

На правах рукописи

МАЛАХОВА МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ АОРТЫ
С НИЗКОЙ ЛУЧЕВОЙ И ЙОДНОЙ НАГРУЗКОЙ
ДО И ПОСЛЕ ЛЕЧЕНИЯ**

14.01.13 - лучевая диагностика, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва, 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Ховрин Валерий Владиславович, доктор медицинских наук

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Вишнякова Мария Валентиновна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой лучевой диагностики факультета усовершенствования врачей. ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского».

Фокин Владимир Александрович – доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации института медицинского образования ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского» и на сайте www.med.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
доктор медицинских наук

Годжелло Элина Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Аневризма аорты может протекать бессимптомно и часто является случайной находкой. Встречаемость аневризмы грудной аорты (АГА) составляет 60-100 случаев на млн населения, при этом продолжается рост заболеваемости (Cormack S.M. et al., 2012; Kuzmik G.A. et al., 2012; Cloft P.F. et al., 2020). За последнее десятилетие выросла заболеваемость аневризмой брюшной аорты (АБА) и частота ее составляет 1,3–8,9% у мужчин и 1,0–2,2% у женщин (Gianfagna F. et al, 2018). Популяционная встречаемость расслоения аорты (РА) - от 2,1 до 16,3 случаев на 100000 населения (Melvinsdottir I.H.et al., 2016; Reutersberg B. et al., 2019).

Компьютерная томография (КТ) с внутривенным контрастированием является «золотым» стандартом в выявлении различной патологии аорты (В. Е. Сеницын, С. К. Терновой, 2007; С.К. Терновой и соавт., 2013; Sathiadoss P. et al., 2020;). Методика имеет ряд неоспоримых преимуществ, включая скорость исследования, точность оценки состояния стенки аорты, высокое пространственное разрешение, неинвазивность и возможность проведения в амбулаторных условиях (А. Sentz, 2015; E. Di Cesare et al., 2016; Amy R.Sparks et al., 2022). КТ-ангиография обладает высокой диагностической точностью, чувствительностью и специфичностью близкой к 100% (Knobelsdorff-Brenkenhoff F. et al., 2014; A. Sentz, 2015; E. Di Cesare et al., 2016), являясь основным методом выбора в качестве предоперационного планирования (Gabriel O. Perea et al., 2020). Известно, что КТ-аортография сопряжена с использованием ионизирующего излучения, а обязательное внутривенное введение йодсодержащих контрастных препаратов может сопровождаться рисками осложнений исследования (Bittner D.O. et al., 2016; E. Di Cesare et al., 2016; Kok M. et al., 2016). Требуется отметить, что суммарная эффективная доза и объем введенного контрастного вещества (КВ) может увеличиваться из-за кратности выполнения КТ-ангиографии при динамических наблюдениях или контроле результатов лечения.

По данным разных авторов, лучевая нагрузка при проведении МСКТ-аортографии может варьировать от 2,75 мЗв до 35,9 мЗв (Seyd Shnayien et al., 2020; Vishal K. Patel et al., 2020), а объем КВ может достигать 100-120 мл на одно исследование.

Таким образом, вышеизложенное свидетельствует о росте количества КТ при заболеваниях аорты, а значит оптимизация протоколов КТ-ангиографии аорты со снижением лучевой и йодной нагрузки у пациентов с патологией аорты является актуальной проблемой.

Цель исследования

Оптимизировать протоколы КТ-ангиографии аорты в условиях низкой лучевой и йодной нагрузки для диагностики и динамического наблюдения пациентов с заболеваниями аорты до и после лечения.

Задачи исследования

1. Разработать протоколы КТ-ангиографии аорты с низкой лучевой и йодной нагрузкой и определить их значения в алгоритме обследования.
2. Обосновать необходимость низкодозовой КТ-ангиографии при динамическом наблюдении за результатами лечения заболеваний аорты.
3. Оценить преимущества и эффективность «сверхбыстрой» КТ-ангиографии у пациентов с заболеваниями аорты.

Научная новизна исследования

В работе разработаны, оптимизированы и апробированы протоколы КТ-аортографии, позволяющие снизить лучевую нагрузку и риск проведения контрастного исследования при выявлении всех патологических изменений аорты на до- и послеоперационном этапах обследования пациентов. При этом не происходит изменения качества получаемых данных и снижения уровня диагностической эффективности компьютерной томографии.

Впервые в России разработан алгоритм персонифицированного выбора протокола КТ-аортографии в условиях минимальной лучевой нагрузки и сниженного объема КВ. Продемонстрирована необходимость обязательного применения адаптивной итеративной реконструкции в сочетании с «низкодозо-

зовыми» протоколами КТ-аортографии.

Проанализированы возможности «сверхбыстрой» КТ-аортографии с низкой степенью риска при проведении многократных динамических контрольных КТ-исследований аорты и проведено сравнение «сверхбыстрой» и модифицированных комбинированных протоколов КТ-ангиографии аорты типа АКВА (Аортальный Клапан и Вся Аорта) и АКВА 2.0.

Теоретическая и практическая значимость работы

Оптимизированные протоколы КТ-аортографии могут быть рекомендованы при первичном обследовании, на послеоперационном этапе и при динамическом наблюдении в условиях стационара и амбулаторно. При этом разработанные протоколы КТ-аортографии позволяют существенно снизить лучевую и йодную нагрузку на пациента.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение в клинической практике оптимизированных протоколов КТ-аортографии обеспечивает более высокий уровень безопасности исследования при требуемом качестве получаемых данных, выявляет все патологические изменения аорты в условиях низкой лучевой и йодной нагрузки.

2. Модификация протоколов расширяет границы применения КТ - аортографии на всех этапах подготовки и послеоперационного обследования пациентов, при этом увеличения лучевой нагрузки не происходит и нет значимого увеличения объема вводимых контрастных веществ.

3. «Сверхбыстрая» КТ-аортография обладает высокой чувствительностью, специфичностью и точностью в диагностике патологии аорты, позволяя оценить структуры корня аорты без применения ЭКГ-синхронизации.

Внедрение результатов исследования в практику

Результаты исследования внедрены в работу отделения рентгенодиагностики и КТ в составе отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики, а также отделений кардиохирургии ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» и широко применяются для первичной диагностики и при динамическом послеоперационном контроле пациентов с пато-

логией аорты.

Степень достоверности

Полученные результаты основаны на достаточном количестве выполненных исследований с использованием современных методов статистической обработки. Итоговые данные и результаты исследования соотносятся с целью работы и поставленными задачами.

Апробация результатов работы

Материалы и основные положения работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: Ежегодная Всероссийская научно-практическая конференция «Кардиология НА МАРШЕ!» и 60я сессия, посвященные 75-летию ФГБУ «НМИЦ Кардиологии» Минздрава России, Москва, сентябрь 2020; XV Юбилейный Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «РАДИОЛОГИЯ», Москва, май 2021; Ежегодная Всероссийская научно-практическая конференция «Кардиология НА МАРШЕ!» и 61я сессия ФГБУ «НМИЦ Кардиологии» Минздрава России, Москва, сентябрь 2021; Всероссийский конкурс ЛИДЕР КАЧЕСТВА в здравоохранении (ФГБУ «Национальный институт качества» Росздравнадзора) с проектом «Принципы безопасности аортографии в условиях снижения лучевой и йодной нагрузки на пациента», 3е место, Москва, 2021; V межрегиональная научно-практическая конференция с международным участием «Лучевая диагностика – Смоленск 2021: конкурс молодых ученых», Смоленск, 2021; сессия победителей конкурса научных работ Итоговой конференции МРО 2021, Москва, октябрь 2021; V форум Онлайн-диагностика 3.0, Москва, декабрь 2021; IX Международный конгресс и школа для врачей КАРДИОТОРАКАЛЬНАЯ РАДИОЛОГИЯ, Москва, 25-26 марта 2022; XXV Ежегодная сессия ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России с Всероссийской конференцией молодых ученых, Москва, 15-17 мая 2022.

Апробация диссертации состоялась 21 апреля 2022 года на совместной конференции лаборатории отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики, отделения реконструктивно-восстановительной

сердечно-сосудистой хирургии, в присутствии сотрудников других подразделений ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского».

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования РФ для публикаций основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских наук.

Личное участие автора в получении научных результатов исследования

Самостоятельное формирование выборки исследований для анализа собранных данных, выполнение всего объема КТ-ангиографии, выполнение динамического контроля за результатами лечения. Автором выполнена статистическая обработка данных с последующим анализом и сравнением с данными литературы.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и библиографического указателя. Работа изложена на 108 страницах машинописного текста и иллюстрирована 51 рисунком и 37 таблицами. Библиографический указатель содержит ссылки на работы 20 отечественных и 123 зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. В период с 2017 г. по 2021 г. было обследовано 375 пациентов с патологией аорты, из них 274 (73%) мужчины и 101 (27%) женщина. Средний возраст пациентов составил $57,24 \pm 14,72$ лет.

С целью первичной диагностики заболеваний аорты было обследовано 218 пациентов. Аневризма корня и восходящей аорты диагностирована у 108 (49,5%) пациентов, причем у 13 (12%) пациентов она сочеталась с картиной расслоения аорты I типа по DeBakey. Посттравматические аневризмы пере-

шейка аорты были выявлены у 5 (2,3%) пациентов. У 25 (11,5%) обследованных выявлена аневризма торакоабдоминальной аорты (АТАА), аневризма брюшной аорты (АБА) - у 42 (19,3%) пациентов. Группа пациентов с дисфункцией аортального клапана n=33 (15,1%) была обследована при планировании хирургической коррекции и TAVI. Для оценки результатов лечения наблюдались 157 пациентов, среди них 138 (87,9%) мужчин и 19 (12,1%) женщин (Рисунок 1).



Рисунок 1 - Характеристика пациентов в группе послеоперационного контроля (n=157)

Для сравнения нескольких методик МСКТ-аортографии пациенты были разделены на четыре группы:

- 1) пациенты, обследованные без адаптации параметров и применения ЭКГ-синхронизации по стандартному протоколу (ретроспективный анализ) (n=38);
- 2) пациенты, обследованные без ЭКГ-синхронизации с выбором значения напряжения рентгеновской трубки (n=103);
- 3) пациенты, обследованные без ЭКГ-синхронизации с использованием протокола «сверхбыстрого» сканирования (Flash Scan) и модификацией значения pitch¹ (n=139);

¹ pitch – отношение смещения стола за один оборот рентгеновской трубки к толщине среза

4) пациенты, обследованные по протоколу с ЭКГ-синхронизацией с выбором значения напряжения рентгеновской трубки и модификацией протяженности области кардиосинхронизации (n=95).

В ходе работы КТ-аортография была выполнена на компьютерных томографах Somatom Definition Flash (Siemens, Германия) и Revolution EVO (GE Healthcare, США). Обязательное условия исследования: область сканирования - вся торакоабдоминальная аорта (Рисунок 2). Верхней границей области КТ-аортографии без кардиосинхронизации была середина головок плечевых костей, нижней – середина головок бедренных костей.



Рисунок 2 - КТ-аортография с захватом всех сегментов аорты. Состояние после репротезирования АК, протезирования корня, восходящей аорты и дуги аорты

Согласно рекомендациям по протяженности КТ-аортографии и необходимости ЭКГ-синхронизации (Leon MB et al., 2010; Smith CR et al., 2011; Blanke P.C. et al., 2019) верхняя граница обозначена от угла верхней челюсти, а нижняя граница - середина верхней трети бедра.

Применение ЭКГ-синхронизации реализовано с помощью двухзонного протокола КТ-аортографии («АКВА» - «Аортальный Клапан, Вся Аорта»), он включал область кардиосинхронизации от шеи до диафрагмы, спиральное сканирование брюшной аорты следовало без синхронизации с ЭКГ с захватом подвздошно-бедренного сегмента. Сокращение протяженности области синхронизации с ЭКГ до границ сердца привело к созданию трехзонного протокола («АКВА» 2.0).

Объем вводимого КВ рассчитывался по формуле: время сканирования (сек) + время задержки сканирования (сек) x скорость введения КВ (мл/сек) и варьировал от 50 мл до 100 мл, скорость введения составляла 4,5 мл/сек.

В группе больных (n=38) **со стандартной методикой** КТ-аортография была выполнена без использования инструментов оптимизации со следующими параметрами сканирования: коллимация среза 128x0,6 мм, время вращения трубки 500 мс, напряжение на рентгеновской трубке 100-120 kV, pitch 0,6, значение mAs модулировалось автоматически. Объем вводимого контрастного препарата составлял 100 мл.

КТ-аортография без использования кардиосинхронизации была проведена у 103 больных, из них у 17 женщин (16,5%) и 86 мужчин (83,5%). Значение напряжения рентгеновской трубки (80kV или 100kV) определялось в зависимости от веса пациента и ИМТ. При весе <100кг и ИМТ = 25 ± 5 кг/м² напряжение составляло 80 kV, при весе >100 кг и ИМТ более 30 кг/м² – 100 kV. Параметры сканирования при выполнении КТ-аортографии без кардиосинхронизации: время вращения трубки 350 мс, напряжение на рентгеновской трубке 80 kV/100 kV, pitch 1,531, значение mAs модулировалось автоматически, для постобработки изображений использовали ASiR-V (60%). Объем вводимого КВ составлял 50-60 мл.

«Сверхбыстрая» КТ-аортография в 139 наблюдениях (109 (78,4%) мужчин и 30 (21,6%) женщин) выполнена с использованием протокола сканирования «Flash Scan» с pitch 1,7 или 3,2. Разница между подгруппами заключалась в разном значении pitch, в остальном технические параметры были следующие: коллимация среза 2x128x0,6 мм, время вращения рентгеновской трубки 280 мс, напряжение рентгеновской трубки 100 kV/120 kV, расчет силы тока осуществлялся с помощью Care Dose4D. Объем КВ 50-60 мл.

КТ-аортография с ЭКГ-синхронизацией проведена 95 пациентам с использованием протоколов АКВА и АКВА 2.0. Кроме отличия в протяженности синхронизированной с ЭКГ области, параметры сканирования не отличались: время вращения рентгеновской трубки 350 мс, pitch 0,516 - область сердца, 0,984 – на остальном протяжении. Значение напряжения рентгеновской трубки выбирали с учетом ИМТ. На этапе постпроцессинговой обработки также применялась ASiR-V (60%). Объем введения КВ в группе АКВА составлял 100 мл, в группе АКВА 2.0 – 80 мл.

Эффективная доза (E) рассчитана по формуле: $E = DLP \times e$, где DLP – произведение поглощенной дозы на длину за одно сканирование, мГрхсм; e – дозовый коэффициент для одной анатомической области, 0,017 мЗв/мГр х см (Методические указания МУ 2.6.1.2944-11).

Оценка качества и диагностической ценности полученных изображений была проведена тремя врачами-рентгенологами со стажем работы 20 лет, 8 лет и 2 года соответственно, с помощью разработанной бальной шкалы с последующим анализом межоператорской воспроизводимости. Анализ степени оптимального контрастирования выполнен на уровне корня аорты, перешейка и в области бифуркации аорты. ROI (region of interest) составлял 10 мм², оценена средняя внутриаортальная плотность (ВАП, HU) и SD (стандартное отклонение, HU). Оптимальным считалось контрастирование при $ВАП > 200$ HU, $SD < 30$ HU (Ghekiere O. et al., 2017; Solbac M.S. et al., 2020).

Статистическая обработка проведена с помощью программы IBM SPSS Statistics версия 19 (IBM Corp., США). Описательная статистика представле-

на как среднее (M) ± стандартное отклонение (SD) или медиана (Me). Взаимосвязь между исследуемыми показателями оценивали с расчетом коэффициента корреляции Пирсона и уровня значимости (p). Различия между группами и взаимосвязь считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Оценка согласованности измерений «сверхбыстрой» МСКТ-аортографии и ЧП-ЭхоКГ проводилась с использованием коэффициента внутрикласовой корреляции 3 типа, а также диаграмм Блэнда-Альтмана. Для оценки ассоциации количественных параметров с бинарными показателями проводился ROC-анализ с определением площади под кривой (AUC). Оценка межоператорской воспроизводимости проводилась с использованием коэффициента внутрикласовой корреляции 2 типа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

КТ-аортография по стандартному протоколу сканирования

При проведении ретроспективного анализа средние значения эффективной дозы (E) в этой группе составляли $15,8 \pm 5,26$ мЗв, при этом объем вводимого КВ 100 мл. При необходимости КТ динамического контроля требовалась оптимизация протоколов КТ-аортографии со снижением лучевой и йодной нагрузки на пациента.

КТ-аортография без ЭКГ-синхронизации

Достаточное контрастирование аорты было достигнуто во всех исследованиях (100%), $ВАП > 352$ HU, $SD < 28,2$ HU. При анализе показателей E в группах обследуемых пациентов по протоколам КТ с напряжением 80 kV ($2,94 \pm 0,76$ мЗв) и 100 kV ($6,32 \pm 0,87$ мЗв) выявлена значимая разница ($p < 0,001$), при которой выраженное (до 55%) снижение E за исследование отмечается в первой группе (80 kV). Обоснованная показателем DLP корреляционная связь установлена со значениями ИМТ обследованных пациентов (Рисунок 3).

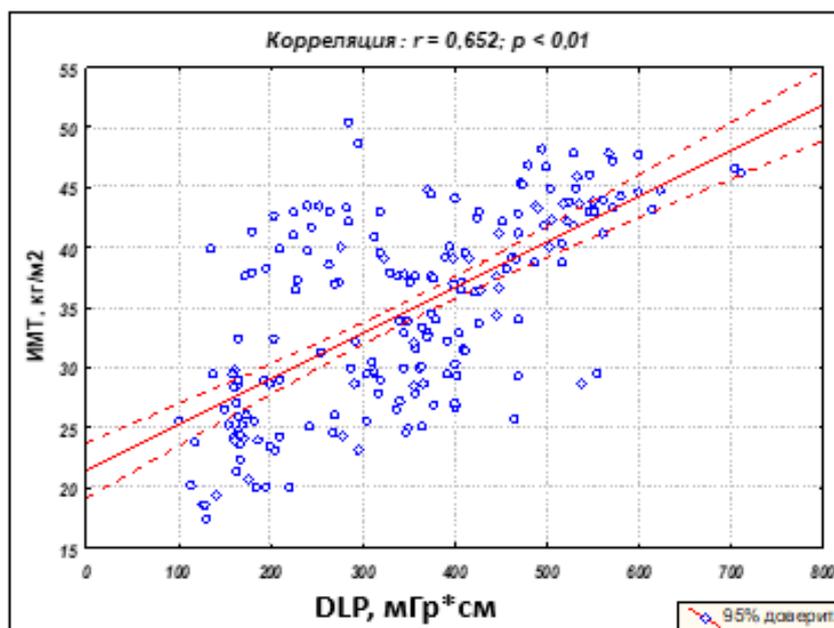


Рисунок 3 - Анализ значений ИМТ и E в группе исследований без кардиосинхронизации ($r=0,652$, $p<0,01$)

Модель кривых линейной регрессии при сравнении значений времени сканирования и показателя DLP (Рисунок 4), демонстрирует сильную ($r=0,867$, $p<0,01$) зависимость выбранных значений.

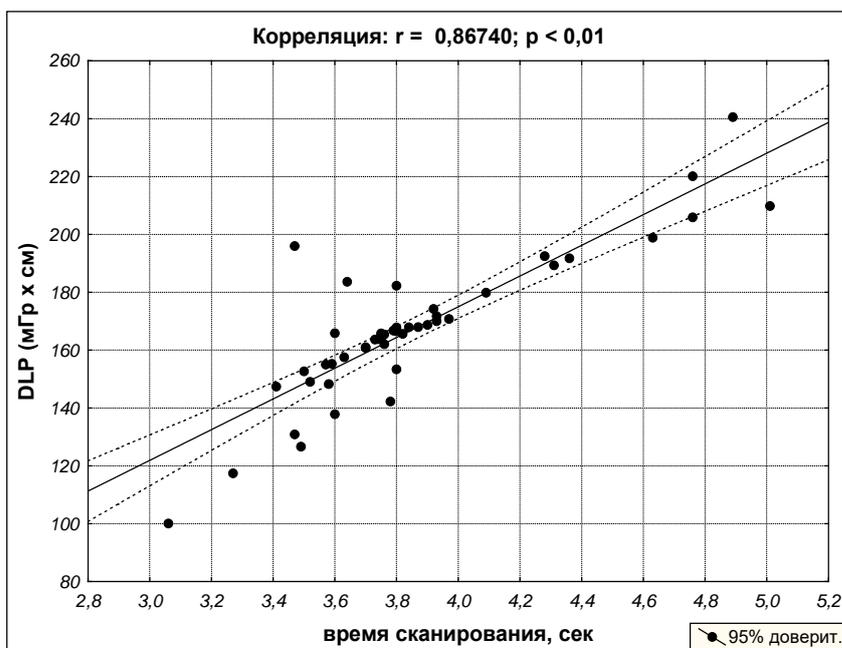


Рисунок 4 - Корреляционный анализ значений времени сканирования и E в группе исследований без кардиосинхронизации ($r=0,867$, $p<0,01$). Согласно шкале Чеддока отмечена высокая связь между переменными

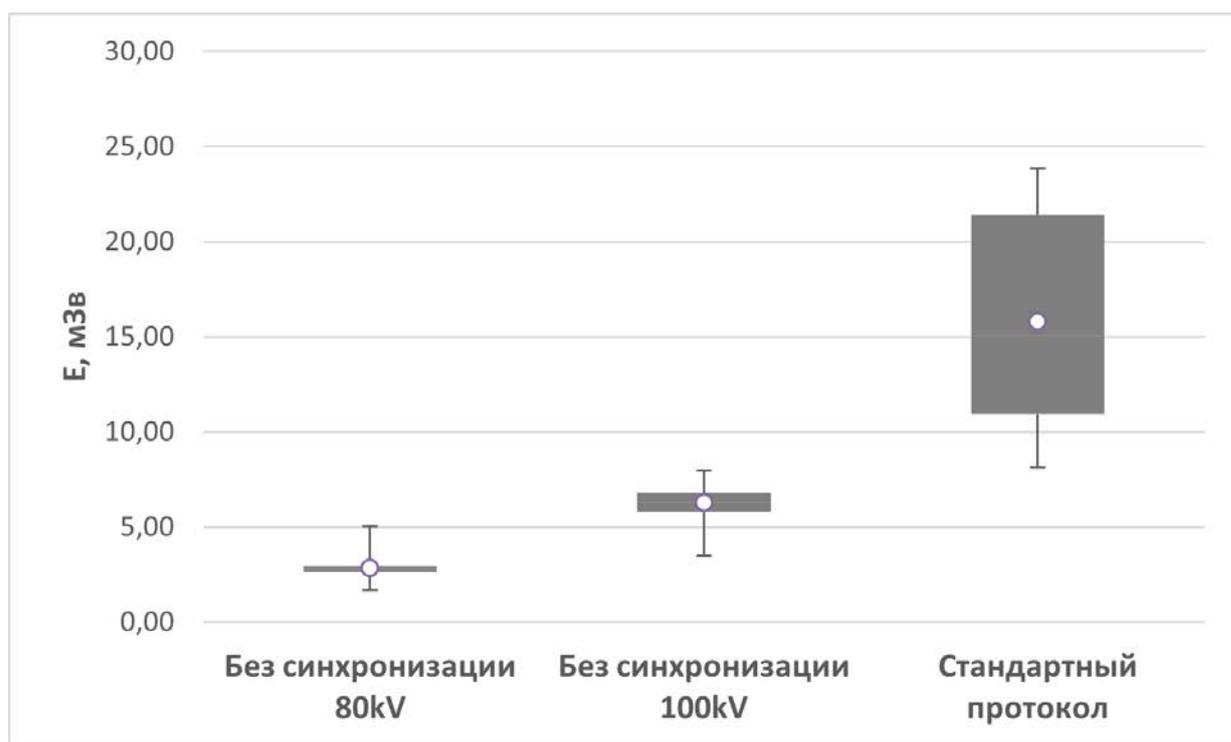


Рисунок 5 - Значение эффективной дозы (E) при использовании протоколов без кардиосинхронизации (80 kV и 100 kV) и стандартного протокола МСКТ-аортографии (n=141), $p < 0,001$

При отсутствии достоверной разницы в протяженности сканирования ($p=0,41$; $p=0,63$) в группе пациентов, обследованных без кардиосинхронизации с напряжением рентгеновской трубки 80 kV и 100 kV (Рисунок 5), значение E за исследование на 81,2% и 60% соответственно ниже в сравнении с группой, где был использован стандартный протокол сканирования. При этом качество изображений оценено наивысшим баллом в обеих группах (100%).

Увеличение скорости сканирования в группах модифицированных протоколов за счет изменения параметра pitch позволило значительно снизить объем вводимого КВ (на 40%) в сравнении со стандартным протоколом.

Динамические послеоперационные исследования были проанализированы в 30 случаях, при которых послеоперационная КТ-аортография была проведена двукратно за 12 месяцев. В результате суммарная годовая эффективная доза в группе пациентов после протезирования аорты варьировала от 5,46 мЗв до 7,6 мЗв при 80 kV, от 9,68 мЗв до 13,25 мЗв при 100 kV. У паци-

ентов после эндоваскулярного или гибридного вмешательства годовая E составила до 10,77 мЗв – 16,2 мЗв при 80kV и до 22,8 мЗв – 27 мЗв при 100 kV. Таким образом, при применении оптимизированных протоколов КТ-аортографии не было отмечено значительного увеличения суммационной лучевой нагрузки на пациентов.

«Сверхбыстрая» КТ-аортография без ЭКГ-синхронизации

Главным преимуществом использования «сверхбыстрых» протоколов КТ-аортографии является высокая скорость сканирования, что позволяет без ЭКГ-синхронизации, получать объективные данные о состоянии корня аорты (Рисунок 6).

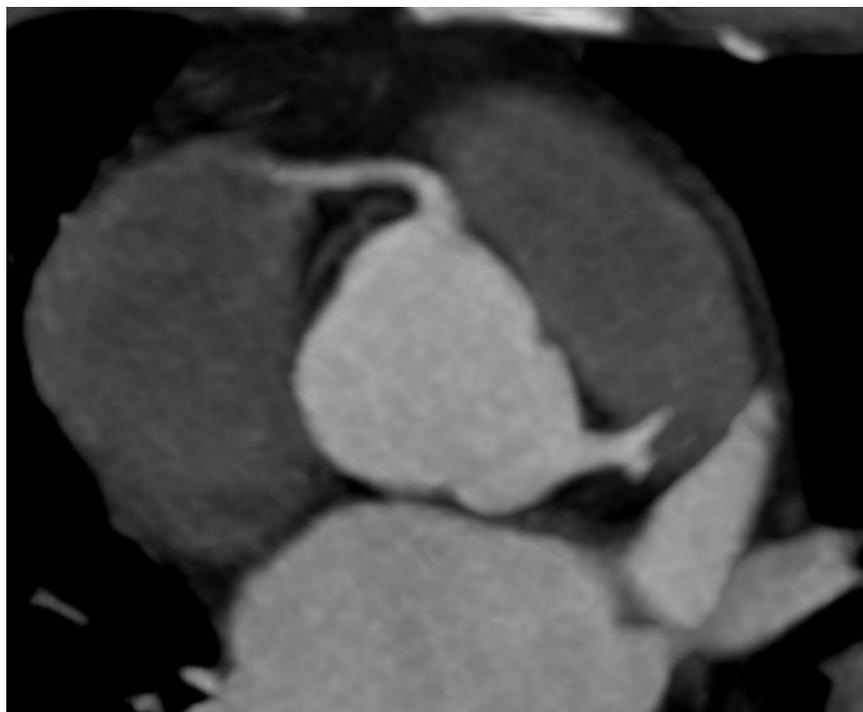


Рисунок 6 - Визуализация корня аорты и устьев коронарных артерий при «сверхбыстрой» КТ-аортографии

Анализ результатов «сверхбыстрой» КТ-аортографии и ЧП-ЭхоКГ у пациентов с аневризмой корня и восходящей аорты (Таблица 1) выявил, что отсутствие ЭКГ-синхронизации не является значимым фактором в правильной оценке размеров корня и восходящей аорты, о чем свидетельствует высокая чувствительность и специфичность при измерении.

Таблица 1 - Оценка согласованности между «сверхбыстрой» КТ-аортографией и ЧП-ЭхоКГ у пациентов с аневризмой корня и восходящей аорты

Показатель	Точность	Чувствительность	Специфичность	ИССЗ
ФК АК	96,3 [81,0; 99,9]	88,9 [51,8; 99,7]	100,0 [81,5; 100,0]	0,989 [0,979; 0,994]
Синусы Вальсальвы	92,6 [75,7; 99,1]	83,3 [35,9; 99,6]	95,2 [76,2; 99,9]	0,988 [0,977; 0,994]
Восходящая аорта	96,3 [81,0; 99,9]	100,0 [76,8; 100,0]	92,3 [64,0; 99,8]	0,995 [0,990; 0,997]

При сравнении данных «сверхбыстрой» КТ-аортографии и стандартного протокола сканирования отсутствие достоверной разницы в протяженности исследования ($p=0,58$ и $p=0,71$), тогда как время исследования в группах Flash Scan в 5 раз ниже ($p<0,001$). Значение эффективной дозы (E) при «сверхбыстром» сканировании снижено на 68% в сравнении со стандартным протоколом и составляет $4,8\pm 1,98$ мЗв для pitch 1,7 ($p<0,001$) и $5,07\pm 2,19$ мЗв для pitch 3,2 ($p<0,001$) (Рисунок 7).

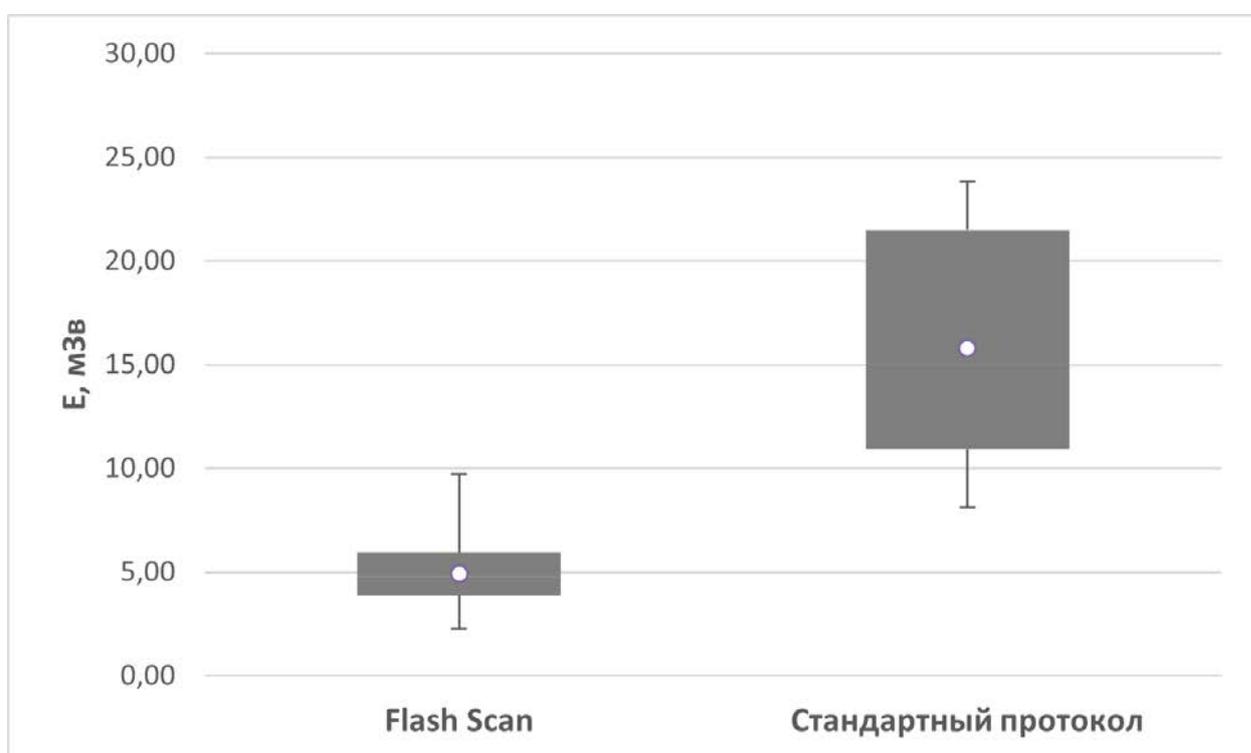


Рисунок 7 - Значение эффективной дозы (E) при использовании Flash Scan и протокола КТ-аортографии без адаптации параметров (n=177), $p<0,001$

КТ-аортография с ЭКГ-синхронизацией

По результатам исследования из-за значимого сокращения времени сканирования до $9,4 \pm 0,5$ сек и $10,24 \pm 0,9$ сек ($p=0,307$) в обеих подгруппах трехзонных протоколов АКВА 2.0 (80 kV и 100 kV) удалось снизить объем вводимого КВ до 80 мл (на 20%), при этом контрастность изображений оставалась сопоставимой и достаточной (Рисунок 8).

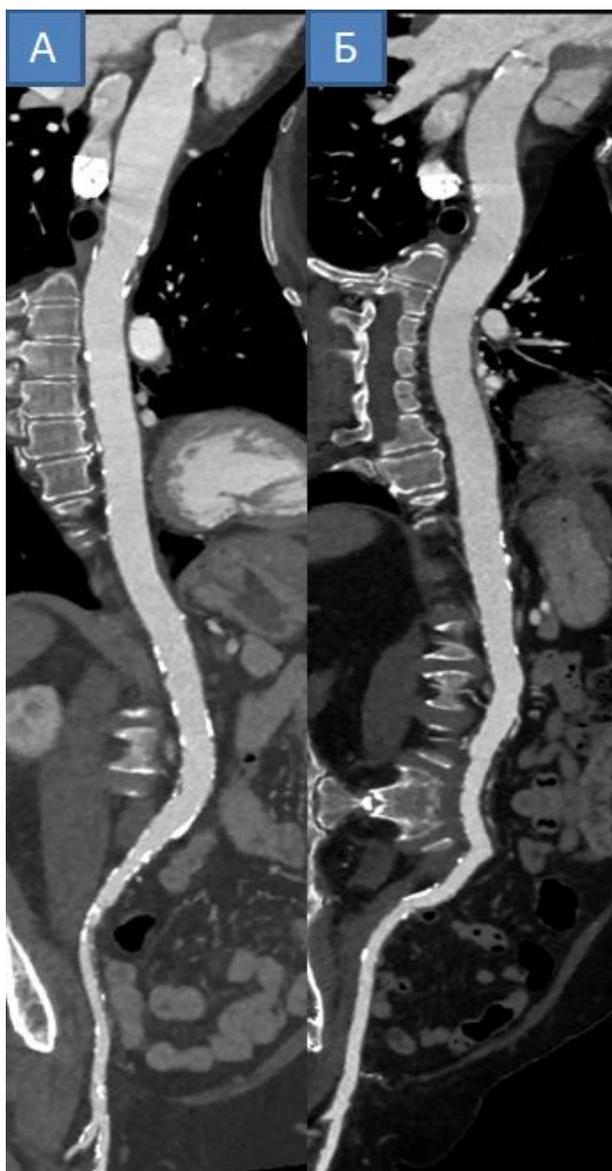


Рисунок 8 - КТ-аортография. Сравнение MPR реконструкций торако-абдоминальной аорты и проксимального подвздошно-бедренного сегмента, полученных с использованием протокола АКВА 2.0:

А – напряжение на рентгеновской трубке 80kV, ИМТ=25,2 кг/м²;
Б – напряжение на рентгеновской трубке 100kV, ИМТ=32,9 кг/м²

В полученных моделях линейной регрессии при сравнении значений времени сканирования и дозиметрических параметров (DLP) соответствующих подгрупп протоколов с кардиосинхронизацией (Рисунок 9) выявлена высокая зависимость $r=0,728$ при $p<0,0001$ и $r=0,972$ при $p<0,001$ соответственно.

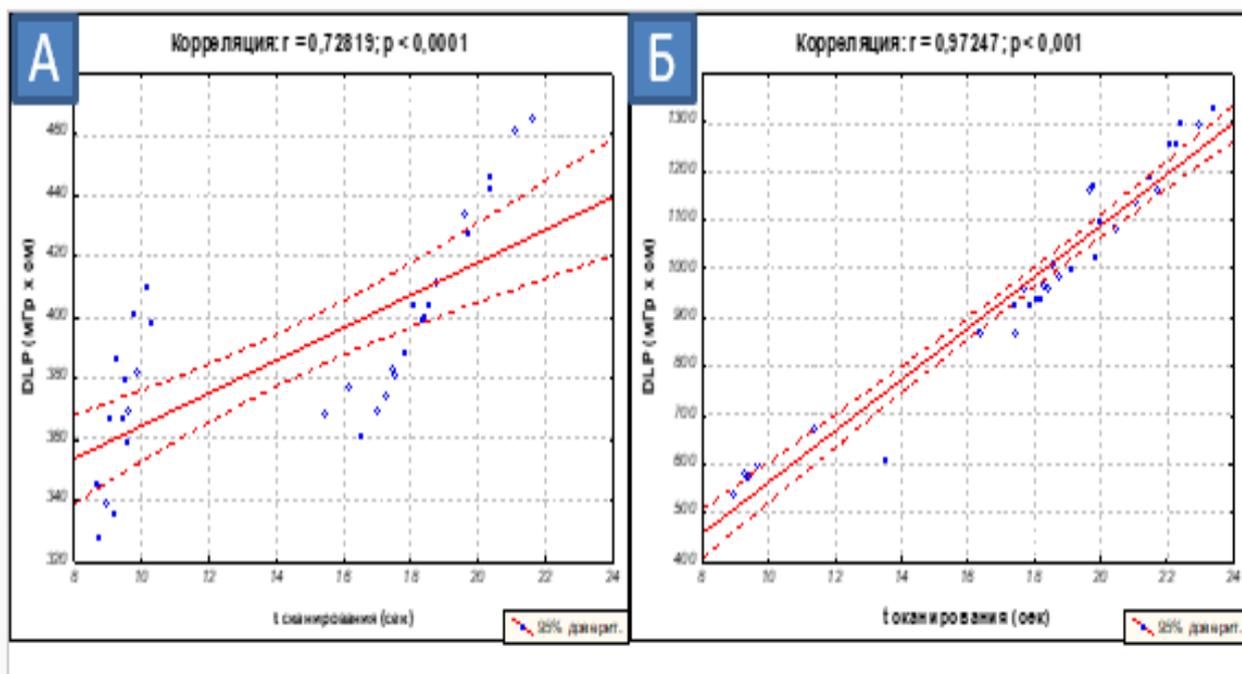


Рисунок 9 - Корреляционный анализ времени сканирования (сек) и значений DLP (мГр x см):

А – при использовании АКВА 80 и АКВА 2.0 80, $r=0,728$, $p<0,0001$;

Б – при использовании АКВА 100 и АКВА 2.0 100, $r=0,972$, $p<0,001$

При сравнении АКВА 2.0 (80 kV и 100 kV) со «сверхбыстрой» МСКТ-аортографией низкая лучевая нагрузка определена в группе с использованием протокола «сверхбыстрой» МСКТ-аортографии ($4,8\pm1,98$ мЗв, $6,47\pm0,47$ мЗв и $11,04\pm2,08$ мЗв, $p<0,001$) (Рисунок 10). Применение «сверхбыстрой» МСКТ-аортографии снижает значение эффективной дозы (E) на 25% у пациентов со средним ИМТ 25 ± 5 кг/м² (80 kV) и на 56% - с ИМТ >30 кг/м² (100 kV), при этом изображения корня аорты остаются без артефактов даже в отсутствии ЭКГ-синхронизации.

При использовании протокола без ЭКГ-синхронизации пороговое значение ИМТ, при котором показатели чувствительности и специфичности

равны 71,9% и 89,1% соответственно, составляет 29.2 кг/м², при этом (площадь под кривой 0,9 свидетельствует о высокой значимости теста, $p < 0,0001$).

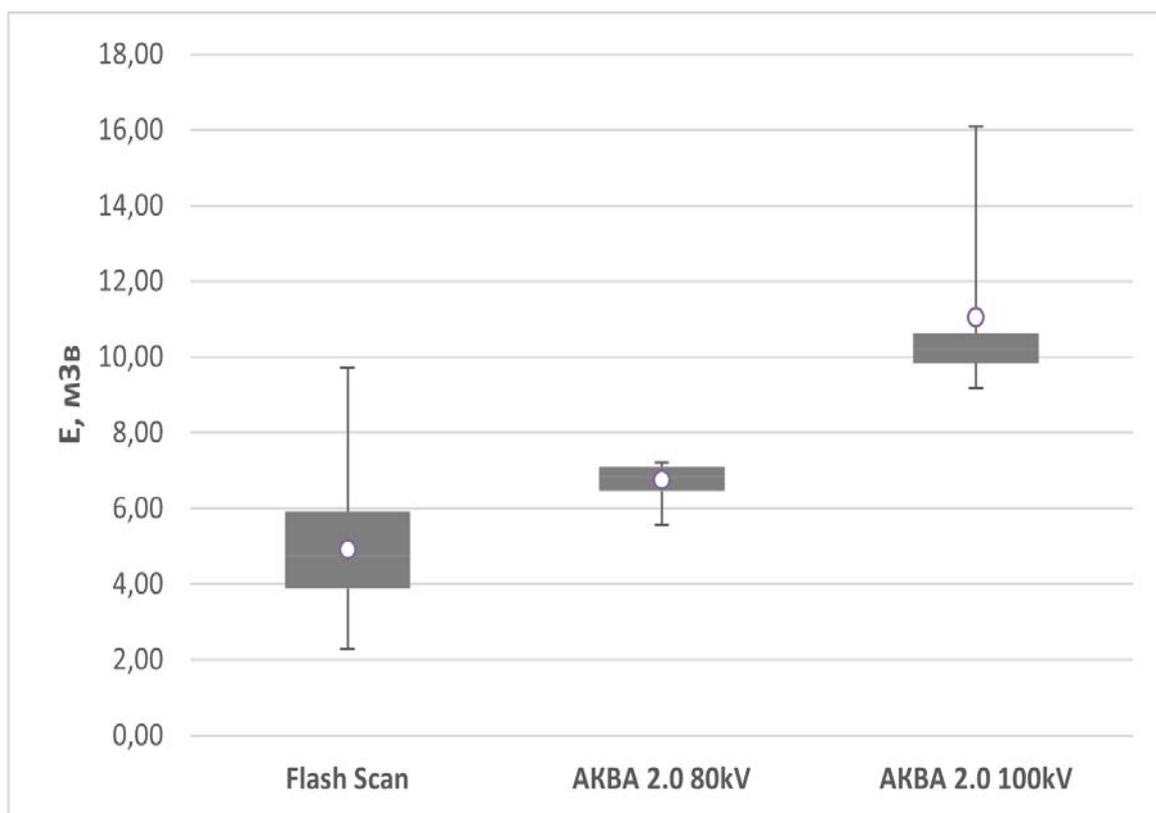


Рисунок 10 - Значение эффективной дозы (E) при использовании протоколов с кардиосинхронизацией АКВА 2.0 (80kV и 100kV) и «сверхбыстрой» КТ-аортографии (n=88) при $p < 0,001$

При проведении МСКТ-аортографии по протоколу АКВА 2.0 пороговое значение ИМТ равно 27.7 кг/м² (чувствительность 88%, специфичность 95%, площадь под кривой 0,92, $p < 0,0001$). При ИМТ < 27.7 кг/м² стоит выбирать напряжение рентгеновской трубки 80 kV; при ИМТ > 27.7 кг/м² - 100 kV.

При анализе результатов измерения корня и восходящей аорты на разных уровнях получены высокие показатели межоператорской воспроизводимости, в среднем 0,934 ($p < 0,0001$).

С учетом анализа полученных результатов исследования аорты разработан алгоритм персонифицированного выбора протокола МСКТ-аортографии (Рисунок 11).



Рисунок 11 - Алгоритм персонифицированного выбора протокола КТ-аортографии и ее параметров с учетом диагностических задач и ИМТ пациента

ВЫВОДЫ

1. Оптимизация протоколов мультиспиральной компьютерной томографии аорты, в результате которой все сегменты аорты включены в протяженность исследований, адаптивная итеративная реконструкция исключает потерю качества изображения, а выбор напряжения на рентгеновской трубке определяется пороговым значением индекса массы тела 27,7 кг/м² и 29,2 кг/м², позволяет расширить область использования низкодозных исследований для диагностики и динамического наблюдения при заболеваниях аорты до и после лечения.

2. Разработанные протоколы мультиспиральной компьютерной томографии АКВА и АКВА 2.0 в сравнении с протоколами без адаптации параметров позволяют снизить эффективную дозу на 60% и 81,2%, а объем вводимого контрастного вещества максимально на 20% и 40% соответственно при применении или без ЭКГ-синхронизации.

3. Разработанные низкодозные протоколы мультиспиральной компьютерной томографии аорты позволяют с меньшим риском осуществлять регулярное динамическое наблюдение пациентов после хирургического лечения заболеваний аорты со значительным (до 81%) снижением лучевой и йодной (до 40%) нагрузки и высокой межоператорской воспроизводимостью 0,943 ($p < 0,0001$) результатов исследования.

4. Чувствительность, специфичность и точность «сверхбыстрой» мультиспиральной компьютерной томографии аорты в определении патологических изменений аорты составляет 90,7%, 95,8% и 95% соответственно. Низкие значения эффективной дозы (до 4,8 мЗв) за исследование демонстрируют не только высокую диагностическую эффективность, но и позволяют комплексно получать исчерпывающий объем информации о состоянии аорты для планирования объема и послеоперационного контроля за результатами лечения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При решении всего спектра клинических задач, как первичной диагностики, так и динамического контроля за результатами лечения заболеваний аорты рекомендовано применять алгоритм персонифицированного выбора протоколов КТ-аортографии.

2. Выбор протокола проведения КТ-аортографии должен осуществляться с учетом антропометрических данных пациента (ИМТ), поставленных диагностических задач и индивидуальном подборе технических параметров сканирования согласно предложенному алгоритму. Пороговое значение ИМТ для выбора напряжения рентгеновской трубки при КТ-аортографии без синхронизации с ЭКГ составляет $29,2 \text{ кг/м}^2$, при кардиосинхронизированном исследовании – $27,7 \text{ кг/м}^2$.

3. При обследовании пациентов с заболеваниями аорты достаточно использовать только модифицированные протоколы КТ-аортографии без ЭКГ-синхронизации и комбинированные протоколы типа АКВА 2.0, а также «сверхбыструю» мультиспиральную компьютерную томографию аорты с высокими значениями pitch.

4. При динамическом наблюдении для оценки результатов лечения рекомендовано проведение мультиспиральной компьютерной томографии аорты без ЭКГ-синхронизации или «сверхбыстрой» мультиспиральной компьютерной томографии. При выявлении патологических изменений с вовлечением структур корня и восходящей аорты требуется использование модифицированных протоколов с ЭКГ-синхронизацией типа АКВА 2.0.

5. Проведение КТ-аортографии с использованием протокола типа АКВА 2.0 рекомендовано с пороговым значением ЧСС до 73 ударов в минуту для сохранения высокой диагностической ценности изображений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ховрин В.В., Галян Т.Н., **Малахова М.В.**, Хачатрян З.Р., Чарчян Э.Р. «Сверхбыстрая» МСКТ-аортография: реальность и перспектива. Медицинская визуализация. 2017;(4):33-40. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-4-33-40>
2. **Малахова М.В.**, Прохорова Е.А., Куличкин А.С., Бриль К.Р., Ван Е.Ю., Дзеранова А.Н., Галян Т.Н., Ховрин В.В., Чарчян Э.Р. Диагностика отрыва клапаносодержащего кондуита восходящего отдела аорты и его успешное хирургическое лечение. Вестник рентгенологии и радиологии. 2021;102(6):383-389. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-383-389>
3. **Малахова М.В.**, Галян Т.Н., Ховрина А.В., Чарчян Э.Р., Ховрин В.В. Варианты снижения лучевой и йодной нагрузки при МСКТ-аортографии перед хирургическим вмешательством на аорте и аортальном клапане. Медицинская визуализация. 2022; 26 (2): 81-90. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1149>
4. **Малахова М.В.**, Ховрин В.В., Чарчян Э.Р., Ким С.Ю., Ким М.Г., Галян Т.Н. Возможности протокола быстрого сканирования при МСКТ-аортографии у пациентов после хирургической коррекции расслоения аорты. Russian Electronic Journal of Radiology. Приложение. 2016; 6 (2): 71-72.
5. Ховрин В.В., Абугов С.А., Чарчян Э.Р., Галян Т.Н., Ким М.Г., **Малахова М.В.**, Белов Ю.В., Сандриков В.А. Передовые возможности МСКТ и сосудистой хирургии в решении проблем заболеваний аорты. Russian Electronic Journal of Radiology. Приложение. 2016; 6 (2):81-82.
6. Ким М.Г., Ховрин В.В., Галян Т.Н., Ким С.Ю., **Малахова М.В.**, Чарчян Э.Р. Аномалии дуги аорты: от диагностики к хирургии. Лучевая диагностика и терапия. 2017; 8 (2):105-106.
7. **Малахова М.В.**, Ховрин В.В., Галян Т.Н., Прохорова Е.А., Куличкин А.С., Чарчян Э.Р., Брешенков Д.Г. МСКТ-аортография у пациентов до и после одномоментного протезирования восходящей и торакоабдоминальной

аорты. Сборник материалов VII Международного конгресса и школы для врачей «Кардиоторакальная радиология». 2020; 26-27.

8. **Малахова М.В.**, Ховрин В.В., Галян Т.Н., Куличкин А.С., Чарчян Э.Р. Унификация МСКТ-исследования аорты на до- и послеоперационном этапе обследования пациентов». Digital Diagnostics. 2021; 2(2S):18-19 DOI: 10.17816/DD20212S218

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБА	аневризма брюшной аорты
АВА	аневризма восходящей аорты
АГА	аневризма грудной аорты
АТАА	аневризма торакоабдоминальной аорты
АКВА	Аортальный Клапан, Вся Аорта
ИМТ	индекс массы тела
КВ	контрастное вещество
МСКТ	мультиспиральная компьютерная томография
РА	расслоение аорты
ФК АК	фиброзное кольцо аортального клапана
ЧП Эхо-КГ	чреспищеводная эхокардиография
ЧСС	частота сердечных сокращений
ASiR	адаптивная статистическая итеративная реконструкция
DLP	произведение дозы на длину
E	эффективная доза
Flash Scan	протокол «сверхбыстрого» сканирования
SD	стандартное отклонение
TAVI	транскатетерная имплантация аортального клапана