

*На правах рукописи*



**Сорокин Виталий Геннадиевич**

**Радиационная защита при проведении чрескожных коронарных вмешательств на  
плоскодетекторном цифровом ангиографическом аппарате**

3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук

**Громов Дмитрий Геннадьевич**

**Официальные оппоненты:**

**Синицын Валентин Евгеньевич** – доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» обособленное подразделение Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, отдел лучевой диагностики, руководитель отдела

**Руденко Борис Александрович** – доктор медицинских наук, ООО «Скандинавский Центр Здоровья», заместитель главного врача по хирургии

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «30» января 2025 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.30 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 101000, г. Москва, Сверчков переулок, д. 5, Научно-практический центр интервенционной кардиоангиологии

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д. 37/1) и на сайте организации: <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета ДСУ 208.001.30  
кандидат медицинских наук



**Церетели Нино Владимировна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Рентгеновское излучение занимает ведущее место в современной медицине, при этом частота применения соответствующих процедур неуклонно растет. Благодаря внедрению инновационных технологий особенно возрастает доля интервенционных вмешательств под контролем медицинской визуализации [Р. А. Агаева, 2018, М. И. Балонов, 2015, К. Р. Kim, 2015], которые все чаще и эффективнее используются во всех отраслях медицины [М. И. Балонов, 2019, А. Э. Бейманов, 2017, Ю. А. Боченина, 2017]. К последним относятся высокодозные диагностические и лечебные манипуляции, осуществляемые под лучевым контролем. Результаты оценки доз пациентов от типовых рентгенорадиологических исследований в отдельных регионах РФ демонстрируют существенные (в десятки раз) различия между минимальными и максимальными дозами для каждого из выбранных исследований [А. В. Водоватов, 2019] и, несмотря на постоянные попытки их снижения при одновременном сохранении качества исследований и вмешательств, дозы облучения пациентов в ходе соответствующих процедур пока не достигли желаемого уровня.

Важным с позиций радиационной безопасности рентгеновское излучение является не только для пациентов, но и для медицинского персонала. На первое место выходит проблема облучения врачей рентгенохирургов. По данным Научного комитета по действию атомной радиации ООН среди всех медицинских работников поглощенная доза рентгеновского излучения специалистов, выполняющих интервенционные вмешательства, является наиболее значимой [К. Р. Kim, 2012, Нормы безопасности. 2011, IAEA Safety Standards., 2018]. К последней категории относятся врачи, занимающиеся стентированием коронарных артерий. Именно они в первую очередь подвергаются длительному воздействию рассеянного облучения [М. G. Andreassi, 2016, А. Elmaraezy, 2017, А. Roguin, 2013]. Именно в этой профессиональной среде растет беспокойство о потенциально вредном отсроченном воздействии на организм регулярного ионизирующего излучения, что требует особого контроля и поиска новых эффективных путей радиационной защиты всех присутствующих в рентген-операционной.

Несмотря на перечисленные выше известные способы контроля и снижения дозы рентгеновского облучения, до сих пор остается проблема эффективного регулирования степени ионизирующего воздействия в процессе выполнения интервенционных, в том числе чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ) [Al Kharji, 2019, С. А. Кондрашин, 2019, J. Kaljevic, 2016].

Вышеизложенное определяет необходимость поиска дополнительных эффективных мер снижения облучения пациентов и медицинского персонала в рентген-операционных. Это тем

более актуально с учетом ежегодного роста числа чрескожных коронарных вмешательств, которому способствуют: увеличение продолжительности жизни населения, усовершенствование стентов и другого расходного материала, положительный клинический опыт неотложных и плановых, в том числе технически сложных вариантов стентирования венечных артерий [M. Togni, 2004, U. Landes, 2018, T. Råmunddal, 2016]. По данным статистики, только за 2021 год в России было выполнено 258 325 ЧКВ, что на 13,6% больше, чем за предшествующий 2020 год – 227489 [Б. Г. Алесян, 2021].

### **Степень разработанности темы исследования**

В прошлом работы по изучению распространения ионизирующего излучения и способов радиационной защиты в рентген-операционной, в том числе при выполнении чрескожных коронарных вмешательств, были проведены с использованием С-дуг, укомплектованных усилителями рентгеновского изображения или электронно-оптическими преобразователями, т. е. без использования технологии плоских детекторов. В настоящее время абсолютное большинство рентген-операционных оснащено ангиографическими аппаратами с плоскопанельными детекторами, которые позволяют получить изображения более высокого качества при меньшей дозе. Работа на современных ангиографических аппаратах со сравнительно низкой дозой облучения не должна ассоциироваться с отказом от дальнейшего поиска эффективных способов радиационной защиты, а быстрое развитие технологий с переходом на С-дуги с плоскопанельными детекторами, усовершенствование программного обеспечения ангиографических установок дает возможность применения новых способов для достижения этой цели. Основным общепринятым критерием оценки доз облучения и радиационного риска (прежде всего риска возникновения стохастических эффектов) при разных условиях является эффективная доза облучения. Международная комиссия по радиологической защите обозначает эффективную дозу как сумму взвешенных эквивалентных доз во всех тканях и органах человека, подвергшихся облучению [P. O. López, 2019, E. Vano, 2021]. Именно поэтому по итогам чрескожных коронарных вмешательств точную эффективную дозу определить сложно: для этого требуется измеренная доза облучения в 12 органах. Кроме того, уровень облучения в ходе подобных вмешательств зависит от трех основных групп факторов: связанных с техническими параметрами оборудования (в том числе с заложенными в нем 8 параметрами съемки), антропометрическими параметрами пациента и особенностями выполнения процедуры [Г. Г. Онищенко, 2019, M. Andersson, 2019, N. Journy, 2012]. С учетом вышеизложенного на современном этапе технического прогресса поиск новых путей оптимизации радиационной защиты при проведении чрескожных коронарных вмешательств может и должен продолжаться, в том числе в направлении оптимизации контроля именно за

третьей группой указанных выше факторов, включая условия рентгенографической съемки.

Таким образом, инновационным подходом к поиску способа повышения уровня радиационной защиты при выполнении чрескожных коронарных вмешательств может стать разработка оптимального протокола получения рентгеновского изображения путем сравнительного анализа параметров ионизирующего излучения при разных размерах поля обзора (FOV) и разных режимах коллимации в условиях реальной клинической практики. Именно такой подход к проблеме радиационной безопасности при выполнении чрескожных коронарных вмешательств предложен, всесторонне изучен и апробирован в ходе данной работы.

### **Цель и задачи исследования**

Цель исследования – повысить радиационную безопасность при проведении чрескожного коронарного вмешательства на цифровом ангиографическом аппарате, оснащённом плоскопанельным детектором.

Задачи исследования:

1. в ходе стентирования коронарной артерии сравнить дозиметрические параметры рентгеновской съемки при разных размерах поля обзора;
2. в ходе стентирования коронарной артерии сравнить дозиметрические параметры рентгеновской съемки в разных режимах коллимации;
3. дать сравнительную оценку радиационной безопасности в ходе стентирования коронарной артерии при разных условиях рентгеновской съемки;
4. изучить влияние антропометрических и технических факторов на радиационную безопасность в ходе стентирования коронарной артерии;
5. разработать и апробировать оптимальный с точки зрения радиационной безопасности протокол рентгеновской съёмки в ходе стентирования коронарной артерии;
6. оценить влияние оптимального с точки зрения радиационной безопасности протокола рентгеновской съёмки на ангиографические и клинические результаты стентирования коронарных артерий.

### **Научная новизна**

Предложен новый оптимизированный протокол проведения чрескожного коронарного вмешательства у больных ишемической болезнью сердца на цифровом ангиографическом аппарате с плоскопанельным детектором, позволяющий достичь снижения доз облучения за счет увеличения исследуемой области путем уменьшения поля обзора (FOV). Все предшествующие исследования, направленные на изучение влияния размера поля рентгеноскопического изображения на дозу облучения, проводились или на физиологических фантомах, или с использованием С-дуг с усилителем рентгеновского изображения, которые, в

отличии от плоскопанельных детекторов, не имеют функции автоматической коллимации «слепых» зон при уменьшении поля обзора.

На основании дозиметрических протоколов ЧКВ, выполненных на цифровом ангиографическом аппарате с плоскопанельным детектором, проведено сравнение дозиметрических характеристик и эксплуатационных параметров рентгеновской трубки в трёх группах изображений, отличающихся только размерами поля обзора и режимами коллимации.

Показано, что с увеличением изображения (т.е. уменьшением поля обзора) и при использовании режима коллимации доза облучения пациента значительно снижается. Максимальный положительный результат достигается при одновременном использовании этих функций.

Дополнены антропометрические и технические факторы, влияющие на радиационную безопасность при выполнении чрескожных коронарных вмешательств.

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

Разработан и апробирован протокол рентгеновской съемки этапов чрескожных коронарных вмешательств с минимальными значениями доз облучения, предполагающий одновременное использование функции увеличения изображения (уменьшения поля обзора) и режима жёсткой коллимации. Применение соответствующих рекомендаций (дополнительно к уже известным способам радиационной защиты) позволит значимо снизить дозы облучения всех присутствующих в рентгеноперационной без потери в качестве визуализации, эффективности и безопасности стентирования коронарных артерий, что особенно важно при выполнении технически сложных и продолжительных вариантов этих вмешательств. В последнем случае дозы облучения пациента и мед. персонала становятся максимальными, а значит возрастает и риск возникновения детерминированных и стохастических эффектов от лучевого воздействия. Примерами таких вмешательств могут быть широко распространённые в клинической практике варианты бифуркационного стентирования и реканализации длительно окклюзированных коронарных артерий.

### **Методология и методы исследования**

С февраля 2022 по март 2023 года в первичное одноцентровое проспективное нерандомизированное исследование были включены данные 151 пациента с ОКС и стентированием синдром-ответственной коронарной артерии, выполненным на цифровом ангиографе Infinix VF-i (Toshiba Medical Systems, Япония), оснащённом плоскопанельным детектором.

Исследование проводилось в два этапа: в ходе первого изучались дозовые отчеты 153 рентгеновских изображений, полученные для 51 пациента с острым коронарным синдромом (ОКС), у которых с февраля 2022 по март 2023 года на аппарате Infinix VF-i (Toshiba Medical

Systems, Япония) выполнялось стентирование коронарных артерий. После чего был разработан оптимальный с точки зрения радиационной безопасности протокол получения рентгеновских изображений.

В ходе второго этапа в группе из 100 пациентов проводилась апробация разработанного протокола и изучалось его влияние на результаты чрескожных коронарных вмешательств.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1) При выполнении ЧКВ на цифровом ангиографическом аппарате с плоскопанельным детектором изменение поля обзора (FOV) в меньшую сторону статистически значимо снижает дозы облучения.

2) При выполнении ЧКВ к более выраженному снижению показателей доз облучения на цифровом ангиографе с плоскопанельным детектором приводит использование режима коллимации изображения.

3) В ходе ЧКВ максимальный вклад в радиационную безопасность в ходе ЧКВ вносит коллимация рентгеновского изображения, менее ощутимый – поле обзора (FOV)  $15 \times 15$  см (то есть минимальное из двух наиболее часто используемых в современных ангиографах). Съёмка с полем обзора  $20 \times 20$  см без режима коллимации носит скорее негативный характер в отношении радиационной безопасности, несмотря на более щадящие эксплуатационные параметры рентгеновской трубки в этом случае.

4) Показатели доз облучения при выполнении ЧКВ на цифровом ангиографе с плоскопанельным детектором существенно зависят от облучаемого объема и индекса массы тела пациента: чем они больше, тем выше дозы облучения (при равных остальных условиях рентгеновской съёмки).

5) Применение разработанного протокола рентгеновской съёмки – использование меньшего поля обзора (FOV  $15 \times 15$  см) с одновременной коллимацией изображения при каждой возможности статистически значимо снижает показатели доз облучения, в частности, произведение дозы на площадь по сравнению с рутинной практикой выполнения ЧКВ.

6) Применение разработанного протокола рентгеновской съёмки не приводит к потере в степени психологического комфорта врача-оператора, в качестве визуализации рентгеновского изображения, безопасности и эффективности самих ЧКВ, то есть не влияет на результаты эндоваскулярного лечения ишемической болезни сердца.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертационное исследование включает научное обоснование возможности снижения радиационного облучения в ходе чрескожного коронарного вмешательства путём применения нового протокола рентгеновской съёмки, что соответствует пунктам 3, 4 паспорта научной специальности 3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия.

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

Достоверность диссертационной работы подтверждается достаточным количеством наблюдений, полным спектром современных диагностических исследований, необходимых для обследования профильных пациентов, соблюдением стандартного протокола выполнения чрескожных коронарных вмешательств, аппаратным дозиметрическим контролем, исключая влияние человеческого фактора, и использованием оптимального статистического анализа полученных данных.

Научные положения, выводы и практические рекомендации в диссертации сформулированы в соответствии с целью и задачами исследования, подтверждены статистической обработкой полученных результатов.

Дизайн и результаты исследования обсуждены и доложены на региональном курсе МАГАТЭ (Международное Агентство по Атомной Энергии) по обеспечению качества и безопасности при проведении интервенционных процедур под контролем рентгеноскопии VIII Евразийского радиологического форума (24–26 июня 2019, Нур-Султан, Казахстан), конгрессе Российского общества рентгенологов и радиологов (7–8 ноября 2019, Москва), 5-м годовом собрании ANGIOPICTURE (27–28 мая 2022, Санкт-Петербург), XV Ежегодной международной конференции «Гибридные технологии в лечении сердечно-сосудистых заболеваний» (MICHS 2023) (5–7 февраля 2023, Москва), 6-м годовом собрании ANGIOPICTURE (25–27 мая 2023, Сочи).

### **Личный вклад автора**

Состоит в практическом исполнении всех этапов диссертационного исследования, включая: планирование его дизайна, цели и задач, научно-информационный поиск и анализ данных литературы, набор материала, подготовку и статистическую обработку результатов, представление их в виде научных публикаций и докладов.

### **Публикации по теме диссертации**

По теме диссертационного исследования опубликовано 6 научных работ, отражающих основные результаты диссертации, из них: 3 научные статьи в изданиях, включенных в международную базу данных Scopus; 2 статьи – иные; 1 публикация в материалах конференции.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 118 страницах, включает введение, четыре главы (обзор литературы, материалы и методы исследования, полученные результаты и их обсуждение), заключение, выводы, практические рекомендации, список сокращений и список литературы. В работе представлены 19 таблиц и 43 рисунка. Список литературы включает 111 источников, из которых 42 отечественных и 69 зарубежных.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Материал и методы исследования

*Тип исследования:* нерандомизированное, одноцентровое, проспективное исследование в двух параллельных группах на основе разработанного протокола.

С февраля 2023 по март 2023 года в первичное одноцентровое проспективное нерандомизированное исследование были включены данные 251 пациента с ОКС и стентированием синдром-ответственной коронарной артерии, выполненным на плоскодетекторном цифровом ангиографе Infinix VF-i (Toshiba Medical Systems, Япония).

#### **Критериями включения в исследование являлись:**

1. наличие показаний для ЧКВ;
2. использование одного стента в целевом участке синдром-ответственной артерии;
3. выполнение баллонной постдилатации в стенте (с целью оптимизации результатов ЧКВ).

#### **К критериям невключения относились:**

1. операция аортокоронарного шунтирования в анамнезе (для исключения погрешностей, связанных с возможным попаданием танталовых нитей в поле обзора при разном увеличении);
2. наличие других рентгенопозитивных инородных тел в зоне интереса при рентгенографии.

*Исследование проводилось в два этапа.* В ходе первого этапа разрабатывался оптимальный с точки зрения радиационной защиты протокол получения рентгеновских изображений при выполнении ЧКВ (решались первые четыре задачи исследования). В ходе второго этапа проводилась апробация разработанного протокола и изучалось его влияние на ангиографические и клинические результаты ЧКВ (решалась заключительная пятая задача исследования).

В рамках решения задач первого этапа изучались дозовые отчеты 153 рентгеновских изображений, полученные для 51 пациента. Сначала для каждого из этих пациентов в ходе стентирования коронарной артерии на этапе баллонной постдилатации стента выполнялось по три серии рентгеновских изображений, отличающихся условиями съемки, а именно: размерами поля обзора и режимами коллимации. Баллонная постдилатация была отобрана в качестве целевого этапа стентирования в виду часто возникающей необходимости повторных съемок без изменения положения С-дуги (с целью оптимального позиционирования баллона внутри стента) именно в этот момент вмешательства. Полученные таким образом 153 серии рентгеновских изображений были разделены на три группы:

**группа 1** – 51 серия, выполненная с полем обзора (FOV) 15 см без коллимации (Рисунок 1);

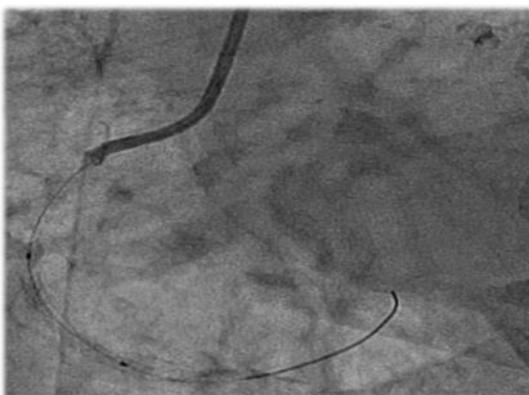


Рисунок 1 – Первая серия с полем обзора (FOV) 15 см без шторок коллиматора  
**группа 2** – 51 серия, выполненная с полем обзора (FOV) 20 см с положением шторок коллиматора по 2,5 см с каждой из сторон (т. е. в этом случае поле обзора увеличивалось, а площадь облучаемой поверхности оставалась одинаковой по сравнению с группой 1) (Рисунок 2);

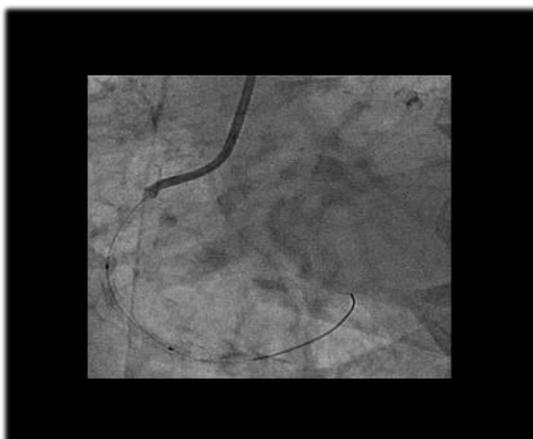


Рисунок 2 – Вторая серия с полем обзора (FOV) 20 см и коллимацией  
**группа 3** – 51 серия, выполненная с полем обзора (FOV) 20 см без использования коллимации (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Третья серия с полем обзора (FOV) 20 см без коллимации

Далее проведен подробный сравнительный анализ показателей дозовых отчетов

реализации рентгеноскопических изображений между этими тремя группами.

1. Эксплуатационные параметры ангиографической установки: ток потребления, максимальное значение тока, диапазон значений входного/выходного напряжения, уровень напряжения, экспозиция.
2. Дозиметрические параметры: величина кермы воздуха, произведение дозы на площадь (DAP), дистанция между детектором изображения и пациентом, дистанция между рентгеновской трубкой (генератором излучения) и пациентом, площадь облучаемой кожной поверхности на основе FOV, объем облучаемого участка, эффективная доза (ЭД) за каждую серию.

Также при решении задач первого этапа изучались следующие антропометрические параметры: вес, ИМТ, возраст.

В результате выявлены условия съемки с минимальными значениями ионизирующего излучения, позволившие разработать оптимальный протокол получения рентгеновских изображений в ходе чрескожных коронарных вмешательств.

На втором (заключительном) этапе исследования проводилась апробация разработанного протокола получения рентгеновских изображений в группе из 100 пациентов. Врачи, проводившие стентирование коронарных артерий в этой группе, знали о своем участии в исследовании и четко придерживались протокола, используя FOV 15 x 15 см и режим коллимации в каждом случае, когда зона интереса помещалась в поле обзора с такими параметрами съемки.

Далее для оценки влияния разработанного протокола реализации рентгеноскопических изображений на непосредственные результаты стентирования коронарных артерий было проведено их сравнение между группой апробации и контрольной группой. В контрольную группу вошли данные 100 пациентов с чрескожными коронарными вмешательствами, выполненными с использованием рутинных (привычных для врачей) условий получения рентгеновских изображений. Врачи, проводившие стентирование коронарных артерий в этой группе, заранее не знали о своем участии в исследовании и подбирали условия рентгеновской съемки эмпирически (по своему усмотрению), исходя из собственного опыта и знаний радиационной безопасности.

Контрольная группа специально была сформирована сопоставимой с группой апробации по основным характеристикам, способным повлиять на результаты стентирования коронарных артерий: антропометрическим, клинико-anamнестическим и техническим особенностям выполнения вмешательств. В качестве конечных точек в данном случае изучались: эффективная доза, общее время рентгеноскопии, общая продолжительность вмешательства, субъективная оценка протоколов реализации рентгеновского изображения врачами-

операторами (удовлетворенность качеством визуализации, степень психологического комфорта), ангиографический (технический) успех вмешательства, клинические результаты чрескожных коронарных вмешательств (их эффективность и безопасность).

Обработка данных проводилась в среде Windows 10, Excel-файлов, SPSS 17.0, Statistica 13.5. Для вычисления эффективной дозы и максимальной поглощенной дозы кожи использовались коэффициенты перехода, рекомендованные МУ 2.6.1.2944-19, которые были выполнены с помощью оригинальной компьютерной программы EDEREX [F. Malchair, 2020], позволяющей в режиме реального времени рассчитывать средние поглощенные дозы более чем в 20 органах и тканях, а также значение эффективной дозы для пациента заданного пола и возраста (размера) и произвольной рентгенологической процедуры. Проверка результатов вычисления эффективной дозы осуществлялась с помощью компьютерной программы NCIRF ver.2.020211218 (National Cancer Institute dosimetry system for Radiography and Fluoroscopy).

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом РНИМУ им. Н.И. Пирогова, оно также соответствует руководящим принципам Хельсинкской декларации.

Оценка нормального распределения величин проводилась по тесту Колмогорова – Смирнова, соотношения полов в контрольной и экспериментальной группах пациентов – тест Хи-квадрат Пирсона с поправкой Йетса, сравнения результатов – тест Манна – Уитни, однофакторного анализа ANOVA для определения разницы между средними значениями, корреляционного анализа Спирмена с использованием программного обеспечения SPSS 17.0, Statistica 13.5.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **Сравнение эксплуатационных и дозиметрических параметров рентгеновской съемки между группами с разным размером поля обзора**

Технические особенности работы коллиматора рентгеновского излучения и генератора мобильных С-дуг при изменении размера поля обзора послужили причиной включения в рекомендации МАГАТЭ положения о минимизации использования цифрового увеличения и малого поля обзора [IAEA Safety Standarts, 2019]. Однако, принципиально другой технический подход к производству коллиматоров и плоскопанельных детекторов всех современных цифровых ангиографических аппаратов (в том числе ангиографического аппарата задействованного в диссертационной работе) заключается в автоматической подстройке шторок коллимации рентгеновского пучка только под размер видимого изображения при уменьшении поля обзора (т.е. увеличении изображения), что приводит к уменьшению площади и объема облучаемых тканей пациента, тем самым отрицательное влияние роста выхода излучения на пациента нивелируется, а дозы облучения, становятся ниже, что и было показано в нашем исследовании впервые в ходе реальных чрескожных коронарных вмешательств.

Таблица 1 – Сводные данные групп изображений с разным протоколом рентгеновской съемки

	Группа 1: FOV 15 см без коллимации	Группа 2: FOV 20 см сколлимацией	Группа 3: FOV 20 см без коллимации
Мужской пол, чел.	32	32	32
Женский пол, чел.	19	19	19
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	30,7±7,7	30,7±7,7	30,7±7,7
Возраст, лет	67,4 (1,88)	67,4 (1,88)	67,4 (1,88)
Продолжительность серии, с	3	3	3
Количество кадров, кадр	30	30	30
Ширина пульса, мс	9,42±1,21	8,72±1,83	8,57±1,93
Размер фокуса, мм	0,83±0,2	0,75±0,2	0,76±0,2
Напряжение на трубке, Kv	86,3 (1,4)	82,4 (1,1)	80,3 (0,3)
Сила тока, mA	685,9±231,0	550,1±171,3	557,0±181,6
Время экспозиции, с	0,40±0,07	0,37±0,09	0,36±0,09
Экспозиция, mA*s	277,7±116,5	203,5±88,9	205,8±96,9
SID, см	122,1±125,6	122,1±125,6	122,1±125,6
Расстояние между детектором и пациентом, см	24,0±6,3	24,0±6,3	24,0±6,3
Дистанция между трубкой и пациентом, см	58,3±4,3	58,3±4,3	58,3±4,3
Объем облучаемого участка, см <sup>3</sup>	727,9±76,4	727,9±76,4	970±101,9
Table top, см	98,3±4,3	98,3±4,3	98,3±4,3
DAP, Гр·см <sup>2</sup>	127,6±48,9	89,9±39,2	223,3±110,0
kerma, mGy	22,1±9,3	15,7±8,1	14,5±8,0
Laο+/Raο-, градусы	-0,43±14,7	-0,43±14,7	-0,43±14,7
Crα+/Caα-, градусы	-3,0±18,5	-3,0±18,5	-3,0±18,5

Статистически значимое преимущество использования в ходе ЧКВ меньшего поля обзора, доказано тем, что среднее значение эффективной дозы при переходе с FOV 15 × 15 на 20 × 20 см увеличивалось на 0,22 мЗв, т.е. почти на 76%: с 0,29 до 0,51 (p < 0,05) (Таблицы 1, Рисунок 4).

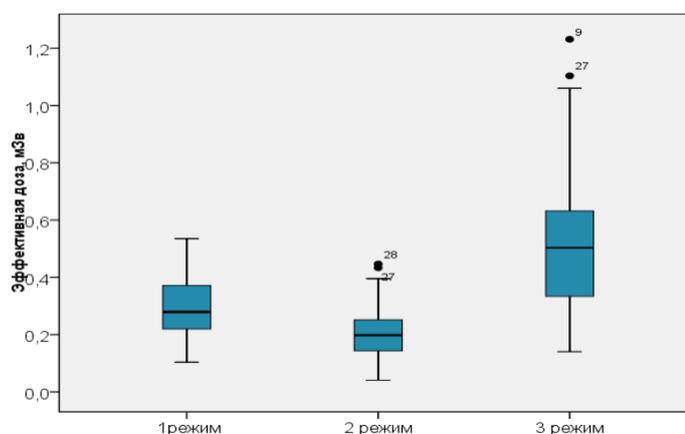


Рисунок 4 – Средние значения эффективной дозы в исследуемых группах (p < 0,05)  
Результаты попарных сравнений эффективной дозы в исследуемых группах методом

Тьюки приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты попарных сравнений E методом Тьюки в исследуемых группах

E		p
Группа 1 (0,29 мЗв)	Группа 2 (0,21 мЗв)	0,026
	Группа 3 (0,51 мЗв)	0,000
Группа 2 (0,21 мЗв)	Группа 3 (0,51 мЗв)	0,000

Медиана DAP при съемке целевого этапа стентирования на условиях FOV 15 × 15 см (группа 1 исследования) составила 121,29 сГр·см<sup>2</sup>, а на условиях FOV 20 × 20 (группа 3 исследования) была в 1,8 раза выше – 218,94 сГр·см<sup>2</sup> (p < 0,05) (Рисунок 5).

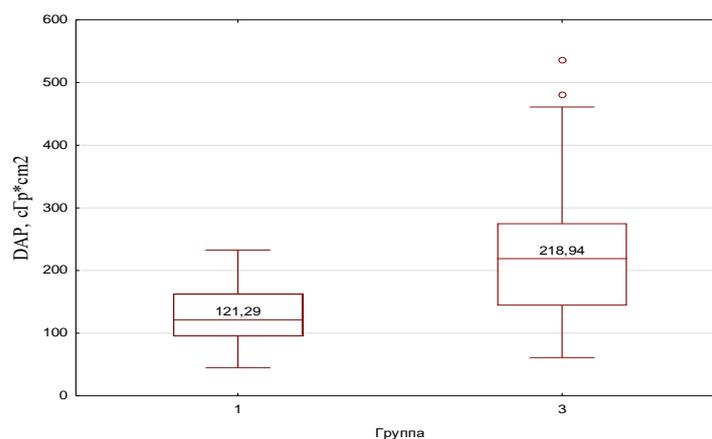


Рисунок 5 – Значение произведения площади на дозу облучения (DAP) в группах рентгенографических серий с разным размером поля обзора, сГр·см<sup>2</sup>. Результаты выражены в виде медианы, 25-го перцентиля, 75-го перцентиля, минимального и максимального значений распределения (p < 0,05)

В ходе диссертационной работы при сравнении групп с FOV 15 × 15 и 20 × 20 см статистически значимого различия в показателях воздушной кермы получено не было (p = 0,068), не было выявлено и случаев лучевого поражения кожи (Рисунок 6).

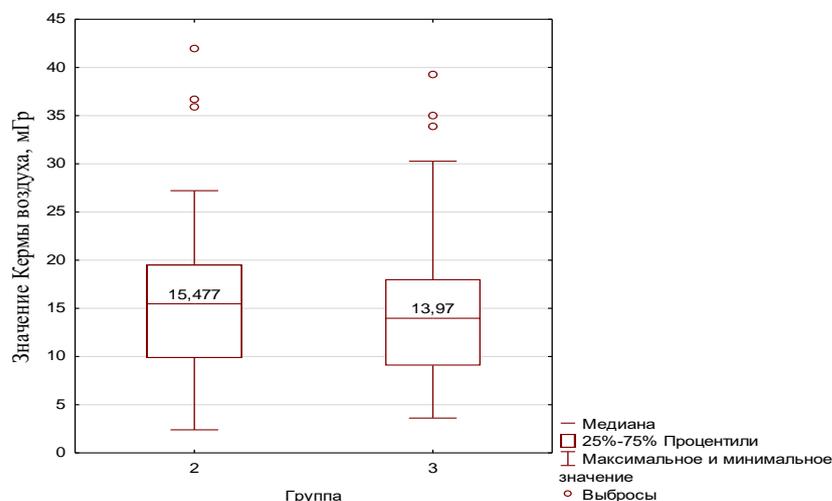


Рисунок 6 – Значение воздушной кермы в группах рентгенографических серий с разным режимом коллимации изображений, мГр (p = 0,068)

Таким образом, после введения в эксплуатацию современных ангиографов с плоскопанельными детекторами положительная роль уменьшения размера поля обзора (FOV) в снижении доз облучения была отражена в нескольких работах, однако, его преимущество в ходе реальных интервенционных вмешательств показано только в этом исследовании. Следующей задачей было оценить влияние коллимации рентгеновского изображения на радиационную безопасность в ходе чрескожных коронарных вмешательств.

### **Сравнение эксплуатационных и дозиметрических параметров рентгеновской съемки между группами с разным режимом коллимации изображения**

Для решения этой задачи был использован режим плотной коллимации рентгеновского поля, который присутствовал в группе 2 и отсутствовал в группе 3 исследования.

При сравнении эксплуатационных параметров ангиографа (силы тока, напряжения, мощности экспозиции и воздушной кермы) между этими группами статистически значимого различия получено не было, что вполне ожидаемо, так как размер самого изображения в соответствующих группах не менялся (менялся лишь режим коллимации).

Показатели облучения пациента (DAP, эффективной дозы и МПКД) были статистически значимо меньше в группе 2 по сравнению с группой 3 (Таблица 3).

Таблица 3 – Значения DAP, E и МПКД в группах с разным режимом коллимации

Показатель	Режим 2	Режим 3	$\Delta$ , %, M3-M2/M3
DAP, сГр·см <sup>2</sup>	89,88 (5,49)	223,27 (15,40)	59,7
Эффективная доза, E, мЗв	0,21 (0,01)	0,51 (0,04)	58,8
МПКД, мГр	6,29 (0,38)	15,63 (1,08)	60,0

Преимущество группы 2 в показателях радиационной безопасности обусловлено тем, что облучаемый объем тела пациента при коллимации изображения становился меньше, а размер поля обзора не менялся. Средние значения облучаемого объема тела пациента в группах 2 и 3 составили  $728,0 \pm 76,4$  и  $970,6 \pm 101,9$  см<sup>3</sup>, соответственно ( $p < 0,05$ ).

Справедливо отметить, что эффективность коллимации в отношении радиационной безопасности демонстрировалась и раньше во многих других исследованиях. Например, важность максимальной коллимации для минимизации доз облучения в ИК отмечали Walters T. E. с коллегами [Walters T. E., 2012]. Суть их исследования заключалась в том, что один из опытных интервенционных кардиологов регулярно в течение года практиковал использование коллимации, в каждом случае регулируя шторки до минимально необходимого значения (Рисунок 7). Другие продолжали свою обычную работу. В результате за год наблюдения общая доза облучения, выраженная в DAP, в первом случае была ниже, чем во втором, на 60%

(медиана 11199 против 27759 мГр·см<sup>2</sup>,  $p < 0,0001$ ). Подробнее результаты исследования Walters Т. Е. представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Медиана и межквартильный диапазон для времени рентгеноскопии, дозы облучения и мощности дозы в группах с разным режимом коллимации в исследовании Т. Е. Walters, 2012

	Обычная процедура	Максимальная коллимация	Изменения, %	<i>P</i>
Время рентгеноскопии (мин): медиана (IQR)	22 (21)	13 (21)	39	<0,0001
Доза облучения (мГр·см <sup>2</sup> ): медиана (IQR)	27 759 (44 536)	11 199 (29 712)	60	<0,0001
Мощность дозы (мГр·см <sup>2</sup> /мин): медиана (IQR)	1390 (1015)	1065 (871)	23	<0,0001



Рисунок 7 – Пример максимальной коллимации для минимизации доз облучения в исследовании Walters Т. Е.: коронарный синус и катетеры Гиса показаны в правой косо́й проекции

В данном диссертационном исследовании в результате сравнения показателей радиационной безопасности в ходе ЧКВ между группами 2 и 3 также было показано значительное преимущество использования коллимации (при сопоставимых значениях силы тока, напряжения, мощности экспозиции и воздушной кермы). К сожалению, в реальной клинической практике коллимация используется редко. Чаще рентгенохирурги игнорируют эту функцию, экономя время либо ссылаясь на дискомфорт, связанный с размером изображения и/или присутствием на экране шторок коллиматора. Частично этот недостаток могло бы компенсировать оснащение рентген-операционных большими, 50-дюймовыми мониторами.

#### **Сравнительная оценка показателей лучевой безопасности в ранее изученных группах с разным протоколом рентгеновской съемки**

Для окончательной оценки вклада каждого из рассмотренных параметров рентгеновской съемки в радиационную безопасность и разработки оптимального протокола получения

изображения в ходе ЧКВ было проведено попарное сравнение изученных групп методом Тьюки (Таблицы 5, 6).

Таблица 5 – Результаты попарных сравнений E методом Тьюки в исследуемых группах

Значения E в группах		Значение p
Группа 1 (0,29 мЗв)	Группа 2 (0,21 мЗв)	0,026
	Группа 3 (0,51 мЗв)	0,000
Группа 2 (0,21 мЗв)	Группа 3 (0,51 мЗв)	0,000

Таблица 6 – Результаты попарных сравнений МПКД в исследуемых группах

Значения МПКД в группах		Значение p
Группа 1 (8,93 мГр)	Группа 2	0,026
	Группа 3	0,000
Группа 2 (6,29 мГр)	Группа 1	0,026
	Группа 3	0,000
Группа 3 (15,63 мГр)	Группа 1	0,000
	Группа 2	0,000

В этом случае основными конечными точками исследования были: эффективная доза и максимальная поглощенная доза кожи пациента. В результате было получено статистически значимое различие групп по каждому из этих показателей. Минимальные средние значения эффективной дозы и максимальной поглощенной дозы кожи пациента соответствовали условиям съемки в группе 2 (с полем обзора  $20 \times 20$  см и использованием коллимации), а максимальные – в группе 3 (с полем обзора  $20 \times 20$  см и без использования коллимации). Соответственно, в группе 1 (с полем обзора  $15 \times 15$  см и без использования коллимации) эти значения оказались промежуточными.

Таким образом, максимальный вклад в радиационную безопасность в ходе ЧКВ вносила коллимация рентгеновского изображения, менее ощутимый – поле обзора (FOV)  $15 \times 15$  см (то есть минимальное из двух используемых). Поле обзора  $20 \times 20$  см и без режима коллимации имело скорее негативный характер в отношении радиационной безопасности, несмотря на более щадящие эксплуатационные параметры рентгеновской трубки в этом случае.

### **Влияние антропометрических и технических факторов на радиационную безопасность в ранее изученных группах с разным протоколом рентгеновской съемки**

Чтобы определить степень влияния основных антропометрических и технологических факторов на радиационную безопасность в изученных группах с разными условиями рентгеновской съемки было проведено сравнение соответствующих данных. В результате из первоначально выбранных нами трех антропометрических факторов (возраст, пол и ИМТ) достоверное влияние на радиационную безопасность в каждой группе оказывал только ИМТ:

чем выше был ИМТ, тем выше был DAP. На данном этапе исследования принципиальный момент заключался в том, что показатели DAP при разных условиях рентгеновской съемки существенно различались даже в подгруппах с одинаковым ИМТ. Минимальный из них был получен в группе 2, а максимальный – в группе 3, причем в группе 2 даже при максимальном ИМТ (более 35) показатель DAP был меньше аналогичного показателя при минимальном ИМТ (менее 27) в группе 3, составив 120,0 против 126,3 сГр·см<sup>2</sup>, соответственно. Это еще раз подтвердило ведущую положительную роль коллимации в защите от излучения (Таблица 7).

Таблица 7 – Значения DAP в подгруппах одинаковой весовой категории, но при разных условиях рентгеновской съемки (группы 1–3), сГр·см<sup>2</sup>

Группы	ИМТ до 27	ИМТ от 27 до 35	ИМТ выше 35	P*
1	75,8	131,3	186,0	< 0,05
2	57,3	93,0	120,1	< 0,05
3	126,3	222,0	328,0	< 0,05
	p** < 0,05	p** < 0,05	p** < 0,05	

\* различие между всеми подгруппами статистически значимое

\*\* различие между всеми группами статистически значимое

В дальнейшем при изучении корреляционной зависимости радиационной безопасности от ряда других факторов была показана положительная умеренная корреляция DAP с весом, ростом, облучаемым объемом анатомической области пациента и напряжением на рентгеновской трубке, а также положительная умеренная корреляция E с теми же факторами.

Изложенные выше результаты коррелируют с результатами ряда других, уже известных работ [G. Panuccio, 2011, J. E. Guelker, 2019, A. Shah, 2015]. В одной из них было показано, что дозы облучения при излишней толщине тела пациента могут возрастать в зависимости от условий съемки более чем в 30 раз по сравнению с исходными [J. E. Guelker, 2019]. В другой работе [M. Verdoia, 2022] размеры тела пациента являлись определяющими в облучении как самого объекта исследования, так и врача-оператора. Авторы сравнивали значения DAP и эффективной дозы облучения у пациентов с нормальной массой тела (ИМТ < 25 кг/м<sup>2</sup>) с аналогичными показателями у больных с избыточной массой тела (ИМТ ≥ 25 кг/м<sup>2</sup>). В исследование были включены данные 748 пациентов (преимущественно мужчин) с выполненными коронарным вмешательствами. По итогам средние значения DAP и E у пациентов с избыточным ИМТ значительно превышали аналогичные показатели в контрольной группе (p < 0,001). Была выявлена прямая связь DAP и E с массой тела (r = 0,22, p < 0,001); аналогичная линейная связь этих же показателей с ИМТ (r = 0,18, p < 0,001 и r = 0,19, p < 0,001, соответственно).

В исследовании коллег из Мадрида [E. Vano, 2006] на фантомах была показана зависимость дозы рассеянного излучения от толщины тела пациента, то есть от объема его облучаемой ткани. Мощность дозы на рабочем месте колебалась от 1 до 14 мЗв/ч<sup>-1</sup> при рентгеноскопии и от 10 до 47 мЗв/ч<sup>-1</sup> при рентгенографии. Показатели воздушной кермы на входе увеличивались почти в 3 раза, а доза персонала – в 2,6 раза, когда рентгеноскопия переходила с низкодозного на высокодозный режим для типичной толщины пациента в 20 см.

Возможно отдельного внимания заслуживает выявленная в диссертационном исследовании тенденция к увеличению DAP у пациентов старше 60 лет по сравнению с более молодыми, более выраженная в группе 1 (т. е. при рентгеновской съемке в условиях FOV 15 × 15 см и без коллимации): 131,5 и 113,0 сГр·см<sup>2</sup>, соответственно (p = 0,18). Некоторый намек на аналогичный результат прослеживается в работе Kuon с коллегами [E. Kuon, 2017]. При катетеризации сердца авторами было отмечено значимое увеличение дозы облучения в группе пациентов старше 60 лет (по сравнению с более молодыми, (p < 0,001)), но только у женщин. Отдельно возраст статистически значимого влияния на дозы облучения не оказывал. Кроме пола, независимой переменной был ИМТ пациента. Зависимости показателей радиационной безопасности от других факторов ни в этом, ни в других исследованиях получено не было.

### **Апробация протокола рентгеновской съемки с максимально высокой радиационной безопасностью и оценка его влияния на результаты стентирования коронарных артерий**

Результаты, полученные в ходе решения предыдущих задач, легли в основу разработки оптимального протокола получения рентгеновских изображений в ходе ЧКВ, суть которого заключается в комбинированном использовании минимального поля обзора (15 × 15 см) и режима коллимации в каждом случае, когда зона интереса укладывается в полученное таким образом изображение. В противном случае рекомендуется переход съемки на режим FOV 20 × 20 см с использованием максимально допустимого режима коллимации. Использование поля обзора 20 × 20 см без режима коллимации носит крайне негативный характер с точки зрения радиационной безопасности.

С учетом вышесказанного полный оптимальный (с точки зрения радиационной безопасности) протокол проведения чрескожных коронарных вмешательств должен включать:

#### **1. На этапе подготовки:**

- а) использование двух индивидуальных дозиметров и персонального отдельного рентгенозащитного фартука с воротником;
- б) предварительное планирование хода вмешательства и выбор соответствующего ангиографического протокола;

- с) создание удобных условий на рабочем месте, предполагающих использование навесных рентгенозащитных шторок, экранов и максимальное расстояние врача от источников излучения;
- д) оценку ИМТ пациента и сложности лечебной процедуры для планирования оптимальных рабочих проекций, как с точки зрения визуализации, так и с точки зрения радиационной безопасности (недопущения превышения максимально допустимой поглощенной дозы кожи пациента);
- е) настройку функции отдельной педали для записи одного кадра в лучшем качестве.

## **2. В ходе вмешательства:**

- а) использование минимально необходимого размера поля изображения и максимально допустимой коллимации при любой возможности (то, что было показано в исследовании);
- б) сокращение общего времени рентгеноскопии, в том числе путем уменьшения размера импульса и частоты кадров в секунду до минимально комфортных;
- с) сокращение общего времени импульсной рентгенографии, в том числе путем использования функции сохранения копии, например, для протоколирования второстепенных промежуточных этапов вмешательства;
- д) минимизацию числа косых «высокодозных» проекций, особенно у пациентов с ожирением;
- е) частую смену рабочих проекций при затянувшихся по времени вмешательствах (для изменения области воздействия на кожу), особенно при использовании малого поля обзора;
- ф) расположение стола максимально высоко, а детектора – максимально близко к пациенту;
- г) контроль в режиме реального времени DAP, воздушной кермы и кожной дозы.

## **3. После вмешательства:**

- а) расчет и протоколирование эффективной дозы согласно МУ 2.6.1.3584-19;
- б) уведомление пациента и лечащего врача о превышении МПКД более 3 Гр;
- с) наблюдение за предполагаемым участком детерминированного поражения кожи у пациентов с превышением МПКД более 3 Гр в течение 14 дней.

С целью апробации разработанного протокола рентгеновской съемки была отобрана основная (опытная) группа из 100 пациентов. Врачи, проводившие стентирование коронарных артерий в этой группе, знали о своем участии в исследовании и четко придерживались условий апробируемого протокола, используя FOV 15 см с коллимацией изображения в каждом случае, когда зона интереса помещалась в поле обзора. С целью оценки влияния разработанного протокола на результаты стентирования коронарных артерий таким же образом была сформирована контрольная группа, которая не отличалась от основной по количественному составу, принципиально важным антропометрическим, клинико-anamнестическим и ангиографическим параметрам (Таблица 8).

Таблица 8 – Исходные данные групп пациентов второго этапа исследования

Показатель	Группа 1 (основная) n = 100	Группа 2 (контрольная) n = 100	p
Мужчины	63	64	≈1
Женщины	37	36	≈1
Возраст, лет	67,5	66	0,70
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	30,1	30,4	0,70
Сахарный диабет	17	18	≈1
ОКС без подъема сегмента ST	64	65	≈1
ОКС с подъемом сегмента ST	36	35	≈1
Трансрадиальный доступ	92	94	≈1
Syntax Score, средний	24,5	24,0	0,83
Многососудистое поражение	41	42	≈1
Ствол ЛКА	10	11	≈1
ПМЖА	41	39	≈1
ОВ или ВТК	15	14	≈1
ПКА	15	16	≈1
Окклюзия целевой артерии	33	32	≈1
Бифуркационное поражение	19	20	≈1
Кол-во стентов	139	135	0,51
Средняя длина стентов, мм	25,8	25,6	0,68
Средний диаметр стентов, мм	3,17	3,24	0,35
Опыт врачей-операторов, лет	11,2	10,9	0,73

Врачи, проводившие стентирование коронарных артерий в этой группе, заранее не знали о своем участии в исследовании и подбирали условия съемки чисто эмпирически (по своему усмотрению), исходя из собственного опыта и знаний радиационной безопасности. Остальные условия работы, равно как и профессиональный опыт врачей в группах, не отличались.

Далее было проведено сравнение основной и контрольной групп по результатам стентирования коронарных артерий, включая характер субъективной оценки врачами-операторами протоколов реализации изображений, дозы облучения, общее время рентгеноскопии, частоту технического успеха, частоту ангиографических и клинических осложнений.

Проведенный сравнительный анализ не показал достоверного отличия групп по основным показателям клинической эффективности и безопасности выполнения ЧКВ (частоте успеха, ангиографических и клинических осложнений), равно как и по результатам субъективной оценки врачами-операторами качества рентгеновской съемки.

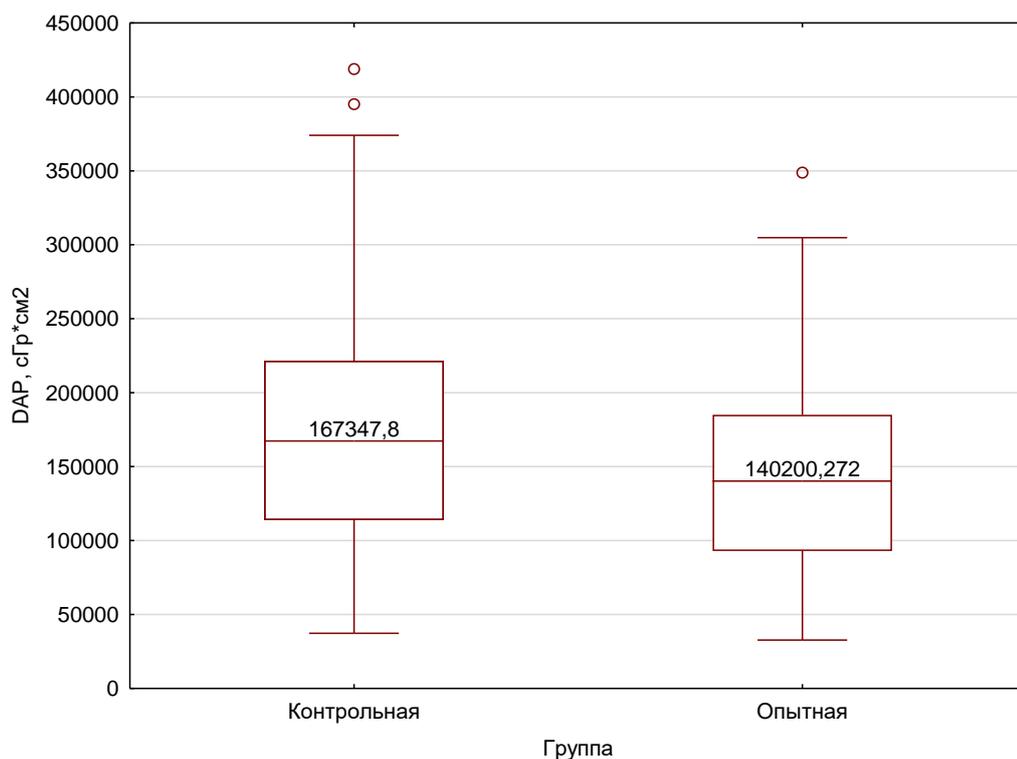


Рисунок 8 – Значение DAP ( $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ ) в опытной и контрольной группах. Результаты выражены в виде медианы, 25-го перцентилья, 75-го перцентилья, минимального и максимального значений распределения ( $p = 0,01$ )

Ключевой дозиметрический параметр групп статистически значимо отличался – значение DAP (Рисунок 8) в основной группе было на 16,2% меньше, чем в контрольной:  $140200 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$  и  $167347 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$  ( $p = 0,01$ ). При этом статистически значимого различия групп по среднему значению воздушной кермы получено не было:  $3149,4$  и  $2878,4 \text{ мГр}$ , соответственно ( $p = 0,068$ ), что крайне важно в отношении риска возникновения лучевых поражений кожи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Число чрескожных коронарных вмешательств продолжает расти с каждым годом, а их выполнение часто сопряжено с высокими дозами ионизирующего излучения. Данные обстоятельства вынуждают уделять больше внимания радиационной безопасности и искать новые пути радиационной защиты в этой области медицины.

В ходе диссертационной работы были решены шесть задач, поставленных именно с этой целью. В финале разработан оптимальный протокол рентгеновской съемки этапов стентирования коронарных артерий, позволяющий значительно снизить дозы облучения пациента, а значит и дозы всего персонала операционной без потери в качестве рентгеновской съемки, в клинической эффективности и безопасности самих чрескожных коронарных вмешательств.

Использование разработанного протокола рентгеновской съемки особенно актуально и максимально эффективно при выполнении ЧКВ у пациентов с повышенной массой тела, ожирением и/или с технически сложными вариантами поражений коронарных артерий, например, при поражении бифуркации венечного русла, когда все внимание оператора приковано именно к этой зоне и можно одновременно использовать функции ограничения поля обзора (FOV  $15 \times 15$  см) и коллимации изображения. Другим потенциальным примером максимально эффективного с точки зрения радиационной безопасности использования разработанного протокола может послужить реканализация длительно окклюзированной артерии, когда требуются многочисленные и продолжительные попытки ее пенетрации коронарным проводником.

В этом исследовании при апробации протокола таких пациентов было немного и, тем не менее, различия между группами в дозах облучения были существенными и статистически значимыми.

## ВЫВОДЫ

1. В ходе стентирования коронарных артерий на цифровом ангиографическом аппарате с плоскостанельным детектором при всех прочих равных условиях рентгеновской съемки медиана произведения дозы на площадь статистически значимо меньше при размере поля обзора  $15 \times 15$  см по сравнению с полем обзора  $20 \times 20$  см: 121 и 219 сГр·см<sup>2</sup>, соответственно ( $p < 0,05$ ).
2. В ходе тех же вмешательств при всех прочих равных условиях медиана произведения дозы на площадь статистически значимо меньше при использовании режима коллимации, чем без использования такового: 86 и 219 сГр·см<sup>2</sup>, соответственно ( $p < 0,05$ ).
3. Минимальные значения эффективной дозы и поглощенной дозы кожи пациента (оптимальные условия радиационной безопасности) соответствуют условиям рентгеновской съёмки с полем обзора  $20 \times 20$  см с коллимацией изображения, а максимальные – с полем обзора  $20 \times 20$  см без использования коллимации. Промежуточные значения тех же показателей отмечаются при рентгеновской съемке с полем обзора  $15 \times 15$  см без использования режима коллимации.
4. Существует прямая зависимость показателей радиационной безопасности от облучаемого объема и индекса массы тела пациента (ИМТ). В группе с оптимальными условиями рентгеновской съёмки медиана произведения дозы на площадь в подгруппах с ИМТ до 27, от 27 до 35 и более 35 кг/м<sup>2</sup> составила 57,3, 93,0 и 120,0 сГр·см<sup>2</sup>, соответственно ( $p = 0,004$ ).
5. Применение разработанного протокола рентгеновской съемки, предусматривающего одновременное использование двух функций (поля обзора  $15 \times 15$  см с использованием

коллимации изображения), позволяет статистически значимо снизить дозы облучения в ходе стентирования коронарных артерий по сравнению с рутинной практикой.

6. Соблюдение условий разработанного протокола не влияет на клинико-ангиографические результаты стентирования коронарных артерий, степень психологического комфорта врачей-операторов и субъективную оценку качества рентгеновских изображений.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. С целью минимизации доз облучения в ходе рентгеновской съёмки этапов стентирования коронарных артерий следует комбинировать минимальный размер поля обзора ( $15 \times 15$  см) с коллимацией в каждом возможном случае (когда зона интереса укладывается в полученное таким образом изображение).

2. В противном случае рекомендуется переход рентгеновской съёмки на условия с полем обзора  $20 \times 20$  см и максимально допустимой коллимацией изображения.

3. Использование поля обзора  $20 \times 20$  см без режима коллимации носит негативный характер в отношении радиационной безопасности.

4. Разработанный протокол рентгеновской съёмки максимально эффективен у пациентов с повышенной массой тела, ожирением и/или с продолжительными, технически сложными вариантами стентирования коронарных артерий.

5. При продолжительных и технически сложных вариантах стентирования коронарных артерий, соблюдая условия разработанного протокола, необходимо (во избежание лучевых поражений кожи пациента) регулярно производить смену рабочих проекций (так как в этом случае отмечалась тенденция к увеличению среднего значения воздушной кермы по сравнению с контрольной группой аспирации).

6. С целью максимально эффективной радиационной защиты в ходе стентирования коронарных артерий необходимо соблюдать принципы комплексного подхода к минимизации облучения, предусматривающие ряд соответствующих обязательных и дополнительных мер, подробно изложенных в разделе «Материалы и методы» и литературном обзоре.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кондрашин, С. А. Мониторинг пиковой дозы в коже в режиме реального времени при рентгеноэндоваскулярных вмешательствах / С. А. Кондрашин, **В. Г. Сорокин**, С. А. Рыжов, А. В. Омельченко [и др.] // **Российский электронный журнал лучевой диагностики**. – 2021. – Т. 11(2). – С. 153-164 [**Scopus**].
2. **Сорокин, В. Г.** Определение контрольных уровней ионизирующего излучения в интервенционной радиологии / **В. Г. Сорокин**, С. А. Рыжов, А. В. Омельченко [и др.] // **Радиация и риск (Бюллетень НРЭР)**. – 2020. – Т. 29. – № 3. – С. 88-96 [**Scopus**].
3. Чарчан, Э. Р. Эндоваскулярная имплантация стент-графта в аорту в условиях гибридной операционной при помощи современной мобильной рентгеновской С-дуги: клинический случай / Э. Р. Чарчян, С. А. Абугов, Р. С. Поляков, **В. Г. Сорокин** [и др.] // **Радиация и риск (Бюллетень НРЭР)**. – 2022. – Т. 31. – № 2 [**Scopus**].
4. Скрыпник, Д. В. Регламент работы отделений рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения : методические рекомендации / Д. В. Скрыпник, С. П. Морозов, Н. С. Полищук, **В. Г. Сорокин** [и др.] // **Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»**. – Вып. 76. – Москва : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2021. – 28 с.
5. Гавриленко, А. В. Первая в России гибридная сосудистая операция с использованием системы слияния изображений EndoNaut Therenva (клинический случай) / А. В. Гавриленко, К. В. Котенко, В.А. Кочетков, Н.Н. Аль-Юсеф, **В.Г. Сорокин** [и др.] // **Эндоваскулярная хирургия**. – 2023. – Т. 10. – №2. – С. 225–32.
6. **Сорокин, В. Г.** Радиационная безопасность при выполнении рентгенохирургических вмешательств / **В. Г. Сорокин**, В. В. Гарбузов // **Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов, Москва, 06–08 ноября 2019 года**. – Москва: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье», 2019. – С. 198-199.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ИМТ – индекс массы тела

МПКД – максимальная поглощенная кожная доза

ООН – Организация Объединённых Наций

ОКС – острый коронарный синдром

ЧКВ – чрескожное коронарное вмешательство

DAP – (Dose Area Product) произведение дозы на площадь

EDEREX – Effective Dose Estimation at Roentgen Examinations, программа расчета эффективных доз облучения

FOV– (field of view) поле обзора