

КОМАРОВА Мария Александровна

**ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ
КОРОНАРОГРАФИИ**

14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук**

Москва – 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (ректор – академик РАН, профессор Садовничий В. А.) и ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России (директор – член-корр. РАМН Лядов К.В.).

Научный руководитель

доктор медицинских наук, профессор **Синицын Валентин Евгеньевич**

Официальные оппоненты:

- доктор медицинских наук **Ховрин Валерий Владиславович**, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», отделение рентгенодиагностики и компьютерной томографии, заведующий отделением

- член-корреспондент РАН, профессор **Коков Леонид Сергеевич**, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы», отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения, руководитель отделения

Ведущее учреждение:

ГБУЗ МО "Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского"

Защита диссертации состоится «24» октября 2016 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д.208.081.01 при ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России по адресу: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 86

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России

Автореферат разослан «_____» _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор

Цаллагова З.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Последние пятьдесят лет мир переживает пандемию сердечнососудистых заболеваний (ССЗ). К началу 20 века ССЗ составляли менее 10% всех летальных исходов. Однако уже в начале 21 века эта цифра возросла до 50 % в развитых и 25% в развивающихся странах (Lloyd-Jonse D., 2009).

Для нашей страны, имеющей самые высокие показатели смертности от ССЗ среди стран Европы и Северной Америки, проблема их диагностики является крайне актуальной (Терновой С. К., 2005). Золотым стандартом диагностики состояния коронарного русла является инвазивная коронароангиография (КАГ). Зачастую КАГ выполняется как первый метод диагностики у пациентов с подозрением на наличие ИБС. При этом только у 1/3 пациентов КАГ сочетается с одновременной реваскуляризацией миокарда, в остальных же случаях она выполняется с диагностической целью (Togni M., 2004).

Следует отметить, что высокая стоимость, летальность (0,1-0,2% случаев) и осложнения (инфаркт миокарда – 0,1 %) КАГ ограничивают её широкое использование в качестве метода выбора диагностики атеросклероза коронарных артерий (КА) (Wittlinger T., 2002; Gibbons R.J., 2003). В связи с этим широкое распространение получили неинвазивные методы исследования.

Неинвазивным и наиболее эффективным методом обследования коронарного русла считается мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). Методика имеет целый ряд преимуществ, среди которых отсутствие необходимости в госпитализации, возможность оценки типа атеросклеротических бляшек, получение информации о других структурах сердечнососудистой системы и оценка риска сердечно-сосудистых событий (Gibbons R.J., 2003; Vanhoenacker P.K., 2007; Achenbach S., 2009).

Было показано, что компьютерная томографическая (КТ) коронарография обладает высокой диагностической точностью в определении поражения КА и может заменить проведение обычной КАГ (Терновой С.К., 2003; 2005; 2008; Сеницын В.Е., 2006; 2007; Mettler F.A., 2000; Meijboom W.B., 2008; Miller J.M., 2008; Abdulla J., 2011).

Однако, несмотря на высокую точность КТ коронарографии, многие исследователи считают, что основные ограничения использования данного метода визуализации связаны с недостаточным количеством сведений о безопасности методики для пациента. В частности, основные проблемы безопасности МСКТ КА связаны с лучевой нагрузкой, которая приводит к повышенному риску

развития рака, и йодной нагрузкой на пациента, которая повышает риск развития контраст-индуцированной нефропатии (КИН) (Braun S., 1996; ten Kate G.J., 2008; Schoenhagen P., 2009; Christensen J.D., 2011).

Лучевая нагрузка при проведении КТ коронарографии может варьировать в широких пределах – от 0,1 до 30 мЗв. Были предложены различные методы, позволяющие снизить лучевую нагрузку на пациента: использование проспективной синхронизации с электрокардиографией (ЭКГ), модулирование силы тока и напряжения тока на трубке, использование новых томографов с 320 рядами датчиков, алгоритм статистической итеративной реконструкции «сырых» данных (ASIR). Основными факторами, позволяющими снизить частоту развития КИН, является снижение объема и концентрации йода вводимого контрастного вещества (КВ) (Thomsen HS, 2008; Thomsen HS, Morcos SK, 2008; McCullough PA, 2008).

Необходимо отметить, что большинство доступных нам зарубежных публикаций посвящены либо возможностям снижения лучевой нагрузки, либо возможностям снижения объема и концентрации вводимого КВ. Работы, включающие в себя комплексный анализ возможности оптимизации протокола КТ коронарографии, отсутствуют.

Цель исследования

Разработать протокол исследования КТ коронарографии с низкой лучевой и низкой йодной нагрузкой у пациентов с подозрением на ишемическую болезнь сердца на амбулаторно-поликлиническом этапе.

Задачи исследования

1. Сравнить показатели лучевой нагрузки на пациента и качества изображений коронарных артерий при проведении КТ коронарографии с ретроспективной и проспективной ЭКГ-синхронизацией.

2. Определить эффективность применения современных типов компьютерных томографов с целью улучшения качества полученных изображений коронарных артерий (итеративной реконструкции, программы коррекции артефактов движения).

3. Оценить качество изображений коронарных артерий при использовании протокола с низкой лучевой и йодной нагрузкой в сравнении с обычным протоколом обследования пациентов.

4. Оценить возможности и эффективность низкодозной КТ коронарографии в диагностике атеросклероза коронарных артерий на амбулаторно-поликлиническом этапе.

Положения, выносимые на защиту:

1. Использование оптимизированных протоколов сканирования при проведении КТ коронарографии позволяет сделать данное исследование более безопасным для пациента без потери диагностической информации.

2. Методика низкодозной КТ коронарографии с высокой точностью выявляет стеноз коронарных артерий и проводит дифференциальную диагностику с другими угрожающими жизни состояниями, являющимися причиной развития боли в области грудной клетки. У многих пациентов своевременное использование низкодозной КТ коронарографии позволяет отказаться от выполнения КАГ.

Научная новизна исследования

Были оценены возможности и рассчитана эффективность низкодозной КТ коронарографии в диагностике атеросклероза коронарных артерий на амбулаторно-поликлиническом этапе. Впервые был произведен комплексный анализ возможностей оптимизации протоколов КТ исследования коронарных артерий с целью повышения безопасности методики для пациента. На основании результатов проведенного исследования были разработаны и предложены оптимальные протоколы сканирования в зависимости от частоты сердечных сокращений и индекса массы тела, позволяющие сделать проведение КТ коронарографии более безопасной для пациента.

Практическая значимость исследования

Предложен алгоритм использования различных протоколов сканирования при КТ коронарографии в зависимости от категории больных, позволяющий максимально снизить лучевую нагрузку на пациента без потери диагностической информации. Доказано, что низкодозная КТ коронарография является методом выбора диагностики пациентов с подозрением на ИБС на амбулаторно-поликлиническом этапе, поскольку обладает высокой диагностической информативностью. Разработан протокол сканирования пациентов с низкой лучевой нагрузкой, что делает проведение исследования более безопасным для пациента.

Внедрение результатов исследования

Результаты выполненного научного исследования внедрены в клиническую практику ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России. Основные положения диссертации используются в учебном процессе на курсе лучевой диагностики ФФМ МГУ.

Апробация работы

Основные положения диссертации доложены на Европейском конгрессе радиологов (Вена, 2011, 2013, 2014, 2015), на Лейденской международной медицинской студенческой конференции (Лейден, 2011), на VIII Всероссийском Национальном Конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2014» (28-30 мая, 2014).

Апробация работы состоялась 20.11.2015 года на совместном заседании научно-практической конференции кафедры многопрофильной клинической подготовки ФГБОУ ВПО «МГУ имени М.В. Ломоносова», кафедры общей и специализированной хирургии ФГБОУ ВПО «МГУ имени М.В. Ломоносова» и ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из них 4 статьи в рецензируемых российских журналах, рекомендуемых ВАК, и 14 тезисных докладов, напечатанных в материалах научных конференций и конгрессов.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 123 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы.

Работа иллюстрирована 20 таблицами и 39 рисунками. Список литературы включает 220 источника, из них 22 отечественных и 198 зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Характеристика клинического материала и метода исследования

В исследование было включено 435 пациентов, направленных в отделение лучевой диагностики для оценки состояния КА. У всех пациентов были жалобы на боль/ дискомфорт/ сдавление в области грудной клетки.

У 265 пациентов были оценены возможности оптимизации протокола КТ коронарографии с целью снижения как лучевой, так и йодной нагрузки, изучены возможности использования современных томографов с опциями ASIR и алгоритмом коррекции артефактов движения (SSF) с целью улучшения качества изображений КА.

У остальных 170 пациентов была проанализирована эффективность использования разработанного протокола низкодозной КТ коронарографии на амбулаторно-поликлиническом этапе.

Основные критерии включения больных в исследование:

1. Подписанное информированное согласие
2. Показания к КТ коронарографии (наличие или подозрение на ишемическую болезнь сердца (ИБС) или заболевание сердца)
3. Синусовый ритм
4. Отсутствие противопоказаний к введению контрастного препарата
5. Отсутствие противопоказаний к использованию бета-блокаторов.

Критерии исключения больных из исследования:

1. Беременные или кормящие женщины.
2. Нарушение сердечного ритма, частые (>5 /мин) экстрасистолы.
3. Наличие противопоказаний к введению контрастного препарата.
4. Сердечная недостаточность по NYHA III-IV.
5. Гиперчувствительность к активному компоненту препарата или любому вспомогательному веществу.
6. Тяжелый тиреотоксикоз.

Пациентам исследование проводили на 64-спиральном томографе. Пациентам с частотой сердечных сокращений (ЧСС) >80 ударов/минуту за 15-20 минут до исследования в/в вводили β -блокаторы (метопролол, 25 мг). Сканирование проводили в краниокаудальном направлении, на задержке дыхания. С помощью автоматического инжектора внутривенно со скоростью 4-5 мл/с вводили 80-100 мл неионного КВ.

Все пациенты, включенные в исследование, были разделены в зависимости от поставленных задач на пять групп.

Пациенты, у которых оценивали возможность применения проспективной ЭКГ-синхронизации (группа 1)

В данную группу было включено 107 пациентов (средний возраст 59 ± 11 лет). Пациенты были обследованы с использованием двух разных протоколов сканирования: низкодозного (1-ая подгруппа) и стандартного (2-ая подгруппа).

1-ю подгруппу составили 50 пациентов, которым КТ коронарография была выполнена с использованием проспективной ЭКГ-синхронизации; средний возраст – $59 \pm 10,5$ лет (от 38 до 81).

Во *2-ю подгруппу* были также включены 50 пациентов, средний возраст - $59 \pm 11,9$ лет (от 39 до 90). В данной подгруппе при проведении исследования использовали ретроспективный метод ЭКГ-синхронизации.

Все полученные изображения КА оценивались по их качеству от 1 до 4 (табл.1). Качество изображений оценивалось субъективно для каждой КА (ствол

ЛКА, ПМЖА, ОА, ПКА) в отдельности. После этого рассчитывался итоговый показатель путем усреднения значений, полученных при оценке всех КА.

Таблица 1

Шкала оценки качества полученного изображения (от 1-4)

1 балл	Отличная визуализация всех КА
2 балла	Хорошее качество изображений, без ущерба диагностической информации (минимальные артефакты движения)
3 балла	Удовлетворительное качество изображений (артефакты, связанные с движением либо с высоким шумом, степ-артефакты не менее 25% диаметра сосуда)
4 балла	Недиагностические изображения (артефакты движения, степ-артефакты более 25% диаметра сосуда, наличие прерывистости или смазанность контуров КА)

У всех пациентов помимо субъективной оценки качества изображений были рассчитаны уровень контраста и шума изображений, а также соотношения сигнал/шум (SNR) и контраст/шум (CNR) (рис.1). Для расчета значения SNR была выбрана зона интереса площадью 100 мм² на уровне корня восходящей аорты (ВА) (синусов Вальсальвы). В данной зоне интереса были определены уровень контраста и шума, и, исходя из этих значений, рассчитано значение SNR. Значение CNR было рассчитано как разница SNR между двумя исследуемыми клиническими областями (контрастированных КА и миокарда):

$$CNR = SNR (\text{контрастированные артерии}) - SNR (\text{миокард}).$$

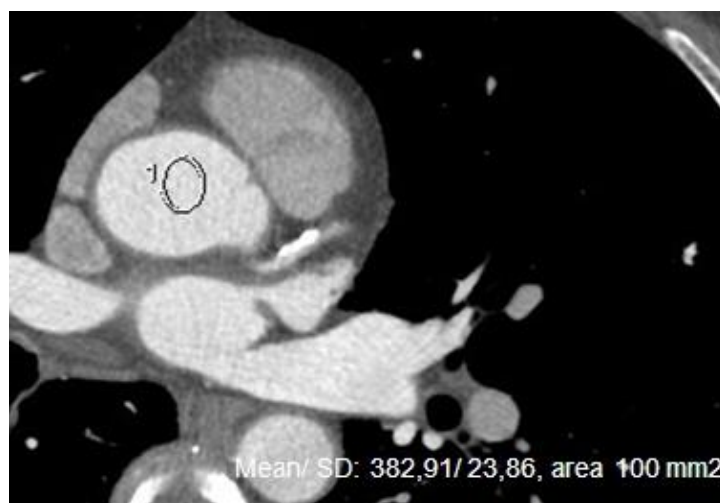


Рис. 1. КТ коронарография, аксиальный срез на уровне корня ВА. Продемонстрировано измерение SNR и CNR.

**Пациенты, у которых оценивали эффективность использования
современных типов компьютерных томографов
Использование адаптивной статистической итеративной
реконструкции (группа 2)**

Было включено 60 пациентов (средний возраст – 61 ± 10 лет), которые составили следующие подгруппы:

1-ая подгруппа – 30 пациентов (средний возраст – $61 \pm 9,7$ лет), которым КТ коронарография была выполнена с использованием фильтрованного алгоритма обратной проекции (FBP). Исследование проводили на 64-срезовом томографе: напряжение тока на трубке 120 кВ, сила тока на трубке – $535 \pm 30,57$ мА, фильтр жесткости – B41 f (табл. 2).

2-ая подгруппа – 30 пациентов (средний возраст – 61 ± 10 лет), которым при проведении КТ использовали 40 % ASIR. КТ проводили на Discovery CT 750 MD (General Electric): напряжение тока на трубке 100 кВ, сила тока на трубке – $596 \pm 10,2$ мА (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика подгрупп пациентов и параметров протоколов сканирования КТ коронарографии

Параметр	1-я подгруппа	2-я подгруппа	P
Возраст ¹	$61 \pm 9,65$	$61 \pm 10,9$	0,54
ЧСС (уд/мин) ¹	$62,7 \pm 8,3$	$59 \pm 8,9$	0,71
ИМТ (кг/м ²) ²	29,6 [6,9]	28,3 [5,9]	0,68
Толщина среза	0,625	0,625	-
Матрица изображения	512x512	512x512	-
Напряжение тока (кВ)	120	100	0,0001
Сила тока (мА) ¹	$535 \pm 30,57$	$596 \pm 10,2$	0,001
Синхронизация с ЭКГ	Ретроспективная	Ретроспективная	-
Алгоритм реконструкции	FBP	ASIR	-

¹ Среднее значение \pm стандартное отклонение

² Медиана [квартиль]

Анализ качества полученных изображений включал в себя оценку уровня контраста, шума и SNR на уровне ВА, миокарда, полости левого желудочка (ЛЖ) и легочного ствола (рис. 1).

Использование программы коррекции артефактов движения (группа 3)

В группу было включено 42 пациента (средний возраст – $60 \pm 13,4$ лет). Исследование проводили по протоколу низкодозной КТ коронарографии с использованием проспективной ЭКГ-синхронизации и нового алгоритма 40% ASIR.

В зависимости от ЧСС все пациенты были разбиты на две подгруппы:

1 подгруппа – пациенты с ЧСС более 60 уд/мин (высокая ЧСС, 21 пациент);

2 подгруппа – пациенты с ЧСС менее 60 уд/мин (низкая ЧСС, 21 пациент).

Для каждого пациента использовали новый алгоритм коррекции артефактов движения – SnapShot Freeze (SSF).

Все полученные изображения, как с использованием стандартной реконструкции, так и с использованием SSF, оценивались согласно их качеству по 4-ех балльной шкале (табл. 1). Качество изображений оценивалось для всех сегментов КА (использовалась 16 сегментарная модель), для каждой КА в отдельности (ствол ЛКА, ПМЖА, ОА, ПКА), а также определялся итоговый показатель качества КА, полученный путем усреднения всех значений.

Пациенты, которым проводили исследование по протоколу низкой лучевой и йодной нагрузки (группа 4)

В данной группе были проанализированы результаты исследования КТ КА у 71 пациента (средний возраст – 57 ± 11 лет).

Пациенты были обследованы с использованием двух разных протоколов сканирования:

1-ая подгруппа – 30 пациентов, у которых КТ проводили по протоколу низкодозной и низкойодной нагрузки. Параметры сканирования были следующие: сила тока на трубке 500-700 мА; напряжение тока на трубке 80 кВ; алгоритм реконструкции – ASIR 40 %. Пациентам вводили изоосмолярный йодсодержащий контрастный препарат с низкой концентрацией йода (йодиксанол 270 мг/мл).

2-ая подгруппа – 41 пациент, где проводили КТ исследование по стандартному протоколу. Параметры сканирования были следующие: сила тока на трубке 500-750 мА; напряжение тока на трубке 120 кВ; алгоритм реконструкции – ASIR 40 %. В данной подгруппе использовали изоосмолярный йодсодержащий контрастный препарат с высокой концентрацией йода (йодиксанол 320 мг/мл).

Объем введенного КВ рассчитывали исходя из веса пациента (1 мл на 1 кг).

Анализ качества полученных в ходе исследования изображений КА включал в себя:

1. Субъективную оценку по трехбалльной шкале: 1 балл – отличная визуализация сосудистой стенки, без её прерывистости; 2 балла – минимальные артефакты от движения, не влияющие на интерпретацию изображений, отсутствие степ-артефактов; 3 балла – наличие артефактов движения, прерывистости контуров КА, влияющих на диагностику.

2. Измерение плотности в просветах ПКА и ПМЖА (в проксимальном и дистальном сегментах).

3. Измерение уровня сигнала, шума и SNR на уровне корня ВА, полости ЛЖ и ПЖ, а также миокарда.

У пациентов всех четырех групп сравнивались показатели качества полученных изображений КА и лучевой нагрузки при использовании стандартных протоколов и новых низкодозных протоколов сканирования.

Пациенты, у которых оценивалась информативность низкодозной КТ коронарографии (группа 5)

В данную группу было включено 170 пациентов (средний возраст – $59,4 \pm 8,1$ лет), которым КТ коронарография была выполнена по протоколу, позволяющему снизить лучевую нагрузку.

37 пациентам была выполнена инвазивная КАГ, на основании результатов которой рассчитывались чувствительность (Se), специфичность (Sp) и точность (Ac) методики низкодозной КТ коронарографии.

Оценка лучевой нагрузки на пациента

У всех включенных в исследование пациентов оценивались CT Dose Index (CTDI), Dose Length Product (DLP) и протяженность сканирования. Исходя из показателей DLP рассчитывалась эффективная доза (E) с использованием коэффициента пересчета: $E = DLP * E(DLP)$

Где E(DLP)-нормализованная эффективная доза для исследования грудной полости в соответствии с «Европейским руководством по критериям качества для компьютерной томографии» равный $0,014 \text{ mSv/mGy} \cdot \text{cm}$.

Методика статистической обработки полученных результатов

Полученные данные были обработаны на компьютере с использованием пакета статистических программ MedCalc, Microsoft Excel 7.0, STATISTICA v.6.0.

Для определения нормальности распределения признака в выборке использовался тест Шапиро – Вилка и критерий Колмогорова-Смирнова. Значения средних по группам представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение а также как медиана[квартиль], 95% доверительный интервал. Для выявления существенных различий между средними значениями различных совокупностей сопоставляемых групп больных применялся критерий Стьюдента (для нормального распределение) и критерий Манна-Уитни, как непараметрический статистический критерий. Для оценки показателей чувствительности и специфичности разных параметров использовали «характеристические кривые» (ROC-Кривые).

Результаты исследования

Результаты использования проспективной ЭКГ-синхронизации

При анализе характеристик (ЧСС, ИМТ, возраст и пол) и параметров протокола сканирования (сила тока, напряжение на трубке, область сканирования) двух подгрупп пациентов, включенных в группу 1, не было выявлено статистически значимых различий.

Анализ полученных изображений в двух подгруппах не выявил статистически значимых различий их качества. Средние значения показателей качества составили: в 1-й подгруппе $1,44 \pm 0,46$, во 2-й подгруппе $1,47 \pm 0,58$; $p=0,5$ (рис.2 и рис.3).

Показатели качества изображений, оцененные в 1 балл, были получены в обеих подгруппах (рис.2 и рис.3), также как и изображения с удовлетворительным качеством (показатель 3 и 4 балла).



Рис.2. КТ коронарография с проспективной ЭКГ-синхронизацией, качество изображений – 1 балл. Показатели лучевой нагрузки: CTDI 7,26 мГр, DLP 101,59мГр*см; E 1,4 мЗв.

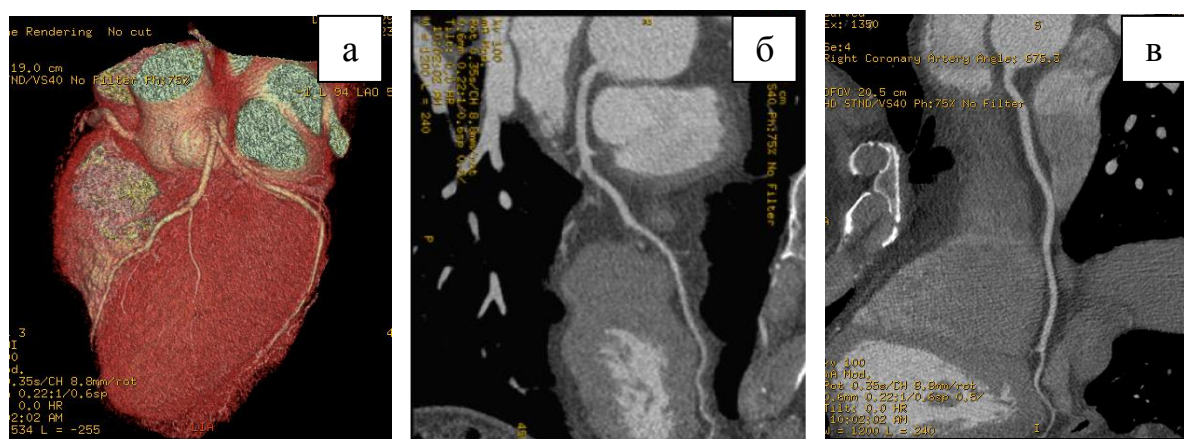


Рис.3. КТ коронарография с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией, качество изображений – 1 балл. Показатели лучевой нагрузки: CTDI 34,14 мГр, DLP 529,22 мГр*см; E 7,4 мЗв.

Значения SNR и CNR в подгруппе с проспективной ЭКГ-синхронизацией составили $11,8 \pm 4,3$ и $9,09 \pm 3,93$, соответственно, а в подгруппе с ретроспективной синхронизацией с ЭКГ – $7,16 \pm 2,46$ и $5,4 \pm 2,2$. Не было получено статистически значимых различий при анализе шума изображений, уровня контраста и SNR ($p > 0,05$). Однако значения CNR были выше в подгруппе с использованием проспективной ЭКГ-синхронизации ($p = 0,001$).

CTDI при проведении исследования с проспективной ЭКГ-синхронизацией было на 46% меньше, чем при проведении КТ с ретроспективной синхронизацией ($p < 0,001$).

Эффективная доза в 1 подгруппе составила $3,9 \pm 1,06$ мЗв; во 2 подгруппе – $9,4 \pm 2,9$ мЗв (при проспективной синхронизации с ЭКГ эффективная доза была меньше на 59% ($p < 0,001$)).

С помощью проведенного ROC-анализа, была выявлена пороговая ЧСС равная 62 уд/мин, при которой достигалась чувствительность низкодозной КТ с проспективной ЭКГ-синхронизацией равная 85,71% и специфичность равная 88,37% (площадь под кривой=0,865 показала очень хорошую клиническую значимость теста; 95% доверительный интервал 0,73-0,94; $p = 0,0001$; Рис. 4а). Сдвиг порогового значения показателя в сторону его увеличения приводил к снижению чувствительности и повышению специфичности.

Колебание ЧСС не оказывало значительного влияния на качество полученных изображений (коэффициент корреляции $r = 0,28$, $p = 0,47$). ROC – анализ показал, что обе градации качества изображений (хорошего и плохого) встречаются одинаково часто при различном изменении ЧСС.

Как известно, ИМТ другой фактор, который оказывает существенное влияние на качество изображений КА при выполнении КТ коронарографии. Это происходит за счет уменьшения контраста и увеличения количества шума. Было найдено пороговое значение при ROC-анализе равное 31 кг/м², меньше которого преобладали изображения хорошего и отличного качества (Рис.4б). При ИМТ=31 кг/м² достигалась чувствительность низкодозной КТ коронарографии с проспективной ЭКГ-синхронизацией равная 100% и специфичность равная 77,78% (площадь под кривой 0,917 свидетельствовала об отличной клинической значимости теста, $p < 0,0001$).

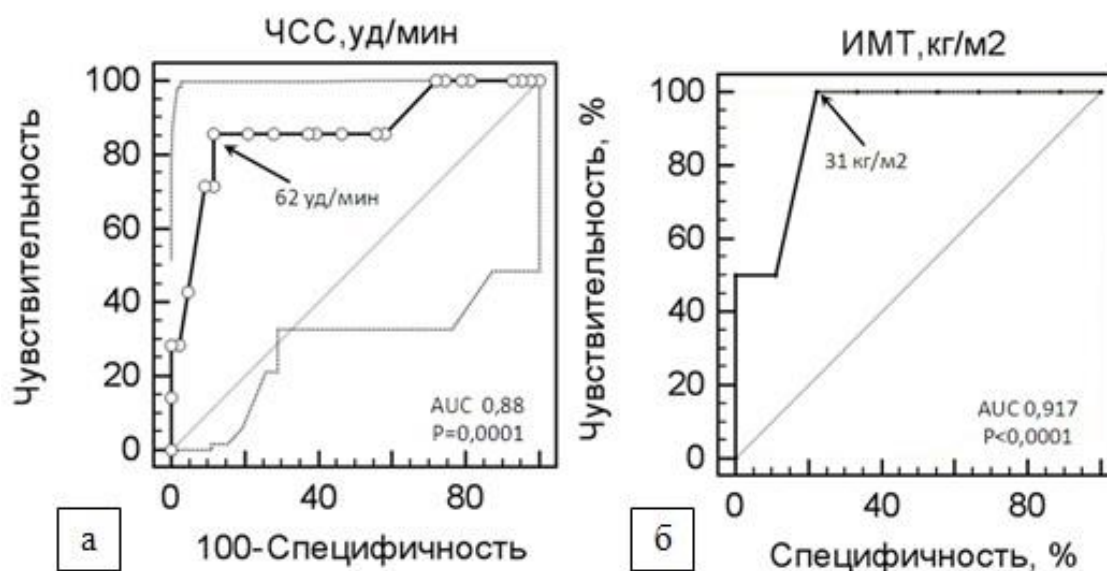


Рис.4. ROC-кривые, демонстрирующие влияние ЧСС (а) и ИМТ (б) на качество изображений КА при использовании протокола КТ коронарографии с проспективной ЭКГ-синхронизацией.

(а) При значении ЧСС больше 62 уд/мин были получены недиагностические изображения в 88,37% случаев.

(б) При ИМТ более 31 кг/м² были получены недиагностические изображения в 77,78 % случаев.

Результаты оценки эффективности использования современных типов компьютерных томографов.

Использование адаптивной статистической итеративной реконструкции

Результаты обследования 2-ой группы больных показали, что значение CTDI при проведении исследования с использованием ASIR-алгоритма было на 46 % меньше, чем при использовании FBP-алгоритма реконструкции (табл.3). Значение показателей DLP и E при использовании ASIR-алгоритма постпроцессинговой обработки изображений были также снижены на 47,3% и 45,9% соответственно ($p < 0,001$).

При столь значительном снижении эффективной дозы облучения, качество полученных изображений КА оставалось сопоставимым со стандартным FBP-алгоритмом реконструкции. Анализ полученных изображений по показателям шума и SNR ВА, легочного ствола, полости ЛЖ и миокарда в двух подгруппах не выявил достоверных отличий их качества ($p > 0,05$) (табл. 3).

Таким образом, ASIR-алгоритм постпроцессинговой обработки изображений позволяет повысить низкоконтрастную разрешающую способность

при одновременном снижении уровня шума и уменьшении эффективной дозы облучения на 45,9 % без снижения качества изображений КА.

Таблица 3

Показатели лучевой нагрузки на пациента и показатели качества изображений КА при выполнении КТ коронарографии у пациентов 2-ой группы

<i>Дозиметрические параметры</i>	<i>FBP</i>			<i>ASIR</i>			<i>p</i>
CTDI (mGy)	66 (7,6)			35,2 (7,6)			0,0001
DLP (mGy *cm)	1151 (101)			606, 52 (279,7)			0,0001
E (mSv)	16,1 (1,4)			8,7 (3,5)			0,0001
<i>Параметры качества изображений</i>							
<i>ROI</i>	<i>Шум изображения</i>			<i>SNR изображения</i>			<i>p</i>
	<i>FBP</i>	<i>ASIR</i>	<i>p</i>	<i>FBP</i>	<i>ASIR</i>	<i>p</i>	
BA	42,6 (15,53)	49 (21,87)	0,53	7,8 (2,7)	9,25 (5,4)	0,05	
Миокард	46 (16,7)	51 (15,7)	0,124	2,1 (0,9)	1,9 (0,95)	0,6	
ЛЖ	45,7 (19)	53 (24,38)	0,24	6,4 (3,9)	7,48 (3,44)	0,21	
Легочный ствол	43 (21)	42,9 (13)	0,62	7,5 (5,3)	9,1 (3,9)	0,182	

Использование алгоритма коррекции артефактов движения

В данной группе пациентов (группа 3) было проанализировано 160 КА и 490 сегментов КА. Для всех 42 пациентов 3-ей группы итоговые показатели качества изображений, составили $1,34 \pm 0,08$ и $1,4 \pm 0,09$ ($p > 0,05$) соответственно при использовании SSF и стандартной проспективной реконструкции.

Использование SSF не улучшало итоговый показатель качества изображений в подгруппе пациентов с низкой ЧСС (табл.4). Однако в подгруппе с высокой частотой ЧСС итоговый показатель качества изображений КА был достоверно выше при оценке изображений, полученных при использовании SSF, нежели при использовании стандартной реконструкции (Табл. 5).

При анализе сегментов ПКА плохого или недиагностического качества у пациентов с низкой ЧСС (табл. 4) и аналогичных сегментов ПКА и ЛКА у пациентов с высокой ЧСС (рис.5, табл. 5) качество изображений при использовании SSF было достоверно выше, чем при использовании стандартной реконструкции.

Таблица 4

Показатели качества изображений КА, полученные у пациентов 3-ей группы с низкой ЧСС при выполнении КТ коронарографии

<i>Показатели оценки качества изображений КА</i>	<i>SSF</i>	<i>Стандартный алгоритм реконструкции</i>	<i>P</i>
Итоговый показатель качества	1,1±0,18	1,13±0,4	0,7
ПКА	1,14±0,36	1,57±0,13	0,02
ЛКА	1,05±0,04	1,06±0,04	0,84
ОА	1,07±0,18	1,07±0,18	0,6

Таблица 5

Показатели качества изображений, полученные у пациентов 3-ей группы с высокой ЧСС при выполнении КТ коронарографии

<i>Показатели оценки качества изображений КА</i>	<i>SSF</i>	<i>Стандартный алгоритм реконструкции</i>	<i>P</i>
Итоговый показатель качества	1,6±0,5	2,1±0,6	0,04
ПКА	1,94 ±0,89	2,88±1,05	0,008
ЛКА	1,78± 0,56	2,18±0,45	0,007
ОА	1,7±0,69	1,92±0,8	0,36

Использование SSF при проведении КТ коронарографии с проспективной ЭКГ-синхронизацией позволяло не только улучшить качество полученных изображений КА, но также и повлиять на интерпретацию полученных результатов.

Таким образом, благодаря использованию технологии SSF, на сегментарном уровне качество полученных изображений было улучшено почти в половине (43%) проанализированных сегментов КА удовлетворительного и недиагностического качества (34/60).

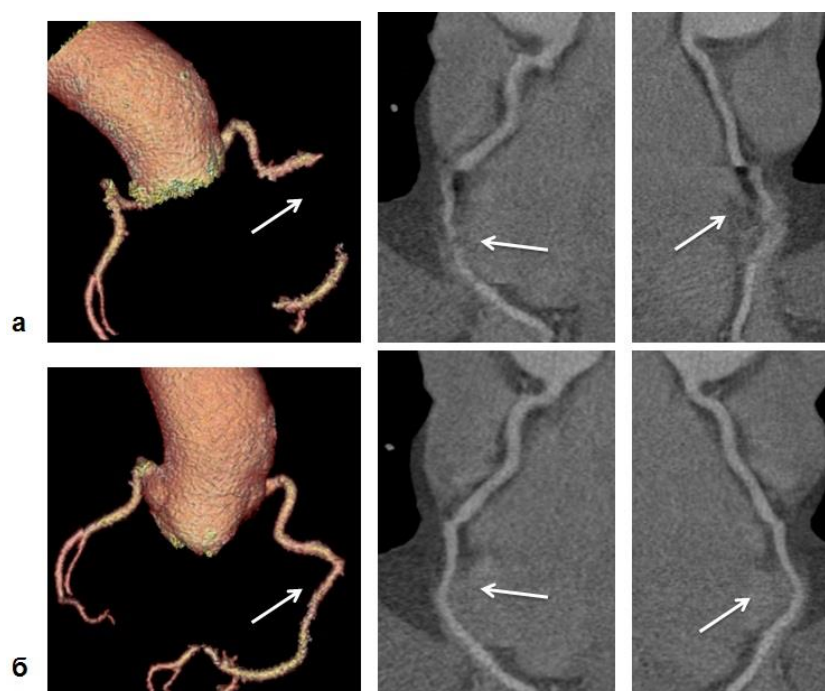


Рис. 5. Трехмерные и мультипланарные реконструкции демонстрируют значительное улучшение качества визуализации сегментов ПКА при использовании технологии SSF (б) по сравнению со стандартной реконструкцией (а) у пациента с ЧСС=65 уд/мин (высокая ЧСС). E = 3,8 мЗв.

Результаты использования протокола с низкой лучевой и йодной нагрузкой

Анализ пациентов 4-ой группы показал, что возраст, ЧСС и ИМТ, КИ и параметры протокола сканирования (сила тока на трубке, объем введенного КВ и скорость введения КВ) в двух подгруппах статистически значимо не отличались.

Анализ полученных изображений в двух подгруппах также не выявил достоверных отличий их качества. Средние значения показателей качества составили: в 1-й подгруппе $1,28 \pm 0,28$, во 2-й подгруппе $1,34 \pm 0,29$ ($p=0,4$).

Значения показателей плотностей в просветах КА на уровне проксимальных и дистальных сегментов представлены в табл. 6. Как в первой, так и во второй подгруппе было достигнуто хорошее контрастирование КА. Ни у одного пациента не было получено значения плотности просвета КА ниже 200 НУ. Анализ показателей плотности просвета КА в двух подгруппах показал, что плотность в проксимальных сегментах ПМЖА и ПКА была выше в первой подгруппе. Показатели плотностей в дистальных сегментах ПМЖА и ПКА статистически значимо не различались в двух подгруппах.

Показатели лучевой и йодной нагрузки были ниже при использовании протокола с низкой лучевой и йодной нагрузкой (в 1-ой подгруппе пациентов).

Было отмечено значимое снижение показателя E на 66,6% (<0,0001) в 1-ой подгруппе пациентов за счет снижения напряжения тока на трубке. Медиана E в 1-ой подгруппе составила 1,7 мЗв, во 2-ой подгруппе – 5,1 мЗв.

Йодная нагрузка при применении КВ с концентрацией йода 270 мг/мл, составила 23,7 г, что было на 18 % ниже ($p < 0,0001$), чем при использовании КВ с концентрацией йода 320 мг/мл (йодная нагрузка во 2-ой группе составила 28,8 г).

Таблица 6

Результаты анализа качества полученных изображений КА при выполнении КТ коронарографии

<i>Параметр</i>	<i>1 подгруппа</i>	<i>2 подгруппа</i>	<i>P</i>
Субъективная оценка (1-4) ¹	1,28 ± 0,28	1,34±0,29	0,4
Плотность в проксимальном сегменте ПМЖА (HU) ²	440 [354-530]	342,6 [310-380]	0,0003
Плотность в дистальном сегменте ПМЖА (HU) ²	265 [206-302]	224,3 [204-255]	0,058
Плотность в проксимальном сегменте ПКА (HU) ²	385,3 [310-512]	322,4 [271-367]	0,006
Плотность в дистальном сегменте ПКА (HU) ²	296 [230-404]	278,5 [215,8-306]	0,066

¹ среднее значение ± стандартное отклонение

² медиана [межквартильный размах]

Эффективность использования оптимизированных протоколов сканирования на амбулаторно-поликлиническом этапе

Низкодозная КТ коронарография на первом этапе диагностики позволила исключить наличие ИБС почти у ¼ пациентов (24 %) и отказаться от проведения КАГ в 38 % случаев. Только ⅓ пациентам (62 %) было рекомендовано проведение инвазивной КАГ с одновременной реваскуляризацией миокарда.

Максимальные показатели чувствительности, специфичности и точности КТ коронарографии с использованием протоколов, позволяющих снизить лучевую нагрузку, были получены при анализе пациентов (табл. 7). Данные результаты показывают, что низкодозная КТ коронарография позволяет выявить наличие гемодинамически значимых стенозов у всех больных с максимальной степенью достоверности и в дальнейшем направить их на проведение инвазивной КАГ с реваскуляризацией миокарда.

При анализе результатов КТ коронарографии на уровне артерий (табл. 7) было показано, что метод высокоинформативен в выборе метода лечения пациентов.

Показатели чувствительности, специфичности и точности метода в определении степени стеноза были следующими:

- окклюзия и субтотальный стеноз КА – 80 %, 98 % и 90 % соответственно;
- гемодинамически значимый стеноз (степень стеноза КА 60-75%) – 85 %, 97% и 95% соответственно.

Таким образом, высокие показатели чувствительности, специфичности и точности метода для исключения гемодинамически значимых стенозов КА, а также неинвазивность, отсутствие серьезных осложнений и безопасность делают низкодозную КТ коронарографию методом выбора для клиницистов.

Таблица 7

Диагностическая эффективность низкодозной КТ коронарографии

Уровень анализа	Se (%)	Sp (%)	ПЦПР (%)	ПЦОР (%)	Ac (%)
Пациенты	100	100	100	100	100
Все КА	92,2	98,5	93,3	98,3	95,5
ПКА	93,3	100	100	92,3	96,3
Ствол ЛКА	100	100	100	100	100
ПМЖА	100	87,5	96,5	100	97,2
ОА	88,9	100	100	94,4	96,1

ВЫВОДЫ

1. КТ коронарография с проспективной ЭКГ-синхронизацией приводит к снижению лучевой нагрузки на пациента на 59% (на 5,5 мЗв – с 9,4 до 3,9 мЗв) по сравнению с ретроспективной ЭКГ-синхронизацией без потери диагностической информации. При её проведении необходимо учитывать показатели ЧСС (< 62 уд/мин) и ИМТ (<31 кг/м²).

2. Использование современных КТ с возможностью IR и SSF позволяет минимизировать лучевую нагрузку при выполнении исследования у пациентов с более высокой ЧСС (>60-62 уд/мин) и ИМТ (>31 кг/м²) без снижения качества полученных изображений. ASIR-алгоритм способствует повышению низкоконтрастной разрешающей способности при одновременном снижении уровня шума и уменьшении эффективной дозы облучения на 45,9%. Использование технологии SSF позволяет проводить исследование с низкой лучевой нагрузкой у пациентов с высокой ЧСС.

3. Низкодозная КТ коронарография может быть выполнена с меньшей йодной нагрузкой на пациента (снижение йодной нагрузки на 18 %) без потери диагностической информации.

4. Низкодозная КТ коронарография обладает высокой диагностической информативностью в определении атеросклероза КА и позволяет избежать выполнения КАГ в 38 % случаев. Высокая чувствительность и специфичность метода (92,2 -100% и 98,5-100% соответственно) в диагностике гемодинамически значимых стенозов КА указывают на принципиальную перспективность использования КТ коронарографии в качестве метода выбора обследования пациентов с подозрением на ИБС на амбулаторно-поликлиническом этапе. С учетом оптимизированного протокола сканирования с низкой лучевой нагрузкой и при клинической необходимости с низкой йодной нагрузкой, – методика является более безопасной для пациента.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Методом выбора обследования пациентов с подозрением на ИБС на амбулаторно-поликлиническом этапе является низкодозная КТ коронарография.

2. Рекомендовано использование проспективной ЭКГ-синхронизации в сочетании с алгоритмом IR и при необходимости программы SSF при обследовании всех пациентов, направленных на КТ КА и имеющих синусовый ритм, но преимущественно женщин предклимактерического возраста, молодых пациентов, детей и пациентов, которым в будущем может быть повторно назначена КТ коронарография.

3. Использование ретроспективной синхронизации с ЭКГ целесообразно у пациентов с нарушениями сердечного ритма (аритмии), у которых получение диагностической информации будет вносить значимый вклад в оценку клинической картины или клинического лечения.

2. У молодых пациентов и у пациентов с заболеваниями почек следует проводить исследование не только с низкой лучевой нагрузкой, но и с низкой концентрацией йода КВ с целью снизить риск развития КИН.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. **Синицын В.Е., Мершина Е.А., Архипова И.М., Глазкова М.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении МСКТ коронарных артерий // Диагностическая и интервенционная радиология. – 2011. – Т.5, №1. – С.21-30.**
2. **Глазкова М.А. Сравнительный анализ качества изображения и лучевой нагрузки на пациента при проведении МСКТ коронарных артерий с проспективной и ретроспективной ЭКГ-синхронизацией// Медицинская визуализация. – 2012. – №3. –С. 22 – 27.**
3. **Синицын В.Е., Глазкова М.А., Мершина Е.А., Архипова И.М. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении МСКТ коронарографии: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2012. – Том 18, №3. – С.44-49.**
4. **Синицын В.Е., Комарова М.А., Мершина Е.А. Сравнение низкой и высокой концентрации (270 и 320 мг йода/мл) изоосмолярного йодсодержащего контрастного препарата при выполнении многосрезовой компьютерно-томографической коронарографии: одноцентровое проспективное слепое рандомизированное исследование // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2014. – № 4. – С.5 – 12.**
5. **Глазкова М.А., Синицын В.Е., Мершина Е.А. Возможности МСКТ коронарных артерий: проведение исследования с низкой лучевой и йодной нагрузкой.// Материалы VII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология 2013». – М., 2013 – С. 223-224.**
6. **Глазкова М.А. Сравнительный анализ качества изображения и лучевой нагрузки на пациента при проведении МСКТ-коронарографии с проспективной и ретроспективной ЭКГ-синхронизацией// Материалы конференции молодых ученых РМАПО. – М., 2012. – С. 74 – 76.**
7. **Синицын В.Е., Глазкова М.А., Мершина Е.А., Архипова И.М. Эффективность МСКТ-коронарографии на амбулаторно-поликлиническом этапе // Материалы VI Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология 2012». – М., 2012 – С. 535.**
8. **Синицын В.Е., Глазкова М.А., Мершина Е.А., Архипова И.М. Снижение лучевой нагрузки с использованием адаптивной статистической итеративной реконструкции при МСКТ-коронарографии // Материалы VI**

Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология 2012». – М., 2012 – С. 534.

9. Синицын В.Е., Мершина Е.А., Глазкова М.А., Архипова И.М. МСКТ коронарных артерий с использованием проспективной ЭКГ-синхронизации // Диагностическая и интервенционная радиология – 2011. –Том 5 №2. – С. 403-404.

10. Glazkova M. A. Coronary CTA: input of prospective cardiac gating to reduction of radiation dose// Insights into Imaging. – 2011. – Vol. 2 (Suppl 1). – P.398-399.

11. Glazkova M. A., Arkhipova I., Mershina E., Sinitsyn V. E. Coronary CTA: input of prospective cardiac gating to reduction of radiation dose// Leiden International Medical Student Conference. – Leiden., 2011. – p. 184.

12. Glazkova M. A., Mershina E., Arkhipova I., Sinitsyn V. E. Image quality and radiation exposure in coronary CTA with prospective and retrospective ECG-gating: a comparative study // EPOS «European Congress of Radiology 2011» C-2092/ 10.1594/ ecr2011/ C-2092.

13. Glazkova M. A., Mershina E., Arkhipova I., Sinitsyn V. E. Coronary CTA: estimate radiation dose reduction using adaptive statistical iterative reconstruction// EPOS «European Congress of Radiology 2012» C-2250/ 10.1594/ ecr2012/ C-2250.

14. Glazkova M. A., Arkhipova I., Sinitsyn V. E., Mershina E. Low-dose CT coronary angiography: Role of adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) // EPOS «Annual Scientific Meeting of ESCR 2012» P456 / 10.3205/ ESCR2012.P-456.

15. Glazkova M.A., Arkhipova I., Chamokova B., Cherkasova L., Mershina E., Sinitsyn V. E. Use of coronary CTA as gatekeeper for cardiac catheterisation in outpatients// EPOS «Annual Scientific Meeting of ESCR 2012» P433 / 10.3205/ ESCR2012.P-433.

16. Glazkova M. A., Arkhipova I., Mershina E., Sinitsyn V. E. Low-iodine coronary cardiac computed tomography angiography (CCTA) // EPOS «Annual Scientific Meeting of ESCR 2013» P491 / 10.3205/ ESCR2013.APP.

17. Komarova M.A. Optimisation of radiation dose reduction in coronary computed tomographic angiography // EuroSafe Imaging exhibition «ECR 2014». – Vienna., 2014.

18. Glazkova M. A., Sinitsyn V., Mershina E. A. Effect of a novel motion correction algorithm on the image quality of low-dose coronary CTA // EPOS «European Congress of Radiology 2015» B-0183/ 10.1594/ ecr2015/ B-0183.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Ac	– точность
ASIR	– адаптивная статистическая итеративная реконструкция
CNR	– соотношение контраст/шум
CTDI	– компьютерно-томографический индекс дозы
DLP	– произведение дозы на длину
FBP	– обратное проецирование фильтрованных проекций
IR	– iterative reconstruction, итеративная реконструкция
ROI	– зона интереса
SNR	– соотношение сигнал/шум
SSF	– коррекция артефактов движения
Se	– чувствительность
Sp	– специфичность
BA	– восходящая аорта
E	– эффективная доза облучения
ИБС	– ишемическая болезнь сердца
ИМТ	– индекс массы тела
КА	– коронарные артерии
КАГ	– коронароангиография
КВ	– контрастное вещество
КИ	– кальциевый индекс
КИН	– контраст-индуцированная нефропатия
КТ	– компьютерная томография
ЛЖ	– левый желудочек
ЛКА	– левая коронарная артерия
МСКТ	– мультиспиральная компьютерная томография
ОА	– огибающая артерия
ПЖ	– правый желудочек
ПКА	– правая коронарная артерия
ПМЖА	– передняя межжелудочковая артерия
ПЦОР	– прогностическая ценность отрицательного результата
ПЦПР	– прогностическая ценность положительного результата
ССЗ	– сердечнососудистые заболевания
ЧСС	– частота сердечных сокращений
ЭКГ	– электрокардиография