 2011. - Vol.46 - P.790-795.

32. Dangas G.D., Claessen B.E., Caixeta A. et al. In-stent restenosis in the drug-eluting stent era // *J. Am. Coll. Cardiol.* - 2010. – Vol.56. – P.1897–1907.

33. Dedic A., Genders T.S., Ferket B.S. et al. Stable angina pectoris: head-to-head comparison of prognostic value of cardiac CT and exercise testing // *Radiology.* - 2011. - Vol.261. - P.428-436.

34. De Graaf F.R., Schuijf J.D., Van Velzen J.E. et al. Diagnostic accuracy of 320-row multidetector computed tomography coronary angiography in the non-invasive evaluation of significant coronary artery disease // *Eur. Heart J.* – 2010. – Vol. 31. – P.1908-1915.

35. De Graaf F.R., van Velzen J.E., de Boer S.M. et al. Noninvasive computed tomography coronary angiography as a gatekeeper for invasive coronary angiography // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* - 2013. - Vol.29. - P.221-228.

36. Dewey M., Zimmermann E., Deissenrieder F. et al. Noninvasive coronary angiography by 320-row computed tomography with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy: comparison of results with cardiac catheterization in a head-to-head pilot investigation // *Circulation.*- 2009. – Vol .120. – P.867-875.

37. Di Cesare E., Gennarelli A., Di Sibio A. et al. Assessment of dose exposure and image quality in coronary angiography performed by 640-sliceCT: a comparison between adaptive iterative and filtered back-projection algorithm by propensity analysis // *Radiol. Med.* - 2014. - Vol.119. - P.642-649.

38. Di Cesare E., Gennarelli A., Di Sibio A. et al. Image quality and radiation dose of single heartbeat 640-slice coronary CT angiography: a comparison

between patients with chronic atrial fibrillation and subjects in normal sinus rhythm by propensity analysis // *Eur. J. Radiol.* - 2015. - Vol.84. - P.631-636.

39. Di Cesare E., Di Sibio A., Gennarelli A. et al. Low Dose versus Standard Single Heartbeat Acquisition Coronary Computed Tomography Angiography // *J. Clin. Imaging Sci.* – 2018. – Vol.8. – P.52.

40. Dijkers R., Greuter M.J., Kristanto W. et al. Assessment of image quality of 64-row Dual Source versus Single Source CT coronary angiography on heart rate: a phantom study // *Eur. J. Radiol.* - 2009. – Vol. 70. – P.61-68.

41. Farooq V., van Klaveren D., Steyerberg E. et al. Anatomical and clinical characteristics to guide decision making between coronary artery bypass surgery and percutaneous coronary intervention for individual patients: development and validation of SYNTAX score II // *Lancet.* - 2013. - Vol.381. - P.639-650.

42. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H. et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system // *Eur. Radiol.* – 2006. – Vol.16. – P.256-268.

43. Foldyna B., Szilveszter B., Scholtz J.E. et al. CAD-RADS - a new clinical decision support tool for coronary computed tomography angiography // *Eur. Radiol.*- 2018. – Vol.28. – P.1365-1372.

44. Furlow B. Radiation dose in computed tomography // *Radiol Technol.* - 2010. - Vol.81. - P.437-450.

45. Gaemperli O., Bengel F.M., Kaufmann P.A. Cardiac hybrid imaging // *Eur. Heart. J.* - 2011. – Vol.32. – P.2100-2108.

46. Garcia-Lledo A., Moya-Mur J.L., Ponz-Mir V. et al. Relationship Among Risk Score Systems and Coronary Atherosclerosis Determined by Multislice Computed Tomography // *Clin Cardiol.* – 2016. – Vol. 39. – P. 603-607.

47. Gassenmaier T., Petri N., Allmendinger T. et al. Next generation coronary CT angiography: in vitro evaluation of 27 coronary stents // *Eur. Radiol.* – 2014. – Vol.24. – P.2953-2961.

48. Gaudio C., Pelliccia F., Evangelista A. et al. 320-row computed tomography coronary angiography vs. conventional coronary angiography in

patients with suspected coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis // *Int. J. Cardiol.* – 2013. – Vol. 168. - P.1562-1564.

49. Gerber T.C., Kuzo R.S., Lane G.E. et al. Image quality in a standardized algorithm for minimally invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography // *J. Comput. Assist. Tomogr.* - 2003. – Vol.27.- P.62–69.

50. Giesler T., Baum U., Ropers D. et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection // *Am. J. Roentgenol.* – 2002. – Vol.179.- P.911–916.

51. Hadamitzky M., Achenbach S., Al-Mallah M. et al. Optimized prognostic score for coronary computed tomographic angiography: results from the CONFIRM registry (CORonary CT Angiography EvaluatioN For Clinical Outcomes: An InteRnational Multicenter Registry) // *J. Am. Coll Cardiol.* - 2013. - Vol.62. - P.468-476.

52. Hadjiiski L., Liu J., Chan H.P. et al. Best-Quality Vessel Identification Using Vessel Quality Measure in Multiple-Phase Coronary CT Angiography // *Comput. Math. Methods Med.* - 2016. - Vol.216. - P.1-13.

53. Halpern E.J. Clinical applications of cardiac CT angiography // *Insights Imaging.* - 2010. – Vol.1. – P.205–222.

54. Hickethier T., Wenning J., Doerner J. et al. Fourth update on CT angiography of coronary stents: in vitro evaluation of 24 novel stent types // *Acta Radiologica.* - 2017. - Vol.59. – P.1060-1065.

55. Hoe J., Toh K.H. First experience with 320-row multidetector CT coronary angiography scanning with prospective electrocardiogram gating to reduce radiation dose // *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* - 2009. – Vol.3. – P.257–261.

56. Hou Y., Yue Y., Guo W. et al. Prospectively versus retrospectively ECG-gated 256-slice coronary CT angiography: image quality and radiation dose over expanded heart rates // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* – 2012. – Vol. 28. – P. 153-162.

57. Hou Y., Ma Y., Fan W. et al. Diagnostic accuracy of low-dose 256-slice multi-detector coronary CT angiography using iterative reconstruction in patients with suspected coronary artery disease // *Eur. Radiol.* – 2014. – Vol. 24. – P. 3-11.
58. Hu X.H., Zheng W.L., Wang D. et al. Accuracy of highpitch prospectively ECG-triggering CT coronary angiography for assessment of stenosis in 103 patients: comparison with invasive coronary angiography // *Clin. Radiol.* - 2012. - Vol.67. - P.1083-1088.
59. Joshi H., Shah R., Prajapati J. et al. Diagnostic Accuracy of Computed Tomography Angiography as Compared to Conventional Angiography in Patients Undergoing Noncoronary Cardiac Surgery // *Heart Views.* – 2016. – Vol. 17. – P. 88-91.
60. Karami M., Sajjadih A., Moradi A. et al. The Value of Multi-slice Computed Tomography Compared to Conventional Coronary Angiography for Detecting In-stent Restenosis // *Adv Biomed Res.* – 2017. – Vol. 6. – P. 92.
61. Ketelsen D., Horger M., Buchgeister M. et al. Estimation of Radiation Exposure of 128-Slice 4D-Perfusion CT for the Assessment of Tumor Vascularity // *Korean J. Radiol.* – 2010. – Vol.11. – P.547–552.
62. Kirschbaum S.W., Nieman K., Springeling T. et al. Non-invasive diagnostic workup of patients with suspected stable angina by combined computed tomography coronary angiography and magnetic resonance perfusion imaging // *Circ. J.* – 2011. – Vol.75. – P.1678-1684.
63. Kohsaka S., Makaryus A.N. Coronary angiography using noninvasive imaging techniques of cardiac CT and MRI // *Curr. Cardiol. Rev.* – 2008. – Vol.4. – P.323-330.
64. Kruk M., Noll D., Achenbach S. et al. Impact of coronary artery calcium characteristics on accuracy of CT angiography // *JACC Cardiovasc. Imag.* – 2014. –Vol.7. P.49–58.
65. La Grutta L., Galia M., Gentile G. et al. Comparison of iodinated contrast media for the assessment of atherosclerotic plaque attenuation values

by CT coronary angiography: observations in an ex vivo model // *Br. J. Radiol.* – 2013. – Vol.86. – P.2012-2018.

66. Lansky A.J., Ng V.G., Maehara A. et al. Gender and the extent of coronary atherosclerosis, plaque composition, and clinical outcomes in acute coronary syndromes // *JACC Cardiovasc. Imaging.* – 2012. – Vol.5 (3 Suppl). – P.62-72.

67. Lardo A.C., Cordeiro M.A., Silva C. et al. Contrast-enhanced multidetector computed tomography viability imaging after myocardial infarction: characterization of myocyte death, microvascular obstruction, and chronic scar // *Circulation.* – 2006. – Vol. 113. – P.394-404.

68. Lefèvre T., Louvard Y., Morice M. et al. Stenting of bifurcation lesions: classification, treatments, and results // *Catheter Cardiovasc. Interv.* – 2000. – Vol.49. – P.274-283.

69. Lee A.B., Nandurkar D., Schneider-Kolsky M.E. et al. Coronary image quality of 320-MDCT in patients with heart rates above 65 beat per minute: preliminary experience // *Am. J. Roentgenol.* - 2011. – Vol.196. – W729-735.

70. Leipsic J., Labounty T.M., Heilbron B. et al. Estimated radiation dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction in coronary CT angiography: the ERASIR study // *Am. J. Roentgenol.* – 2010.–Vol.195.–P.655-660.

71. Lessick J., Klass O., Wuchenauer S. et al. Automatic determination of differential coronary artery motion minimal for cardiac computed tomography optimal phase selection // *Academic Radiology.* - 2015. - Vol.22. - P.697–703.

72. Li A., Peng Z., Zhang C. Comparison of Echocardiography and 64-Multislice Spiral Computed Tomography for the Diagnosis of Pediatric Congenital Heart Disease // *Med. Sci. Monit.* – 2017. – Vol. 23. – P. 2258-2266.

73. Li S., Ni Q., Wu H. et al. Diagnostic accuracy of 320-slice computed tomography angiography for detection of coronary artery stenosis: meta-analysis // *Int. J. Cardiol.* – 2013. – Vol. 168. – P.2699-2705.

74. Liu S., Fu Q., Yu H. et al. Evaluate of the effect of low tube voltage on the radiation dosage using 640-slice coronary CT angiography // *J. X-Ray Sci.*

Technol. – 2018. – Vol. 26. – P.463-471.

75. Mander G.T.W. Computed tomography coronary angiography with heart rate control premedication // JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports. - 2017. – Vol.15. – P.1968–1976.

76. Maroules C. D., Hamilton-Craig C., Branch K. et al. Coronary artery disease reporting and data system (CAD-RADS™): Inter-observer agreement for assessment categories and modifiers // J. Cardiovasc. Comp. Tomography. – 2018. – Vol.12. – P.125–130.

77. Marwan M., Taher M.A., El Meniawy K. et al. In vivo CT detection of lipid-rich coronary artery atherosclerotic plaques using quantitative histogram analysis: a head to head comparison with IVUS // Atherosclerosis. - 2011. - Vol.215.- P.110-115.

78. Meng L., Cui L., Cheng Y. et al. Effect of heart rate and coronary calcification on the diagnostic accuracy of the dual-source CT coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease // Korean J. Radiol. - 2009. - Vol.10. - P.347–354.

79. Min J.K., Shaw L.J., Devereux R.B. et al. Prognostic value of multidetector coronary computed tomographic angiography for prediction of all-cause mortality // J. Am. Coll. Cardiol. - 2007. - Vol.50.- P.1161-1170.

80. Min J.K., Dunning A., Lin F.Y. et al. Rationale and design of the CONFIRM (CORonary CT Angiography EvaluatioN For Clinical Outcomes: An InteRnational Multicenter) Registry // J. Cardiovasc. Comput. Tomogr. - 2011. - Vol.5. - P.84-92.

81. Mizouni H., Arous Y., Hedhli M. et al. Multislice computerized tomography of the heart and coronary arteries //Tunis Med.-2012. –Vol.90. – P.201-204.

82. Mladenovic Z., Djordjevic-Dikic A., Tavciovski D. et al. The additive diagnostic role of coronary flow reserve in noninvasive evaluation of coronary stenosis on left descending artery previously detected by multislice computed tomography // Echocardiography. - 2013. – Vol.30. – P.338-344.

83. Naghavi M., Libby P., Falk E. et al. From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part I. // *Circulation*. - 2003. – Vol.108. – P.1664–1672.

84. Nafakhi H., Al-Mosawi A., Al-Nafakh H., Tawfeeq N. Association of pericardial fat volume with coronary atherosclerotic disease assessed by CT angiography // *Br. J. Radiol*. – 2014. – Vol.87. – P.2013.

85. Nance J.W., Schlett C.L., Schoepf U.J. et al. Incremental prognostic value of different components of coronary atherosclerotic plaque at cardiac CT angiography beyond coronary calcification in patients with acute chest pain // *Radiology*. - 2012. - Vol.264. - P.679-690.

86. Napel S., Marks M.P., Rubin G.D. et al. CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection // *Radiology*. - 1992. - Vol.185. - P.607-610.

87. Nishimura R.A., Otto C.M., Bonow R.O. et al. 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines // *J. Am. Coll. Cardiol*. – 2014. – Vol.63. – e57-185.

88. Oncel G., Oncel D. Anomalous Origin of the Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery: Diagnosis with CT Angiography // *J. Clin. Imaging Sci*. – 2013. – Vol.30. – P.3-4.

89. Onuma Y., Dudek D., Thuesen L. et al. Five-year clinical and functional multislice computed tomography angiographic results after coronary implantation of the fully resorbable polymeric everolimus-eluting scaffold in patients with de novo coronary artery disease: the ABSORB cohort A trial // *JACC Cardiovasc. Interv*. – 2013. – Vol.6. – P.999-1009.

90. Onuma Y., Collet C., van Geuns R.J. et al. Long-term serial non-invasive multislice computed tomography angiography with functional evaluation after coronary implantation of a bioresorbable everolimus-eluting scaffold: the ABSORB cohort B MSCT substudy // *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. – 2017. – Vol. 18. – P. 870-879.

91. Padole A., Singh S., Lira D. et al. Assessment of Filtered Back Projection, Adaptive Statistical, and Model-Based Iterative Reconstruction for Reduced Dose Abdominal Computed Tomography // *J. Comput. Assist. Tomogr.* – 2015. – Vol. 39. – P.462-467.

92. Park M.J., Jung J.I., Choi Y.S. et al. Coronary CT angiography in patients with high calcium score: evaluation of plaque characteristics and diagnostic accuracy // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* - 2011. - Vol.27. - P.43–51.

93. Pelliccia F., Pasceri V., Evangelista A. et al. Diagnostic accuracy of 320-row computed tomography as compared with invasive coronary angiography in unselected, consecutive patients with suspected coronary artery disease // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* – 2013. – Vol.29. – P.443-452.

94. Pesenti-Rossi D., Chouli M., Gharbi M. et al. Coronary aorto-ostial stenosis analysed by multislice computed tomography: a new tool for percutaneous coronary intervention? // *EuroIntervention.* – 2011. – Vol. 6. – P.717-721.

95. Pesenti Rossi D., Caussin C., Baron N. et al. Coronary graft angioplasty guided by MSCT: an unexpected ostial stent deformation // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* - 2013. – Vol.14. - P.308.

96. Petcherski O., Gaspar T., Halon D. et al. Diagnostic accuracy of 256-row computed tomographic angiography for detection of obstructive coronary artery disease using invasive quantitative coronary angiography as reference standard // *Am. J. Cardiol.* - 2013. – Vol.111. – P.510-515.

97. Qin J., Liu L.Y., Fang Y. et al. 320-detector CT coronary angiography with prospective and retrospective electrocardiogram gating in a single heartbeat: comparison of image quality and radiation dose // *Br. J. Radiol.* - 2012. – Vol.85. – P. 945-951.

98. Qu X., Fang W., Gong K. et al. Clinical significance of a single multi-slice CT assessment in patients with coronary chronic total occlusion lesions prior to revascularization // *PLoS One.* - 2014. – Vol.9. – e98242.

99. Raff G.L., Abidov A., Achenbach S. et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary computed tomographic angiography // *J.*

Cardiovasc. Comp. Tomography. – 2009. – Vol.3. – p.122-136.

100. Rief M., Zimmermann E., Stenzel F. et al. Computed tomography angiography and myocardial computed tomography perfusion in patients with coronary stents: Prospective intraindividual comparison with conventional coronary angiography // J. Am. Coll. Cardiol. - 2013. - Vol.62. - P.1476–1485.

101. Rochitte C.E., George R.T., Chen M.Y. et al. Computed tomography angiography and perfusion to assess coronary artery stenosis causing perfusion defects by single photon emission computed tomography: the CORE320 study // Eur. Heart J. – 2014. – Vol.35. – P.1120-1130.

102. Rubin G.D., Shiao M.C., Schmidt A.J. et al. Computed tomographic angiography: historical perspective and new state-of-the-art using multi detector-row helical computed tomography//J. Comput. Assist. Tomogr. - 1999.- Vol.23, Suppl.1.-P.83-90.

103. Ruzsics B., Lee H., Zwerner P.L. et al. Dual-energy CT of the heart for diagnosing coronary artery stenosis and myocardial ischemia-initial experience // Eur. Radiol. – 2008. – Vol.18. – P.2414-2424.

104. Rybicki F., Otero H., Steigner M. et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography // Int. J. Cardiovasc. Imaging. - 2008. – Vol. 24. - P. 535-546.

105. Ryan T.J., Faxon D.P., Gunnar R.M. et al. Guidelines for percutaneous transluminal coronary angioplasty. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures (Subcommittee on Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty) // Circulation. - 1988. - Vol.78. - P.486-502.

106. Sabarudin A., Sun Z. Coronary CT angiography: Diagnostic value and clinical challenges // World J. Cardiol. – 2013. – Vol.26.- P.473-483.

107. Schuhbaeck A., Schmid J., Zimmer T. et al. Influence of the coronary calcium score on the ability to rule out coronary artery stenoses by coronary CT angiography in patients with suspected coronary artery disease // J. Cardiovasc. Comput. Tomography. – 2016. – Vol.10. – P.343-350.

108. Schwartz R.B., Jones K.M., Chernoff D.M. et al. Common carotid artery bifurcation: evaluation with spiral CT. Work in progress // Radiology. - 1992. - Vol.185. - P.513-519.

109. Serruys P.W., Unger F., van Hout B.A. et al. The ARTS study (Arterial Revascularization Therapies Study) // Semin. Interv. Cardiol. - 1999. - Vol.4. - P.209-219.

110. Serruys P.W., Morice M.C., Kappetein A.P. et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease // N Engl. J. Med. - 2009. - Vol.360. - P.961-972.

111. Serruys P.W., Ormiston J., van Geuns R.J. et al. A polylactide bioresorbable scaffold eluting everolimus for treatment of coronary stenosis: 5-year follow-up // J. Am. Coll. Cardiol. - 2016. - Vol.67. - P.766–776.

112. Shah P.K. Inflammation, neointimal hyperplasia, and restenosis: As the leukocytes roll, the arteries thicken // Circulation. - 2003. - Vol.107. - P.2175–2177.

113. Song L.N., Cao A.D., Niu Y.J., Liu N. Correlation of coronary artery stenosis evaluation with left heart structure and function by multi-slice computed tomography // Genet. Mol. Res. - 2014. – Vol.13. – P.5940-5948.

114. Suh Y.J., Hong Y.J., Lee H.J. et al. Prognostic value of SYNTAX score based on coronary computed tomography angiography // Int. J. Cardiol. - 2015. - Vol.199. - P.460-466.

115. Sun Z., Cao Y., Li H.F. Multislice computed tomography angiography in the diagnosis of coronary artery disease // J. Geriatr. Cardiol. - 2011.- Vol.8. - P.104–113.

116. Sun Z., Aziz Y.F., Ng K.H. Coronary CT angiography: how should physicians use it wisely and when do physicians request it appropriately? // Eur. J. Radiol. - 2012. – Vol. 81. – P. 684-687.

117. Sun Z. Cardiac CT imaging in coronary artery disease: Current status and future directions // Quant. Imaging Med. Surg. – 2012. – Vol. 2. – P. 98-105.

118. Sun Z., Ng K.H. Diagnostic value of coronary CT angiography with prospective ECG-gating in the diagnosis of coronary artery disease: a systematic

review and meta-analysis // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* – 2012. – Vol. 28. – P.2109-2119.

119. Sun Z., Sabarudin A. Coronary CT angiography: State of the art // *World J. Cardiol.* - 2013. – Vol.5. – P.442-443.

120. Sun H., Xue H., Jin Z. et al. Non-enhanced Low-tube-voltage High-pitch Dual-source Computed Tomography with Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction Algorithm of the Abdomen and Pelvis // *Chin. Med. Sci J.* – 2014. – Vol.29. – P.214-220.

121. Szilveszter B., Kolossváry M., Karády J. et al. Structured reporting platform improves CAD-RADS assessment // *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.*-2017. - Vol.11. – P.449-454.

122. Takaoka H., Funabashi N., Uhera M. et al. Diagnostic accuracy of coronary 320 slice CT angiography using retrospective electrocardiogram gated acquisition compared with virtual prospective electrocardiogram gated acquisition with and without padding // *Int. J. Cardiol.* - 2013. – Vol.168. – P.2811-2815.

123. Tanami Y., Ikeda E., Jinzaki M. et al. Computed tomographic attenuation value of coronary atherosclerotic plaques with different tube voltage: an ex vivo study // *J. Comput. Assist. Tomogr.* - 2010. - Vol.34. - P.58-63.

124. Tavakol M., Ashraf S., Brener S.J. Risks and complications of coronary angiography: A comprehensive review // *Glob. J. Health Sci.* - 2012. - Vol.4. - P.65-93.

125. Topol E.J. Textbook of interventional cardiology. 4th ed.- Philadelphia: Saunders, 2003.

126. Vahanian A., Alfieri O., Andreotti F. et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) // *Eur. Heart J.* - 2012. – Vol. 33, P. 2451-2496.

127. Van Velzen J.E., De Graaf F.R., Kroft L.J. et al. Performance and efficacy of 320-row computed tomography coronary angiography in patients

presenting with acute chest pain: results from a clinical registry // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* – 2012. – Vol. 28. – P. 865-876.

128. Wang C.L., Cohan R.H., Ellis J.H. et al. Frequency, management, and outcome of extravasation of nonionic iodinated contrast medium in 69,657 intravenous injections // *Radiology.* - 2007. - Vol.243. - P.80-87.

129. Wang G., Yu H., De Man B. An outlook on x-ray CT research and development // *Med. Phys.* - 2008. – Vol.35. – P.1051-1064.

130. Wang R., Liu X., Wang C. et al. Higher coronary artery calcification score is associated with adverse prognosis in patients with stable angina pectoris // *J. Thorac. Dis.* – 2017. – Vol. 9. – P. 582-589.

131. Wu Y., Zheng M., Zhao H. et al. Low-concentration contrast material for dual-source computed tomography coronary angiography by a combination of iterative reconstruction and low-tube-voltage technique: feasibility study // *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* – 2014. - Vol.94. – P.2260-2263.

132. Xie J.X., Cury R.C., Leipsic J. et al. The Coronary Artery Disease-Reporting and Data System (CAD-RADS): Prognostic and Clinical Implications Associated With Standardized Coronary Computed Tomography Angiography Reporting // *JACC Cardiovasc. Imaging.* – 2018. - Vol.11. – P.78-89.

133. Yamanaka F., Ooyama S., Tobita K. et al. Is 320-Slice Computed Tomography Coronary Angiography Really Useful for Symptomatic Patients? // *Amer. J. Cardiol.* – 2012. – Vol.109. - S125.

134. Yoo R.-E., Park E.-A., Lee W. et al. Image quality of Adaptive Iterative Dose Reduction 3D of coronary CT angiography of 640-slice CT: comparison with filtered back-projection // *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* - 2013.–Vol. 29. – P.669–676.

135. Yue J., Chen J., Dou W. et al. Comparative analysis between 64- and 320-slice spiral computed tomography in the display of coronary artery stents and diagnosis of in-stent restenosis // *Exp. Ther. Med.* – 2015. – Vol. 10. – P. 1871-1876.

136. Zhou Q., Jiang B., Dong F. et al. Computed tomography coronary stent imaging with iterative reconstruction: a trade-off study between medium kernel and sharp kernel // *J. Comput. Assist. Tomogr.* – 2014. - Vol.38. – P.604-612.