

Казанская государственная медицинская академия –  
филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения дополнительного профессионального образования  
«Российская медицинская академия непрерывного  
профессионального образования»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации

*На правах рукописи*

**ВАСЕЕВ ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
РЕНТГЕНЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА СОСУДАХ  
ГОЛОВНОГО МОЗГА**

**3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки)  
3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия (медицинские науки)**

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научные руководители:

**Рыжкин Сергей Александрович**  
доктор медицинских наук, доцент

**Володюхин Михаил Юрьевич**  
доктор медицинских наук, доцент

Казань – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Обзор литературы.....</b>	<b>13</b>
1.1. Эпидемиология, определения, этиология сосудистых заболеваний головного мозга и рентгенхирургические методики их диагностики и лечения .....	13
1.2. Современное состояние проблемы обеспечения радиационной безопасности проведения диагностических и лечебных рентгенхирургических процедур.....	18
1.3. Трансфеморальный и трансрадиальный подходы к выполнению церебральной ангиографии и радиационное воздействие, ассоциированное с ними.....	32
1.4. Ангиографические проекции для визуализации сосудов головы и шеи. Связь изменения угла наклона рентгеновской трубки и лучевой нагрузки...	35
<b>Глава 2. Материалы и методы исследования.....</b>	<b>39</b>
2.1. Характеристика пациентов и рентгенэндоваскулярных вмешательств.....	39
2.2. Дизайн исследования.....	40
2.3. Методы исследования.....	43
2.3.1. Методика проведения диагностических и лечебных рентгенэндоваскулярных вмешательств.....	43
2.3.1.1. Диагностическая церебральная ангиография.....	46
2.3.1.2. Эндоваскулярные операции.....	51
2.3.2. Методы дозиметрии рентгеновского излучения.....	58
2.3.2.1. Контроль доз облучения пациентов при проведении рентгенэндоваскулярных вмешательств.....	58
2.3.2.2. Индивидуальный дозиметрический контроль	

специалистов по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению.....	59
2.3.3. Статистические методы.....	64
<b>Глава 3. Результаты собственного исследования.....</b>	<b>66</b>
3.1. Уровни радиационного воздействия на пациентов при проведении рентгенэндоваскулярных вмешательств на сосудах головного мозга.....	66
3.2. Влияние ангиографической проекции на дозы облучения при диагностических и лечебных вмешательствах у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга .....	75
3.3. Влияние локализации и размера интракраниальной аневризмы на уровень лучевой нагрузки при рентгенэндоваскулярном лечении пациентов с аневризматической болезнью сосудов головного мозга.....	85
3.4. Сравнительная оценка лучевой нагрузки при ассистирующих и неассистирующих методиках рентгенхирургического лечения аневризмы артерий головного мозга.....	91
3.5. Сравнительная оценка лучевой нагрузки при выполнении церебральной ангиографии трансфеморальным и трансрадиальным артериальными доступами у операторов различного опыта.....	93
<b>Заключение.....</b>	<b>99</b>
<b>Выводы.....</b>	<b>106</b>
<b>Практические рекомендации.....</b>	<b>107</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>108</b>
<b>Список сокращений.....</b>	<b>132</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы исследования и степень разработанности проблемы**

Цереброваскулярные заболевания (ЦВЗ) являются одной из ведущих причин смерти и развития постоянного неврологического дефицита взрослых в России и мире [31, 44, 79]. Ежегодно наблюдается около 450 тыс. новых случаев острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) с летальностью в острый период в 35% случаев, к первому году от момента развития заболевания умирают до 50% больных [1, 2, 31, 44, 67].

Совершенствование диагностики, лечения и профилактики сосудистых заболеваний головного мозга (ГМ) является одной из актуальных медико-социальных задач [31, 44].

Несмотря на активное развитие и широкое внедрение неинвазивных методов медицинской визуализации, таких как ультразвуковая доплерография (УЗДГ), магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ), дигитальная субтракционная ангиография (ДСА) остается «золотым стандартом» в диагностике многих цереброваскулярных нарушений, в частности церебральных аневризм и сосудистых мальформаций [17, 18, 165, 158]. Эндovasкулярные операции являются эффективными и малоинвазивными способами лечения сосудистой патологии [87, 152, 167].

Данные процедуры выполняются под контролем рентгеновского излучения и ассоциированы с вероятностью развития детерминированных и стохастических биологических эффектов рентгеновского излучения у пациента и операционной бригады [24, 25, 53, 146, 165, 194].

Эндovasкулярные лечебные вмешательства подвергают пациентов большим дозам радиации, диагностические исследования также могут привести к неожиданно высоким уровням облучения [158].

Согласно современным рекомендациям, с целью постоянного совершенствования хирургических навыков минимальный объем вмешательств на 1 интервенционного нейрорадиолога в течение года должен составлять не менее 100 диагностических церебральных ангиографий (ЦАГ), 25 стентирований сонных артерий, 30 операций на интракраниальных артериях с применением микрокатетеров и 10 тромбэкстракций из церебральных артерий у пациентов с острым ишемическим инсультом. [170]. На практике ежегодный объем вмешательств на брахиоцефальных и церебральных сосудах, выполняемых 1 врачом по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению (РЭДил), может значительно превышать рекомендуемое количество процедур. Данный факт вызывает озабоченность по поводу профессионального долголетия медицинских работников в связи с необходимостью их регулярного взаимодействия с источником ионизирующего излучения (ИИ) в течение всей профессиональной деятельности [121, 154].

За последнее время российскими и зарубежными авторами проведена работа по изучению лучевых нагрузок на пациента и медицинский персонал в области диагностической и интервенционной радиологии по причине широкого внедрения методов визуализации в процессы диагностики и лечения различных заболеваний, а также в связи с появлением и активным развитием новых медицинских технологий и операционных техник [5, 26, 55, 131]. Однако до сих пор не определены уровни радиационного воздействия на пациентов и эндоваскулярного хирурга при современных подходах проведения церебральной ангиографии и широкого спектра эндоваскулярных операций на брахиоцефальных и церебральных сосудах, имеющиеся данные носят противоречивый характер. Не изучены факторы, оказывающие влияние на лучевую нагрузку, связанные с особенностями методики выполнения данных процедур.

Решение указанных вопросов будет способствовать разработке мероприятий по оптимизации радиационного воздействия при представленных вмешательствах, что является актуальной научной задачей.

### **Цель исследования**

Снижение лучевой нагрузки как мера профилактики радиационно-индуцированных осложнений рентгенхирургических вмешательств путём оптимизации подходов к выполнению эндоваскулярных диагностики и лечения пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга.

### **Задачи исследования**

1. Определить уровни радиационного воздействия на пациентов при рентгенхирургических вмешательствах на сосудах головного мозга и установить долю процедур, приводящих к превышению порога возникновения детерминированных эффектов.

2. Выявить и оценить факторы, оказывающие влияние на радиационное воздействие при выполнении рентгенхирургических вмешательств у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга.

3. Сравнить трансфеморальный и трансрадиальный подходы к выполнению церебральной ангиографии у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга.

4. Выполнить сравнительную оценку ассистирующих и неассистирующих методик рентгенхирургического лечения аневризмы артерий головного мозга.

### **Научная новизна результатов диссертационной работы**

В отечественной литературе до сих пор представлены немногочисленные данные об уровнях радиационного воздействия при различных вариантах выполнения эндоваскулярных вмешательств. Настоящая работа является первым научным исследованием, обобщающим опыт изучения лучевой нагрузки при рентгенхирургических вмешательствах у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга. На основании измерения показателя произведения доза-площадь, кумулятивной дозы, времени рентгеноскопии и количества кадров рентгенографической съёмки впервые определены уровни радиационного воздействия на пациентов при рентгенэндоваскулярной окклюзии интракраниальной аневризмы с

применением современных операционных техник, при стентировании брахиоцефальных артерий, при эндоваскулярном лечении острого ишемического инсульта и артерио-венозных мальформаций головного мозга.

Впервые установлено влияние мужского пола пациента, размера и локализации интракраниальной аневризмы, опыта хирурга, подхода к выполнению вмешательства в зависимости от сосудистого доступа, а также отсутствие влияния выбранной методики рентгенхирургической эмболизации аневризмы головного мозга на уровень лучевой нагрузки пациента и хирурга.

Впервые на клиническом материале определено влияние ангиографической проекции и угла наклона рентгеновской трубки на уровень облучения пациента и эндоваскулярного хирурга при выполнении церебральной ангиографии и рентгенхирургических операций на сосудах головного мозга.

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

Определены ангиографические проекции с наибольшими и наименьшими значениями мощности дозы облучения.

Выявлены факторы, оказывающие влияние на лучевую нагрузку на пациента и эндоваскулярного хирурга при РЭО аневризмы головного мозга.

Определено влияние сосудистого доступа на дозы облучения пациента и эндоваскулярного хирурга при проведении ЦАГ.

По результатам диссертационного исследования установлены и внедрены в клиническую практику референтные диагностические уровни при проведении рентгенэндоваскулярной эмболизации интракраниальной аневризмы с использованием современных операционных техник, при стентировании брахиоцефальных артерий, при эндоваскулярном лечении острого ишемического инсульта и артерио-венозных мальформаций головного мозга.

Результаты работы привели к снижению изучаемых радиационных характеристик (мощность эквивалентной дозы облучения, получаемой оператором; произведение доза-площадь; кумулятивная доза; время рентгеноскопии) от 1,5 до 3,5

раз, тем самым повысили безопасность и качество оказания высокотехнологичной медицинской помощи у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга.

### **Методология и методы исследования**

**Предметом исследования** является проблема оптимизации лучевых нагрузок на облучаемых лиц (пациентов и врачей по РЭДиЛ).

**Объектами исследования** являлись данные стационарных карт пациентов с ЦВЗ, госпитализированных в ГАУЗ МКДЦ, которым выполнялись диагностические и лечебные рентгенэндоваскулярные вмешательства (РЭВ); ангиограммы брахиоцефальных и церебральных сосудов; протоколы РЭВ; данные о дозиметрических характеристиках (произведение дозы на площадь, кумулятивная доза, количество кадров рентгеновской съёмки, время рентгеноскопии), полученные ангиографической системой GE Innova 3100-IQ; данные о дозах, полученные с использованием индивидуальных дозиметрических устройств; данные локального журнала учёта дозы.

Методологическая и теоретическая основа исследования базируется на принципах нормирования, обоснования и оптимизации, регламентированных рекомендациями Международной Комиссией по Радиационной защите и требованиями Федерального закона «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 9 января 1996 года.

Для достижения цели и выполнения задач исследования применялись следующие методы: дозиметрия и определение эксплуатационных параметров работы ангиографической системы; диагностические РЭВ (трансрадиальная и трансфеморальная ангиография брахиоцефальных и церебральных сосудов); лечебные РЭВ (РЭО интракраниальных аневризм, стентирование брахиоцефальных артерий, тромбэмболэктомия из церебральных артерий, РЭО АВМ); индивидуальный дозиметрический контроль; методы статистической обработки данных.



### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Определение исходных уровней радиационного воздействия на пациентов позволяет определить долю пациентов, находящихся в зоне риска развития радиационно-индуцированных осложнений; обеспечить оптимальный интраоперационный контроль доз облучения пациентов; способствует стратегическому планированию снижения лучевой нагрузки.

2. Мужской пол пациента, визуализация сосудов головного мозга в левых боковой и косой ангиографических проекциях, эндоваскулярная окклюзия мешотчатой аневризмы в бассейне левой внутренней сонной артерии и размером более 11 мм, использование трансрадиального подхода выполнения рентгенхирургических вмешательств, стаж рентгенохирурга в эндоваскулярной хирургии менее 4 лет являются факторами, способствующими увеличению лучевой нагрузки.

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

Достоверность и надежность результатов диссертационной работы обеспечиваются изучением и подробным теоретическим анализом большого объема фактического материала, отечественных и зарубежных источников по тематике исследования; достаточной численностью и репрезентативностью групп больных; количественной и качественной статистической обработкой данных.

Проанализированы показатели дозиметрических величин при выполнении диагностических и лечебных рентгенэндоваскулярных вмешательства у 266 больных с сосудистыми заболеваниями ГМ.

Работа проводилась с использованием сертифицированной медицинской диагностической ангиографической аппаратуры (GE Innova 3100 IQ) и современного поверенного дозиметрического оборудования.

Работа поддерживалась научными грантами Академии наук Республики Татарстан (АН РТ), государственный контракт №09-35-эГ от 01.06.2021 «Новые подходы к оптимизации лучевой нагрузки при проведении эндоваскулярных вмешательств на сосудах головного мозга под контролем рентгеновского излучения»,

договор № 09-55-юГ от 04.05.2022 «Совершенствование метода церебральной ангиографии в диагностике и лечении пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга». Руководителем представленных проектов являлся Васеев Д.В.

Научные положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы достоверными результатами исследования, которые также подтверждаются актом проверки первичного материала от 30 мая 2022 года. Полученные результаты согласуются с опубликованными данными по теме диссертации.

Проведение диссертационного исследования одобрено Комитетом по этике научных исследований КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, протокол № 9/10 от 31 октября 2019 года.

Апробация работы состоялась 21 марта 2024 года на расширенном заседании кафедры лучевой диагностики КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, кафедры кардиологии, рентгенэндоваскулярной и сердечно-сосудистой хирургии КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, кафедры онкологии, лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России.

Результаты диссертационного исследования доложены в виде устных и стендовых докладов, тезисов на следующих конференциях: VI Всероссийская конференция молодых ученых и студентов с международным участием VOLGAMEDSCIENCE, г. Нижний Новгород, 16–17 марта 2020 года; Лучевая диагностика - Смоленск 2020: конкурс молодых ученых, г. Смоленск, 25 сентября 2020 года; XV Юбилейный Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «РАДИОЛОГИЯ – 2021», г. Красногорск, 25–27 мая 2021 года; II Международный Эмболизационный форум «СФЕРА», г. Грозный, 18-19 сентября 2021 года; Всероссийская научно-практическая конференция «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития», г. Москва, 27 октября 2022 года.

## **Внедрение результатов работы**

Результаты диссертационного исследования применяются в практической работе отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения (РХМДЛ) Государственного автономного учреждения здравоохранения «Межрегиональный клинико-диагностический центр» (ГАУЗ МКДЦ) г. Казани (акт внедрения от 31.05.2022 г.) и активно используются в учебном процессе кафедры лучевой диагностики КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (акт внедрения от 23.05.2022 г.).

## **Публикации**

По материалам диссертации опубликованы 12 печатных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для изложения результатов научных исследований по специальностям 3.1.25. Лучевая диагностика (медицинские науки), 3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия (медицинские науки).

## **Соответствие диссертации паспортам научных специальностей**

Диссертационное исследование соответствует Паспорту научной специальности 3.1.25. Лучевая диагностика, направлению исследования п. 13 «Исследование научных основ обеспечения общей и радиационной безопасности пациентов, персонала, населения и окружающей среды при медицинском использовании источников ионизирующего излучения», а также Паспорту научной специальности 3.1.1. Рентгенэндоваскулярная хирургия (медицинские науки), направлению исследования п. 11 «Рентгенэндоваскулярная хирургия (диагностика и лечение) заболеваний центральной и периферической нервной системы».

## **Личный вклад автора**

Тема диссертации, ее основные идеи и содержание определены совместно с научными руководителями на основании многолетних целенаправленных исследований. Автором самостоятельно произведен аналитический обзор литературы по изучаемой теме, разработаны методы проведения и дизайн исследования. Автор

организовывал и принимал участие в сборе первичной информации по исследованию, формированию базы данных пациентов, осуществлял выбор методов исследования и интерпретации полученных данных. Самостоятельно или при участии врачей по РЭДиЛ отделения РХМДЛ ГАУЗ МКДЦ выполнялись процедуры церебральной ангиографии. Автор самостоятельно выполнял эндоваскулярные операции или принимал участие в качестве ассистента (МТЭ из церебральных артерий, стентирование ВСА и ПзВА, РЭО ИАА, АВМ). Самостоятельно или при участии специалистов в области дозиметрии выполнена клиническая дозиметрия и индивидуальный дозиметрический контроль.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа изложена на 133 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы исследования», главы результатов собственных исследований, заключения (обсуждения полученных результатов, выводов, практических рекомендаций), списка литературы, включающего 194 источников (89 отечественных и 105 зарубежных), списка сокращений. Работа иллюстрирована 31 рисунком, 26 таблицами.

## Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Эпидемиология, определения, этиология сосудистых заболеваний головного мозга и рентгенхирургические методики их диагностики и лечения

Цереброваскулярные заболевания занимают третье место в структуре смертности в экономически развитых странах [6]. По данным ВОЗ, инсульт стоит на втором месте после ишемической болезни сердца среди главных причин смертности населения во всем мире и первое место среди причин инвалидизации взрослого населения в экономически развитых странах [31, 44, 79, 142].

Ежегодно в мире инсульт переносят около 33 млн человек [47]. Показатели ежегодной заболеваемости и смертности от ОНМК в Российской Федерации являются одними из наиболее высоких в мире и имеют тенденцию к постоянному росту на протяжении последних десятилетий [39]. Около 450–500 тыс. россиян ежегодно переносят ту или иную клиническую форму инсульта, и около 200 тыс. граждан погибают вследствие перенесенного инсульта [1]. Летальность от инсульта колеблется от 25 до 35%, у выживших остается высокий риск развития повторного ишемического эпизода [2, 31, 15, 44]. Риск инсульта увеличивается с каждым десятилетием жизни, и в пожилой популяции недееспособность населения будет только возрастать [15]. Соотношение геморрагического и ишемического инсульта составляет 1:5 [1, 39, 117].

Наиболее частым морфологическим субстратом данных заболеваний является патологические изменения сосудистой системы ГМ (стенозы брахицефальных артерий БЦА, интракраниальные аневризмы, артериовенозные фистулы и мальформации, новообразования головного мозга) [16, 42].

Более двух третей ишемических инсультов ассоциированы со стеноокклюзирующей патологией каротидных артерий [86]. Более 80% ОИИ возникают в каротидном бассейне, остальные – в вертебробазилярном бассейне [86].

Согласно общепризнанной классификации TOAST [91], выделяют пять патогенетических подтипов ишемического инсульта: атеротромботический (вследствие атеросклероза крупных артерий), кардиоэмболический, лакунарный (вследствие окклюзии перфорантной артерии), инсульт другой установленной этиологии и инсульт неустановленной этиологии [71].

Ишемическому инсульту часто предшествуют транзиторные ишемические атаки (ТИА). При атеротромботическом инсульте ТИА варьируется в пределах 25–50 % случаев, при кардиоэмболическом и лакунарном подтипах ОИИ транзиторная ишемическая атака наблюдается реже [71, 86].

Стеноз брахиоцефальных артерий — патологическое сужение экстракраниальных сонных и позвоночных артерий преимущественно атеросклеротической этиологии. В зоне стеноза создаются условия для тромбообразования. Ишемия чаще является результатом атеросклеротической микроэмболии. Пациенты со стенозами, в области бифуркации общей сонной артерии, в шейном отделе внутренней сонной артерии или в устьях позвоночных артерий являются кандидатами для хирургического лечения. Согласно Cardiovascular Health Study, The Berlin Aging Study, стенозы сонных артерий более 50% встречаются у 5—10% людей старше 65 лет [38]. Часть пациентов не имеют клинических симптомов. Клиническая значимость стеноза БЦА зависит от выраженности стеноза и от структуры атеросклеротической бляшки [86].

Кардиоэмболический патогенетический подтип ОИИ диагностируют у пациентов с окклюзией церебральных артерий, обусловленной кардиогенной эмболией [71].

Аневризматическая болезнь ГМ является угрожающим жизни патологическим состоянием, связанным с разрывом аневризм артерий головного мозга.

«Артериальные аневризмы — это выпячивания патологически измененной стенки артерии на ограниченном участке. Внутричерепные аневризмы делят на три морфологических типа:

- 1) мешотчатые - выпячивание стенки сосуда имеет вид небольшого мешка с более или менее сформированной шейкой;
- 2) фузиформные - выпячивание происходит на протяжении определенного сегмент сосуда без образования шейки;
- 3) расслаивающие – образуется ложный просвет в стенке артерии на некотором ее протяжении, по которому устремляется кровь» [48].

Мешотчатые аневризмы являются самым распространенным морфологическим типом. Рассматриваются несколько этиологических факторов мешотчатых аневризм. Это врожденная предрасположенность в сочетании с гемодинамическими нарушениями, когда ИАА появляются при врожденных дефектах в мышечном слое церебральных артерий, чаще наблюдаемых в местах их бифуркаций и связанных с дефицитом коллагена III типа. Однако ведущую роль в их возникновении играют гемодинамические факторы, наиболее выраженные именно в местах бифуркаций сосудов [48].

Разрывы интракраниальных артериальных аневризм - наиболее частая причина нетравматического субарахноидального кровоизлияния, которые диагностируются более чем в 50% случаев [41].

Частота встречаемости аневризм артерий ГМ составляет от 0,2 до 9,9%, субарахноидальное кровоизлияние вследствие разрыва ИАА составляя около 4—5% всех случаев инсульта [22].

ИАА у пациентов со стенозами магистральных артерий головы и шеи выявляются в 2 раза чаще, чем в общей популяции. По мнению авторов, это связано с общими факторами риска возникновения этих заболеваний [38].

Артериовенозные мальформации ГМ представляют собой патологическое соединение между артериями и венами при отсутствии капиллярной сети [9]. Распространенность АВМ ГМ составляет 10–18 случаев на 100 тыс. населения [118].

Частота кровоизлияний из мальформации составляет около 3% в год, риск кровоизлияния возрастает с течением времени. Кровоизлияния из АВМ ГМ могут привести к летальному исходу у 12–66,7% пациентов, при этом инвалидизация среди выживших отмечается до 40% случаев [9, 118]. Вероятность кровоизлияния из АВМ во многом определяется давлением крови в клубке мальформации, оно зависит от особенностей кровоснабжения и характера венозного оттока [108].

С 2008 г. в РФ внедрен комплекс мероприятий по оптимизации медицинской помощи больным с острым нарушением мозгового кровообращения, согласно которому создана сеть подразделений, включающих региональные сосудистые центры и первичные сосудистые отделения, на базе которых пациентам с ЦВЗ оказывают специализированную помощь. [39, 40, 68]. Оснащение центров высокотехнологичным оборудованием для диагностики и лечения ЦВЗ позволило в течение последних лет внедрить в практику эффективные методы лечения ОНМК по ишемическому и геморрагическому типам [39].

Значимое место в диагностике, лечении и профилактике цереброваскулярной патологии отводится рентгенэндоваскулярным методам.

Диагностика сосудистой патологии ГМ стала возможной после внедрения в практику церебральной ангиографии в 1927 г. португальским врачом Е. Moniz [6, 54, 153] Долгое время ЦАГ оставалась единственным методом исследования сосудов головного мозга [18].

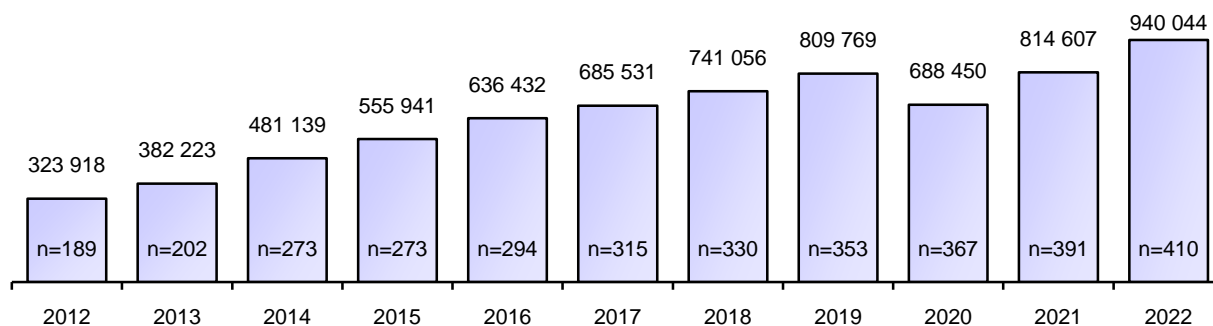
Несмотря на активное развитие и широкое внедрение в клиническую практику неинвазивных методов визуализации сосудистой системы ГМ (КТ, МРТ, УЗДГ) [4, 30, 85], благодаря разработке методов ДСА, ротационной ангиографии и трехмерной реконструкции церебральных ангиограмм, церебральная ангиография остается «золотым стандартом» диагностики заболеваний сосудов головного мозга по настоящее время [78, 158, 164]. С помощью ЦАГ возможно достоверно выявить гемодинамически значимые стенозы БЦА [132, 191], дифференцировать артериальные и венозные аневризмы [162], уточнить особенности сосудистой анатомии и источники



кровообращения АВМ, дифференцировать прямые и непрямые каротидно-кавернозные соустья и др. [45, 132, 191].

В настоящее время эндоваскулярные методики в связи с их высокой эффективностью и малой инвазивностью становятся наиболее распространенными методами лечения сосудистой патологии головного мозга [152, 167]. В большинстве случаев внутрисосудистые технологии являются прямой альтернативой традиционному хирургическому лечению [7, 99, 100], а при лечении каротидно-кавернозных соустьей, аневризм базилярной артерии, артерио-венозных мальформаций, расположенных в глубинных структурах ГМ, при атеросклеротическом поражении церебральных артерий их применение является и вовсе безальтернативным [18, 42, 45, 46, 83, 88].

Каждый год в мире проводятся более 17 миллионов диагностических и терапевтических интервенционных процедур под рентгеноскопическим контролем [169]. Ежегодно наблюдается рост количества эндоваскулярных вмешательств [73, 75, 97, 138]. Увеличивается количество медицинских центров, оказывающих высокотехнологичную помощь с применением рентгенхирургических методик, а также растёт число специалистов по РЭДиЛ. По данным Алемян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В. и др. (2023), только в 2022 году в Российской Федерации выполнено более 940044 диагностических и лечебных вмешательств, а за последние 10 лет ежегодное количество выполняемых процедур увеличилось более чем в 2,9 раза (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Динамика частоты проведения эндоваскулярных вмешательств в Российской Федерации (Алекян Б.Г., Григорьян А.М., Стаферов А.В. и др., 2023).

Примечание: n – количество медицинских центров.

В структуре рентгенэндоваскулярных операций, выполненных в 2022 году в РФ, интервенции при патологии экстракраниальных и интракраниальных сосудов занимают третье места по частоте, что составляет более 15,6 тысяч случаев [7].

## **1.2. Современное состояние проблемы обеспечения радиационной безопасности проведения диагностических и лечебных рентгенхирургических процедур**

Несмотря на очевидные преимущества диагностических и лечебных эндоваскулярных процедур, необходимо отметить, что они выполняются под контролем рентгеновского излучения.

Дозы являются характеристиками воздействия ионизирующего излучения на живой организм [23]. Широко известно, что воздействие низких доз ионизирующей радиации может увеличить риск развития онкологических заболеваний, а рассеянное излучение может представлять потенциальный риск для радиологов [37, 147]. Врачи, выполняющие интервенционные процедуры в непосредственной близости от

пациентов, подвергаются постоянному воздействию относительно низких уровней доз рассеянного излучения в течение длительного периода времени [137].

Неблагоприятные последствия для здоровья от радиационного воздействия преимущественно делятся на 2 категории: детерминированные и стохастические эффекты [33, 72].

Детерминированные (нестохастические) радиационные эффекты – это последствия облучения, неизбежно наступающие при радиационном поражении в дозах, вызывающих гибель клеток критического органа мишени в достаточном количестве для существенного ухудшения его функций, которые проявляются в виде клинически выявляемых радиационных поражений органов и тканей и различных систем организма человека [43, 61, 63, 74]. Вероятность возникновения детерминированных эффектов, а также степень их тяжести изменяется с дозой [63, 74].

К детерминированным эффектам относят такие виды повреждений, как эритема и некроз кожи, катаракта, перманентная эпиляция, которые возникают в тех случаях, когда облучение выходит за допустимые пределы, установленные НРБ-99/2009, что случается по большей части при локальном облучении тела [73, 104, 120].

Стохастическими эффектами являются канцерогенный и наследственный [72, 84]. Они носят вероятностный характер и не зависят от величины полученной дозы. Такие эффекты проявляются либо онкологическими заболеваниями вследствие мутации соматических клеток у людей, подвергшихся действию ионизирующего излучения, либо наследственными заболеваниями у их потомков, что связано с мутацией половых клеток [120]. В литературных источниках уделяется значимое внимание проблеме существования дозового порога возникновения биологических радиационных эффектов [19, 20, 61, 62, 74, 89]. В настоящее время накоплен большой объем научных данных о возникших осложнениях в виде местных лучевых поражений, связанных с выполнением рентгенхирургических вмешательств [14, 24, 73, 115, 130, 136, 171, 182, 188].

Рост медицинского облучения в популяции, применение и сочетания различных лучевых методов диагностики и лечения, появление данных о радиационном воздействии ионизирующего излучения привели к необходимости объективизации и контроля доз облучения, которому подвергается пациент и медицинский персонал [75].

Согласно определению Международной комиссии по радиационной защите – МКРЗ [72], и Федерального закона «О радиационной безопасности населения» / N 3-ФЗ от 09.01.1996 [80] радиационная защита основана на 3 фундаментальных принципах [64]:

- «принцип нормирования – не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

- принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;

- принцип оптимизации – поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения», что подразумевает сведение воздействия ионизирующего излучения на пациентов к разумному минимуму, необходимому для достижения требуемой диагностической или интервенционной цели».

Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных процедур и их сравнение со значениями, рекомендованными регулирующими организациями (Международное агентство по атомной энергии – МАГАТЭ), Европейская комиссия по радиационной защите), является важным компонентом процесса оптимизации лучевой нагрузки и оптимального контроля радиационного облучения пациентов.

Лучевая нагрузка пациентов определяется техническими параметрами рентгеновского излучателя (напряжением, подаваемым на рентгеновскую трубку, кожно-фокусным расстоянием, площадью облучения, фильтрацией, экспозицией и т.д.) [3].

Меры по реализации принципа оптимизации направлены на удержание выбранных и установленных уровней и на последующее снижение всех радиационных доз до уровней, настолько низких, насколько это разумно достижимо.

Дозиметрия имеет целью определение поглощенной и эквивалентной доз, являющихся базовыми дозиметрическими показателями [23, 66].

Согласно Методическим указаниям МУ 2.6.1.2944-19 "Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований", при проведении интервенционных процедур «необходимо проводить контроль значений двух параметров:

- 1) эффективной дозы - для оптимизации проведения исследования с целью снижения риска возникновения отдаленных последствий (стохастических эффектов);
- 2) максимальной поглощенной дозы в коже (МПДК) – для предотвращения возникновения детерминированных эффектов».

Также оговаривается, что значения эффективной дозы и МПДК пациентов при проведении диагностических и лечебных интервенционных рентгенологических исследований основано на проведении расчётов с использованием результатов измерений ПДП с помощью проходной камеры в течение исследования [52].

Стоит отметить, что непосредственно во время интервенционной процедуры расчёт эффективной дозы и МПДК невозможен. Следовательно, для оценки накопленной дозы облучения пациента и обеспечения радиационной безопасности во время выполнения эндоваскулярного вмешательства рентгенохирургу необходимо в реальном времени контролировать значения доступных параметров дозиметрического оборудования ангиографической системы [98, 122, 164].

Тяжесть клинических проявлений при радиационном поражении кожи и нижележащих органов и тканей зависит от площади облученной поверхности тела [74].

Для количественной оценки радиационного воздействия на поверхность тела больного используются следующие показатели [76, 129, 181]:

- 1) произведение дозы (кермы) на площадь (ПДП, dose (kerma) area product [DAP, KAP], Гр×см<sup>2</sup>);
- 2) воздушная кумулятивная доза (КД, air kerma, мГр);
- 3) время рентгеноскопии (мин);
- 4) количество кадров рентгенографической съёмки (ед.).

Произведение дозы (керма) на площадь – произведение средней дозы (кермы) в воздухе по площади поперечного сечения пучка рентгеновского излучения на эту площадь. ПДП не зависит от расстояния от фокуса рентгеновской трубки до поверхности тела пациента [21, 69]. Измерение ПДП является наиболее надежным методом для оценки стохастического риска [129], а также значения ПДП являются основой для расчета эффективной дозы и МПДК пациента. Поэтому измерение ПДП нужно рассматривать в качестве наиболее доступного и информативного метода оценки дозы облучения пациента.

Время рентгеноскопии – это отрезок времени, в течение которого выполняется вмешательство в рентгеноскопическом режиме. Время рентгеноскопии является малоинформативным показателем измерения дозы, т.к. он не отражает накопление доз облучения ни в рентгеноскопическом, ни в рентгенографическом режимах и плохо коррелирует с другими показателями дозы. Он не должен использоваться в качестве единственного метода мониторинга дозы облучения пациента [129].

Воздушная кумулятивная доза – воздушная керма, измеряемая на расстоянии 15 см от изоцентра в направлении фокусного пятна; также имеет свои ограничения, т.к. «это накопительное значение дозы, близкое к дозе, полученной кожей только при условии, что всё излучение было направлено в одно место»; «при оценке

радиационного воздействия не учитывается угол наклона пучка, при одинаковом значении воздушной кермы» [34, 112];

Поскольку интервенционные процедуры выполняются в 2 режимах работы рентгеновской системы (рентгеноскопия, рентгенография) и с регулярной сменой проекции визуализации зоны интереса, для адекватной оценки дозы облучения пациента необходимо учитывать значения нескольких дозиметрических величин.

Ежегодно спектр интервенционных процедур активно расширяется [7, 82, 97, 116]. С ростом количества, разнообразия и технической сложности различных интервенций следующим неизбежным вопросом является определение уровней облучения. Это крайне важно для стратегического планирования процесса оптимизации лучевой нагрузки [180].

Одним из наиболее эффективных подходов к оптимизации радиационной защиты пациентов является установление и применение референтных диагностических уровней (РДУ), позволяющих наглядно продемонстрировать врачам, какими должны быть уровни облучения пациентов и понять, можно ли достичь приемлемого качества изображения при более низких дозах [13]. Однако установление эталонных значений является труднодостижимым процессом вследствие широкого распределения доз облучения даже при однотипных эндоваскулярных процедурах в условиях одного медицинского учреждения [183].

В Российской Федерации основные принципы защиты пациентов от медицинского облучения регулируются многими отечественными нормативными документами (Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010), Методические рекомендации МР 2.6.1.0097 «Оптимизация радиационной защиты пациентов в интервенционной радиологии», Методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12 «Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения» и др.). Однако до сих пор существуют проблемы с установлением РДУ в области интервенционной радиологии.

Это связано с отсутствием на текущий момент клинических и профессиональных стандартов по РЭДиЛ и типовых протоколов проведения рентгенохирургических процедур [81].

В качестве РДУ принято использовать 75-ый процентиль основных дозиметрических величин: ПДП, суммарное время рентгеноскопии, количество кадров рентгеновской съемки [21, 27, 124, 156].

РДУ применяются в международной практике [49, 50, 183] и официально введены в ОСПОРБ-99/2010 и МР 2.6.1.0066-12 [69].

Оптимизация доз облучения пациента также является ключом к снижению рассеянного излучения и к ограничению доз облучения оператора, т.к. процедуры под контролем рентгеновского излучения ассоциированы со значимой лучевой нагрузкой на медицинский персонал [53, 180]. При данных процедурах операционная бригада получает дозы профессионального облучения, зачастую превосходящие основные пределы доз, установленные в НРБ 99/2009 [36] (Таблица 1).

**Таблица 1.** Нормируемые величины облучения персонала группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения (МУ 2.6.1.3015-12)

Нормируемая величина	Значение предела, мЗв
Годовая эффективная доза, усредненная за любые последовательные 5 лет (но не более 50 мЗв в год)	20
Эффективная доза, накопленная за период трудовой деятельности (50 лет)	1 000
Годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	150
Годовая эквивалентная доза облучения кожи	500
Годовая эквивалентная доза облучения кистей и стоп	500
Месячная эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщин в возрасте до 45 лет	1



Согласно НРБ 99/2009 и ОСПОРБ-99/2010, дозы облучения персонала необходимо выражать в единицах нормируемых величин, являющихся мерой ущерба от воздействия облучения на человека (эквивалентная доза облучения органа или ткани, эффективная доза) [73]. Однако данные величины не являются непосредственно измеримыми. По этой причине, согласно МУ 2.6.1.3015-12, для радиационного контроля профессиональных доз облучения используются операционные величины, однозначно определяемые через физические характеристики поля излучения.

Операционной величиной для индивидуального дозиметрического внешнего излучения является индивидуальный эквивалент дозы,  $H_p(d)$ , единицей измерения которого является – мЗв (Таблица 2). «Значение параметра  $d$ , мм, определяющего требования к индивидуальному дозиметру внешнего излучения, а также положение дозиметра на теле работника, определяются тем, для определения какой нормируемой величины используется ее эквивалент» [51].

**Таблица 2.** Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при индивидуальном дозиметрическом контроле (МУ 2.6.1.3015-12)

Нормируемая величина	Операционная величина: индивидуальный эквивалент дозы – $H_p(d)$		
	положение индивидуального дозиметра	$d$ , мм	условное обозначение
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	Непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи	0,07	$H_p(0,07)$
Эквивалентная доза внешнего облучения глаза	На лицевой части головы	3	$H_p(3)$
Эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщины	На поверхности тела, в соответствующем месте	10	$H_p(10)$

Эффективная доза внешнего облучения	На поверхности тела в оптимальных местах, определяемых в зависимости от геометрии облучения	10	H <sub>p</sub> (10)
-------------------------------------	---	----	---------------------

Эпидемиологические данные, проанализированные МКРЗ, указывают на существование органов и тканей, характеризующихся относительно поздним проявлением неблагоприятных эффектов ионизирующего излучения и для которых предел дозы значительно ниже, чем считалось ранее. К одним из таких органов относится хрусталик глаза [73, 125]. Без адекватной защиты (защитные очки, головные уборы, накладные щиты) доза, поглощенная хрусталиком, может превышать установленные пределы доз [103]. А катаракта может развиваться через 25 лет после облучения [134].

Последние исследования под патронажем МАГАТЭ указывают на значительное увеличение частоты помутнений хрусталика, вызванных ионизирующим излучением (около 40-50% у интервенционных радиологов, 20-40% у электрорадиологических техников и медсестер), и случаев задней субкапсулярной катаракты у персонала, работающего с рентгенологической техникой [134]. Отмечается строгая зависимость развития радиационно-индуцированной катаракты от дозы облучения хрусталика глаза [154, 186]. По данной причине в 2015 году МАГАТЭ снизило пределы дозы профессионального облучения для хрусталика глаза в 7,5 раз, со 150 до 20 мЗв/год [50, 64, 73]. В настоящее время пределы облучения доз хрусталика в РФ остаются на прежнем уровне 150 мЗв/год [51].

Имеются несколько сообщений о повышенном риске развития опухолей головного мозга у операторов в результате хронического профессионального воздействия ионизирующего излучения. Выявленными опухолевыми образованиями были представлены 3 типами первичных опухолей (мультиформная глиобластома, менингиома и астроцитомы), которые известны радиационно-индуцированным характером возникновения [160, 161]. Отмечается, что в 85% случаев преобладало левостороннее расположение выявленных образований ГМ и шеи у интервенционных

радиологов. [154]. Согласно исследованию Venneri L., Rossi F., Botto N. et al. (2009), средний риск развития радиационно-индуцированного рака для интервенционных радиологов составляет 1 из 192.

Несмотря на актуальность темы, исследования по изучению влияния радиационного воздействия при широком спектре интервенционных нейрорадиологических процедур ограничены. На сегодняшний день в мировой и отечественной литературе опубликовано недостаточное количество данных об уровнях лучевой нагрузки при проведении интервенционных нейрорадиологических процедур с использованием современных ангиографических систем, а результаты исследований зачастую имеют противоречивый характер.

В одном из первых больших дозиметрических исследований RAD-IR, посвященных изучению лучевых нагрузок при процедурах, выполняемых под контролем рентгеновского излучения, проанализировали значения доз облучения пациентов при различных типах рентгенхирургических вмешательств, в том числе и нейрорадиологических. Авторами были предложены референтные уровни облучения [150, 151]. Данная работа была направлена на создание пороговых значений средних доз облучения для последующего анализа возникших причин их превышения.

В серии исследований, в которых изучались уровни лучевой нагрузки при нейроинтервенционных процедурах, определяется широкая вариабельность значений доз облучения в пределах одного и того же типа процедуры.

В исследовании RAD-IR [150] сообщается о среднем значении ПДП равном  $320 \text{ Гр} \times \text{см}^2$  для 382 случаев, включая эмболизацию аневризмы, АВМ и опухолей ГМ. Авторы исследования Vano E., Fernandez J. M., Sanchez R.M. (2013) сообщают о средней ПДП равной  $305 \text{ Гр} \times \text{см}^2$  и медиане ПДП равной  $256 \text{ Гр} \times \text{см}^2$  при 172 процедурах эмболизации интракраниальной аневризмы. Авторы работы D'Ercole L., Thyriou F. Z., Vocchiola M. (2012) сообщают о более высоком медианном значении ( $352 \text{ Гр} \times \text{см}^2$ ) для 82 процедур РЭО аневризмы.

В научных работах, выполненных с 2003 года по настоящее время, представлены средние и медианные значения ПДП для ЦАГ в диапазоне от 43 до 152 Гр×см<sup>2</sup>, при этом 75-ый перцентиль значений колеблется в диапазоне от 59,7 до 229 Гр×см<sup>2</sup>, а время рентгеноскопии варьируется в пределах от 3,5 до 18,6 минут [95, 107, 121, 150, 166, 185].

Данное явление объясняется различиями медицинских учреждений в принятых протоколах исследования, оборудовании, навыках и технике вмешательств, в настройках ангиографических систем [128, 174].

В публикации авторов J. J. Bundy, I. W. McCracken, D. S. Shin (2020) сравнивались дозы облучения пациентов при вмешательствах различных направлений. Критерием включения процедуры в исследование являлось превышение значений air kerma выше 5000 мГр. Среди 260 процедур, вошедших в работу, авторы выявили наибольшие значения воздушной кермы и времени рентгеноскопии при выполнении нейроинтервенционных процедур, в частности при эмболизации интракраниальных аневризм и АВМ.

В исследовании Ihn Y.K., Kim B.S., Jeong H.W. (2021), посвященному оценке радиационных доз при эндоваскулярном лечении сосудистых заболеваний ГМ, наибольшие значения доз облучения определялись в группе 78 пациентов, которым проводилась эмболизация АВМ. В группе 327 пациентов, которым выполнялась РЭО интракраниальной аневризмы, значения ПДП достоверно не отличались в зависимости от использованной техники окклюзии аневризмы, но выявлено увеличение значений ПДП в группе пациентов мужского пола. В этом же исследовании выявили увеличение доз при возникновении процедурных осложнений, что, по мнению авторов, связано с излишней визуализацией патологического процесса в виде дополнительной ангиографической съёмки и рентгеноскопии. Применение ассистирующих методик ассоциировалось с увеличением лучевой нагрузки. Значения параметров лучевой нагрузки достоверно не отличались в зависимости от локализации аневризмы.

В исследовании Acton H., James K., Kavanagh R.G. (2015), напротив, сообщается, что расположение аневризмы является самым значимым фактором, определяющим дозу облучения во время процедуры эмболизации внутричерепной аневризмы. Поэтому авторы предложили разделять процедуры РЭО аневризмы в бассейне ВСА и аневризмы артерий вертебро-базиллярного бассейна и устанавливать соответствующие РДУ доз облучения пациентов для каждой категории вмешательств.

Исследования, посвященные анализу дозовой нагрузки при эндоваскулярных методах лечения ОИИ и факторов, оказывающих влияние на уровни облучения, на сегодняшний день в ограниченном количестве. В литературных источниках, авторы сообщают о статистически значимом увеличении значений параметров лучевой нагрузки в зависимости от возрастания количества попыток тромбэмболизации из крупных церебральных артерий [127, 190]. Также сообщается, что при сравнении техник лечения ОИИ наименьшие значения ПДП, воздушной кермы и времени рентгеноскопии наблюдаются при методике тромбоаспирации. Тромбоэкстракция с применением стент-ретриверных технологий, а в особенности использование комбинированной техники, ассоциируется с увеличением лучевой нагрузки. В своём исследовании немецкие авторы F. Värenfänger, A. Block, S. Rohde (2019) оценивали дозы облучения кожи пациентов с ОИИ при 50 последовательно проведённых механических тромбоэкстракций из М1-, М2-сегментах СМА, ВСА, артерий ВББ. У 15 пациентов (36 %) наблюдалось превышение пределов эквивалентных доз в коже, а у 3 пациентов (6%) определены значения, которые могли бы привести к детерминированному повреждению кожи. Самые высокие значения доз облучения наблюдались при длительных процедурах при окклюзии сонной артерии или в ВББ.

Авторы исследований Hassan A.E., Amelot S. (2017), Ihn Y.K., Kim B.S., Jeong H.W. (2021) подчеркивают, что существует необходимость мониторинга доз облучения в странах, где выполняются вмешательства под контролем рентгеновского излучения; медицинские учреждения должны изучать собственную практику с

позиции радиационной безопасности и при необходимости применять стратегии оптимизации доз.

Согласно научным работам последних лет, оптимизация лучевой нагрузки при разных видах вмешательств может быть достигнута за счет изменения технических параметров ангиографических систем и совершенствования их программного обеспечения, использования режимов наименьшей мощности дозы без снижения качества изображения, применения коллимации, сокращения времени интервенционной процедуры и времени рентгеноскопии, использования и модификации средств индивидуальной защиты, уменьшения расстояния от источника излучения и применения дистанционных роботизированных систем.

Если рассмотреть данные об уровнях лучевой нагрузки в других областях инвазивной радиологии (при разных вариантах эндоурологических операций, в интервенционной аритмологии, ортопедии, малоинвазивной хирургии желчевыводящих протоков и др.), где участок облучения тела пациента совпадает с зоной операционного доступа, а рентгеновская трубка, соответственно, располагается в непосредственной близости к оператору, то дозы рассеянного излучения могут значительно превышать дозы, получаемые при сосудистых интервенциях. Данный факт может быть объясним не только коротким расстоянием от источника ионизирующего излучения, но и отсутствием должного экранирования от рассеянного излучения, что делает важным ношение очков со свинцовым эквивалентом [176], т.к. хрусталик глаза является чрезвычайно радиочувствительным элементом зрительного аппарата человека [73, 113].

В литературных источниках встречаются данные о влиянии конституционных особенностей пациента на уровень облучения операционной бригады. Так автор показал, что в условиях эндоурологической операционной при использовании рентгеноскопии у пациентов более крупного телосложения (напряжение на трубке выше) мощность дозы увеличивается по сравнению с пациентами астенического телосложения [56]. При этом в публикации Hassan A.E., Amelot S. (2017)

подчеркивается, что при нейроинтервенционных процедурах антропометрические данные пациента не требуют учёта, т.к. нет существенных отличий в размерах и анатомическом строении голов пациентов.

Наименее спорным фактором, оказывающим влияние на дозы облучения пациента и хирурга, является длительность выполняемой процедуры. Совершенно очевидно, что при большем времени использования рентгеноскопии, доза облучения будет выше и наоборот, соответственно. Поэтому основным принципом работы интервенционных специалистов является принцип оптимизации, известный во всем мире как ALARA («As low as reasonably achievable») – «Настолько низко – на сколько это разумно достижимо» [28, 72, 169, 170]. Согласно данному утверждению, весь персонал, работающий с источником ионизирующего излучения, должен понимать основные принципы радиационной защиты и надлежащего управления дозой облучения пациентов.

Медицинское облучение должно находиться под постоянным дозиметрическим контролем для обеспечения принципа нормирования, а доза облучения пациента подлежит обязательной регистрации [57].

Однако принципы нормирования дозы – это не только контроль времени вмешательства, но и грамотное управление параметрами и техническими возможностями ангиографической установки, обязательное использование средств индивидуальной защиты, а также образованность врачей-специалистов в области радиационной безопасности [141].

Операторы должны соблюдать стандарты радиационной безопасности при работе с источником излучения, защищая себя соответствующим экранированием и достаточным расстоянием. В литературе встречается множество данных об эффективности средств индивидуальной защиты от рентгеновского излучения, а также о снижении лучевой нагрузки при изменении технических параметров на рабочей станции [93, 104, 109].

Остаются малоизученными вопросы влияния на уровни облучения оператора и пациента использование разных сосудистых доступов при вмешательствах на сосудах разной локализации, ангиографической проекции, технических особенностей выполнения интервенционных нейрорадиологических процедур.

### **1.3. Трансфеморальный и трансрадиальный подходы к выполнению церебральной ангиографии и радиационное воздействие, ассоциированное с ними**

Традиционно ЦАГ выполняется с применением трансфеморального артериального доступа по ряду объективных причин. Прежде всего, это связано с удобством катетеризации брахиоцефальных артерий, прямым ходом проводника и катетера в большинстве случаев, личными предпочтениями оператора, быстрым освоением техники. Также ТФД позволяет применять инструменты больших размеров при выполнении лечебных процедур [32]. Однако ТФД имеет ряд недостатков и ограничений. По данным авторов [94, 157, 179], несмотря на относительную простоту пункции и катетеризации бедренной артерии, ТФД ассоциирован с высокой частотой осложнений в месте сосудистого доступа, которые включают кровотечения и гематомы (0,5–3%), псевдоаневризмы и артериовенозные соустья (0,1–0,6%) или инфицирование места доступа (0-1%).

ТФД требует иммобилизации задействованной нижней конечности и строго соблюдения постельного режима в течение суток после выполнения вмешательства, что доставляет выраженный дискомфорт пациентам.

Также бедренный доступ вовсе может быть недоступен при наличии у пациента выраженных стеноокклюзирующих поражений брюшной аорты и подвздошно-бедренного сегмента.

Трансрадиальный доступ для ЦАГ преимущественно используется в качестве альтернативного доступа при технической невозможности выполнения процедуры



трансфеморально. Первые публикации о применении трансрадиального доступа для выполнения диагностической церебральной ангиографии представлены в 2001 г. [8, 145, 149].

Однако ТРД имеет ряд несомненных преимуществ по сравнению с ТФД. Во-первых, лучевая артерия (ЛА) удобна для обеспечения адекватного гемостаза, ЛА легко сжимается мануально и под действием давящих устройств. В связи с этим риски развития геморрагических осложнений из ТРД сводятся к минимуму даже при постоянном приеме антикоагулянтных препаратов пациентом. Во-вторых, к ЛА, как правило, не прилегают вены, нервы и другие анатомические структуры, которые нежелательно повреждать. В-третьих, процедура не требует соблюдения постельного режима, что создает потенциальную возможность проведения вмешательств амбулаторно, повышают экономическую эффективность, несомненно улучшает качество жизни пациентов и удовлетворенность процедурой [8, 133].

Несмотря на описанные преимущества, трансрадиальный доступ является технически более сложным по сравнению с трансфеморальным, особенно при проведении ЦАГ.

Как сообщается, показатель успеха трансрадиальной церебральной ангиографии составляет 92,7-99% [133]. Её успех возрастает по мере увеличения обучения. Хотя существует определенная кривая обучения, при достаточном опыте вероятность успеха трансрадиального подхода повышается.

В 5-10% случаев возникают неудачи при катетеризации ЛА, что связано малыми размерами ЛА, её склонности к вазоспазму, извитостью, стенозом, окклюзией подключичной артерии и врожденными аномалиями, такие как лучевые петли и гипоплазия [35, 133].

Несмотря на то, что ТРД ассоциирован с низкой частотой развития местных осложнений доступа, окклюзия лучевой артерии является не только серьезной проблемой, но и важным осложнением после трансрадиальных процедур. По данным ряда работ, окклюзия ЛА после трансрадиальной коронарной ангиографии (КАГ) и

чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) происходит у 2-38% пациентов [11, 12, 35, 58, 133].

В отличие от КАГ, полный протокол первичного выполнения церебральной ангиографии включает селективную катетеризацию и ангиографию от 4 до 6 артерий (правых и левых ВСА, наружных сонных артерий (НСА), позвоночных артерий (ПзВА), поэтому имеется значительное ограничение, связанное с возникающей трудностью селективной катетеризации левых ВСА и ПзВА с использованием доступа через правую лучевую артерию. Сообщается об успехе трансрадиальной ЦАГ в 92,7-99% случаев. [189]. По данным исследования [144], успех катетеризации левой ВСА составляет 84,1%, левой ПзВА - 58,6%. Авторы предположили, что для улучшения селективной катетеризации сосудов требуется специальная модификация конструкции катетера для левой ВСА и левой ПзВА.

Отмечается, что на сегодняшний день не существует специализированных трансрадиальных диагностических катетеров для проведения ЦАГ через лучевую артерию [175].

Современные данные о наиболее безопасном доступе с позиции радиационной защиты весьма противоречивы. Согласно литературным данным, при выполнении коронарной ангиографии в стандартных одинаковых проекциях лучевая нагрузка выше при работе с ТРД по сравнению с ТФД, что объясняется, прежде всего, большей длительности выполнения манипуляций под рентгеноскопическим контролем [177].

Тем не менее, мета-анализ Plourde G., Pancholy S.B., Nolan J. et al. (2015) показал, что у центров, имеющих достаточный опыт применения лучевого доступа, уровень облучения становится эквивалентным воздействию процедур, выполненных ТФД. В то же время, авторы исследования RAD-Matrix [168] подтверждают мнение о том, что в современной практике даже у опытных операторов сохраняется различие между работой с ТФД и ТРД, и оно может быть намного выше, чем предполагалось ранее, особенно при комплексных многососудистых вмешательствах.

Тенденции современной эндоваскулярной хирургии предполагают использование радиального доступа в качестве рутинного доступа при эндоваскулярных вмешательствах в связи со всеми важными преимуществами, описанными ранее, поэтому оптимизация техники трансрадиальной ЦАГ является важнейшей задачей.

#### **1.4. Ангиографические проекции для визуализации сосудов головы и шеи. Связь изменения угла наклона рентгеновской трубки и лучевой нагрузки**

Визуализация церебральных сосудов выполняется в четырех основных проекциях (таблица 3):

- прямой с краниальной ангуляцией (совмещение проекций надглазничного края лобной кости и пирамидной части височной кости);
- косой (30-60°) ипсилатеральной;
- косой (30-60°) контрлатеральной;
- боковой.

Угол отклонения гентри ангиографа определяется по анатомическим ориентирам и зависит от укладки головы пациента.

При необходимости церебральная ангиография выполняется в дополнительных проекциях (таблица 3):

- прямой (задне-передней);
- прямой с краниальной/каудальной ангуляцией;
- косой (20-60°) ипсилатеральной с краниальной/каудальной ангуляцией;
- косой (20-60°) контрлатеральной с краниальной/каудальной ангуляцией.

Полученные изображения оцениваются в артериальную, капиллярная и венозную фазы контрастирования [17].

**Таблица 3.** Ангиографические проекции для церебральной ангиографии  
(Erskine B.J., 2016)

Ангиографическая проекция	Угол наклона рентгеновской трубки	Область интереса сосудистого бассейна	
		ВСА	ВББ
Прямая (задне-передняя)	CRA 0 °	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Каменистый отдел</li> <li>• Кавернозный отдел</li> <li>• Супраклиноидный отдел</li> <li>• Дистальная бифуркация ВСА</li> <li>• А1 сегмент ПМА</li> <li>• Лентикулостриарные сосуды</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V1-V4 сегменты ПзВА;</li> <li>• Слияние правой и левой ПзВА</li> <li>• Базилярная артерия</li> <li>• Верхняя мозжечковая артерия</li> <li>• Передняя нижняя мозжечковая артерия</li> </ul>
Прямая с краниальной ангуляцией (проекция Townes)	CRA 15-35 °	<ul style="list-style-type: none"> <li>• М1-М3 сегменты СМА</li> <li>• Слияние венозных синусов</li> <li>• Поперечный синус</li> <li>• Сигмовидный синус</li> <li>• Кавернозный синус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Верхний сагиттальный синус</li> <li>• Слияние венозных синусов</li> <li>• Поперечный синус</li> <li>• Сигмовидный синус</li> <li>• Кавернозный синус</li> </ul>
Боковая (латеральная), правая/левая	RAO 90 °/ LAO90 °	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Кавернозный отдел</li> <li>• Коммуникантный сегмент (ЗСА, передняя хориоидальная артерия)</li> <li>• Глазная артерия</li> <li>• А2-А5 сегменты ПМА</li> <li>• М4 сегмент СМА (кортикальные ветви)</li> <li>• Верхние и нижние сагиттальные синусы</li> <li>• Внутренние мозговые вены</li> <li>• Вена Розенталя</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V4 сегмент ПзВА</li> <li>• Базилярная артерия</li> <li>• ЗСА</li> <li>• Задняя хориоидальная артерия</li> <li>• Верхний и нижний сагиттальные синусы</li> <li>• Внутренние мозговые вены</li> <li>• Основная вена Розенталя</li> <li>• Вена Галена</li> <li>• Прямой синус</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вена Галена</li> <li>• Прямой синус</li> <li>• Кавернозный синус</li> <li>• Нижний каменистый пазуха</li> </ul>	
Косая проекция, правая/левая	RAO 30-45 °/LAO 30-45 °	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ОСА</li> <li>• Бифуркация ОСА</li> <li>• Цервикальный отдел ВСА</li> <li>• Дистальная бифуркация ВСА</li> <li>• А1 сегмент ПМА</li> <li>• Иногда ПСА</li> <li>• Трифуркация СМА в области М1-М2 сегментов</li> </ul>	

Примечание: CRA – передняя проекция с головной ангуляцией, RAO – правая передняя косая, LAO – левая передняя косая, ВСА – внутренняя сонная артерия, ПМА – передняя мозговая артерия, СМА – средняя мозговая артерия, ПСА – передняя соединительная артерия, ЗСА – задняя соединительная артерия, ПЗВА – позвоночная артерия

Особый научный интерес представляет изучение влияния направления пучка рентгеновского излучения при основных ангиографических проекциях на дозы радиационного облучения пациента и дозы оператора от рассеянного излучения. Тем не менее публикации по данному вопросу ограничены. В работе Song Y., Kim Y., Han S. et al., 2019 проведён анализ доз облучения фантома и пациентов при ЦАГ во фронтальной плоскости в зависимости от изменения кранио-каудального угла рентгеновской трубки. Авторы сообщают, что при использовании прямой проекции с краниальной ангуляцией (Cra 15-20 °) наблюдается увеличение дозы облучения пациента на 5,4% по сравнению с прямой проекцией (РА 0 °).

Наиболее значимые сообщения по вопросам проекционного влияния на лучевые нагрузки освещены при выполнении КАГ и стентирования коронарных артерий.

Согласно данным литературных источников [172, 176, 177], при расположении гентри в проекции LAO (левая косая проекция) с краниальным или каудальным

наклоном регистрируется наиболее высокая доза облучения оператора, использующего в работе правый бедренный или правый лучевой доступы. В этих проекциях рентгеновская трубка располагается справа от пациента и наиболее приближенно к оперирующему хирургу.

Самую низкую дозу от рассеянного излучения врач получает в проекциях RAO 20–30 ° (правая косая проекция), наибольшую дозу - в LAO 60–70 ° при каудальной ангуляции в 0–20 ° [139, 176].

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что уровень лучевой нагрузки зависит от множества факторов: от выбора сосудистого доступа, от проекции и расположения источника рентгеновского излучения, от области облучения и вида инвазивного вмешательства, от продолжительности рентгеноскопии, а также от использования средств индивидуальной защиты и информированности медицинского персонала в области радиационной безопасности.

До сих пор малоизучено влияние вышеизложенных факторов на дозы облучения. Дальнейшие поиски путей оптимизации радиационного воздействия на пациента и операционную бригаду внесут вклад в снижение лучевых нагрузок при проведении интервенционных процедур под контролем рентгеновского излучения.

## Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Характеристика пациентов и рентгенэндоваскулярных вмешательств

В соответствии с поставленной целью и задачами на базе отделения рентгенхирургических методов диагностики и лечения Государственного автономного учреждения здравоохранения «Межрегиональный клинико-диагностический центр» (ГАУЗ МКДЦ) г. Казани проведено многоэтапное исследование, включающее 266 пациентов, которым проведены рентгенэндоваскулярные диагностические и лечебные процедуры, в период с октября 2019 года по декабрь 2021.

В рамках исследования выполнена оценка следующих показателей:

- производство входной поверхностной поглощенной дозы и площади облучаемого участка кожи пациента, Гр×см<sup>2</sup>;
- время рентгеноскопии, мин;
- кумулятивная доза, мГр;
- мощность амбиентной дозы, мЗв/ч;
- время процедуры, мин;
- количество кадров рентгенографической съёмки, ед.;
- индивидуальный эквивалент дозы облучения оператора, мкЗв.

В рамках работы выполнены 266 рентгенэндоваскулярных процедуры: 115 диагностических церебральных ангиографий, 87 эмболизаций интракраниальных аневризм, 5 эмболизаций артерио-венозных мальформаций, 12 механических тромбэкстракций и аспираций при остром ишемическом инсульте, 36 стентирований сонных артерий, 11 стентирований позвоночных артерий.

Средний возраст пациентов при данных процедурах составил  $57,39 \pm 14,71$  лет. Лица мужского пола составили 50,75%; лица женского пола – 49,25% (Таблица 4). Достоверной разницы по возрасту ( $p = 0,74$ ) и полу ( $p = 0,54$ ) среди пациентов при проведении церебральной ангиографии и интервенционных процедур не выявлено.

**Таблица 4.** Характеристика пациентов, включенных в исследование

Тип процедуры	Количество пациентов, n (%)	Пол, n (%)		Средний возраст, лет M±SD
		мужской	женский	
Церебральная ангиография	115 (43,23)	54 (47)	61 (53)	53,17±14,71
Эндоваскулярные операции:	151 (56,77)	81 (53,64)	70 (46,36)	60,38±14,02
1) Эмболизация аневризмы	87 (32,71)	39 (44,83)	48 (55,17)	52,74±14,06
2) Эмболизация АВМ	5 (1,88)	3 (60)	2 (40)	49±11,75
3) Механическая тромбэкстракция	12 (4,51)	8 (66)	4 (34)	72,08±8,70
4) Каротидное стентирование	36 (13,53)	23 (63,88)	13 (36,12)	67,80±9,53
5) Стентирование позвоночных артерий	11 (4,14)	8 (72,72)	3 (27,28)	67,73±6,99
Всего:	266 (100)	135 (50,75)	131 (49,25)	57,39±14,71

## 2.2. Дизайн исследования

Исследование проведено в пять этапов:

На **первом этапе** для определения средних значений дозиметрических величин собраны и изучены данные о 199 нейроинтервенционных процедурах. Учитывались



пол, возраст пациентов. Оценивались время рентгеноскопии (мин), ПДП ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), кумулятивная доза ( $\text{мГр}$ ), количество кадров рентгенографической съёмки (ед.). На основании полученных значений определена доля РЭВ, превышающая порог детерминированных эффектов кожи, и установлены референтные диагностические уровни (РДУ) при следующих эндоваскулярных процедурах: ЦАГ, РЭО ИАА, РЭО АВМ, МТЭ при ОИИ, стентирование ВСА, стентирование ПзВА.

На **втором этапе** выполнено дозиметрическое исследование с использованием водного фантома объёмом 5 л, имитирующего голову пациента, для проведения сравнительной оценки значений мощности дозы ( $\text{сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$ ,  $\text{мЗв/ч}$ ) при изменении угла наклона рентгеновской трубки в основных ангиографических проекциях.

На **третьем этапе** для оценки влияния операционной техники, размера аневризмы, локализации патологических изменений и ангиографической проекции на уровень лучевой нагрузки изучены значения произведения дозы на площадь ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), времени рентгеноскопии (мин), дозы облучения оператора ( $\text{мкЗв}$ ) при процедурах рентгенэндоваскулярной эмболизации интракраниальных аневризм правой и левой ВСА.

Критерии включения: 1) пациенты в возрасте старше 18 лет (включительно); 2) эмболизация аневризмы мешотчатой формы; 3) эмболизация артериальной аневризмы при локализации в кавернозном, клиновидном и супраклиновидном отделах правой или левой внутренней сонной артерии.

Критерии не включения: 1) пациенты младше 18 лет; 2) эмболизация аневризмы фузиформной формы; 3) эмболизация аневризмы артерий вертебро-базиллярного бассейна, передней и средней мозговой, передней соединительной артерий.

В зависимости от техники РЭО аневризмы процедуры распределены на группы процедур эмболизации с применением спиралей ( $n=46$ ), эмболизации с имплантацией интракраниальных стентов ( $n=25$ ), имплантации поток-ремодулирующих стентов ( $n=12$ ), РЭО аневризм с применением баллон-ассистенции ( $n=4$ ).

В зависимости от локализации аневризмы в сосудистом бассейне процедуры были распределены на группы вмешательств в бассейне правой ВСА (n=35), в бассейне левой ВСА (n=52).

В зависимости от размера церебральной аневризмы вмешательства распределены на группы - 4 мм (n=18), от 5 до 10 мм (n=57), 11 мм и более (n=12).

На **четвёртом этапе** проведена сравнительная оценка дозиметрических величин при выполнении 115 процедур церебральной ангиографии трансфеморальным и трансрадиальным сосудистыми доступами. Сравнивались длительность процедуры (мин), время флюороскопии (мин), произведение дозы на площадь ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), кумулятивная доза (мГр), эквивалентные дозы облучения оператора (мкЗв) в группах ТФД (n=82) и ТРД (n=33).

Критерии включения: 1) пациенты в возрасте старше 18 лет включительно; 2) процедуры ЦАГ, выполненные только трансрадиальным или трансфеморальным доступом; 3) процедура ЦАГ, ограничивающаяся диагностическим исследованием.

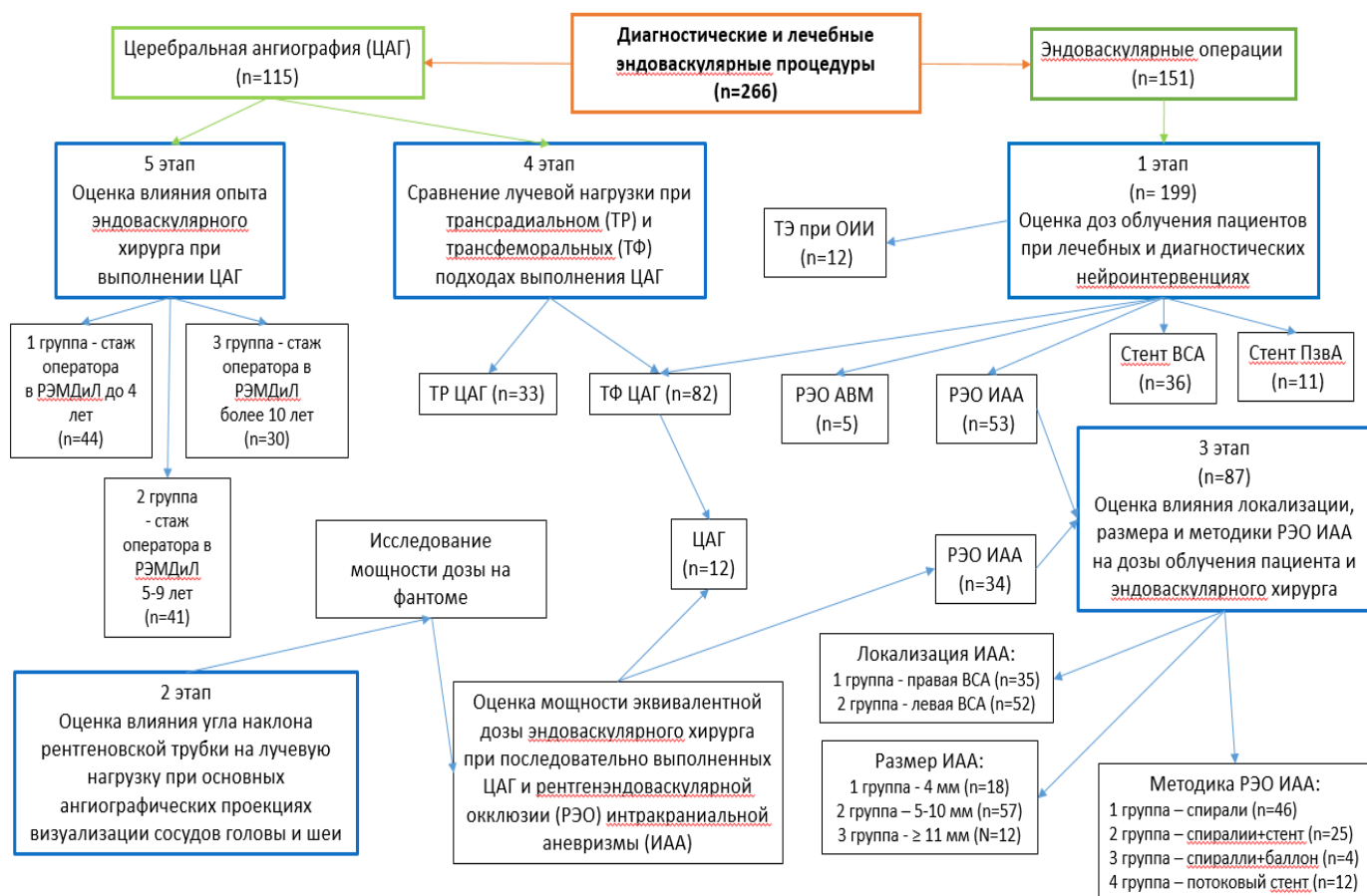
Критерии не включения: 1) пациенты младше 18 лет; 2) процедуры ЦАГ, при которых выполнялась конверсия артериального доступа; 3) процедуры ЦАГ, заканчивающиеся лечебным вмешательством.

На **пятом этапе** выполнена сравнительная оценка дозиметрических величин при выполнении 115 процедур церебральной ангиографии в зависимости от опыта выполнения эндоваскулярных вмешательств. Все процедуры ЦАГ разделены на 3 группы в соответствии со стажем работы специалиста по специальности:

- 1) процедуры (n=44), выполненные 2 операторами со стажем менее 4 лет,
- 2) процедуры (n=41), выполненные 3 операторами со стажем от 5 до 9 лет,
- 3) процедуры (n=30), выполненные 6 операторами со стажем более 10 лет.

Сравнивались полученные значения произведения дозы на площадь ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), кумулятивных доз (мГр), эквивалентных дозы облучения оператора (мкЗв), длительность флюороскопии (мин).

Дизайн исследования представлен на рисунке 2.



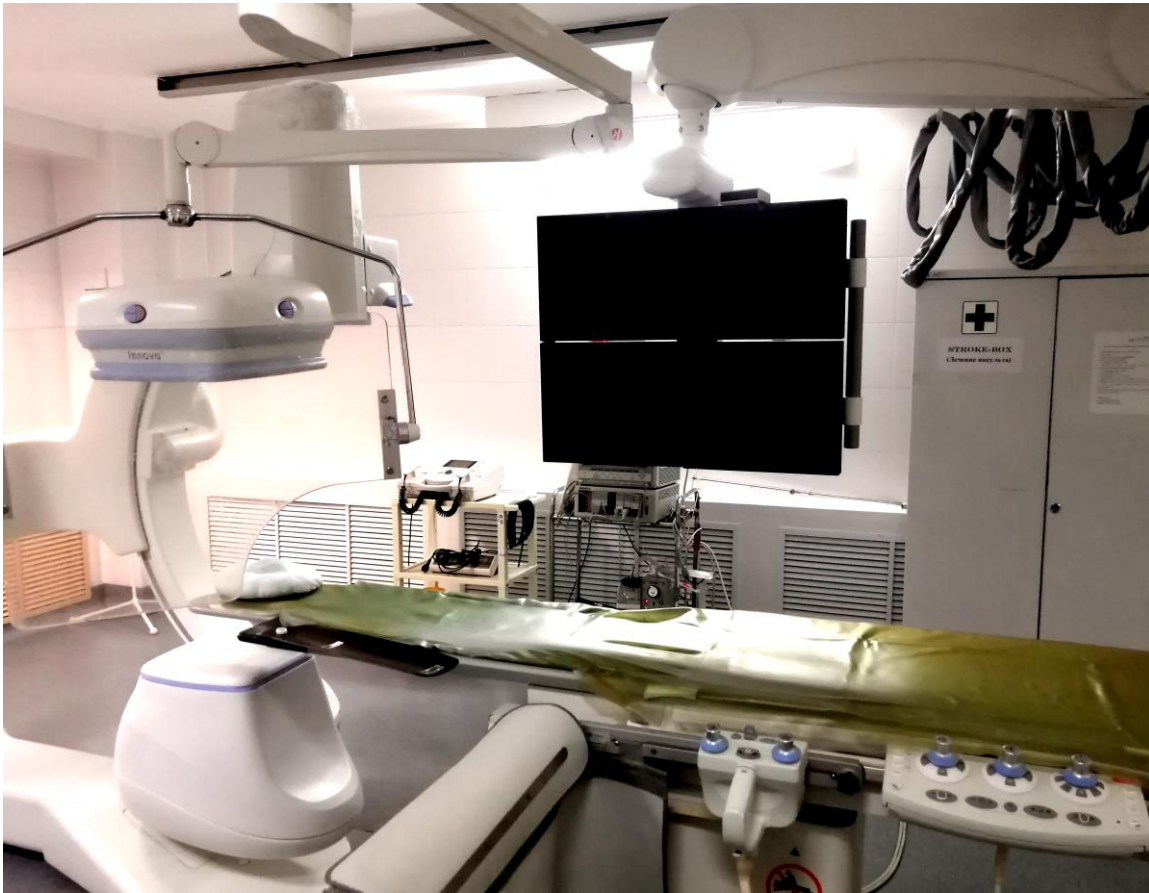
**Рисунок 2.** Дизайн исследования.

## 2.3. Методы исследования

### 2.3.1. Методика проведения диагностических и лечебных рентгенэндоваскулярных вмешательств

Все диагностические и лечебные рентгенэндоваскулярные процедуры выполнялись на ангиографической системе Innova 3100 IQ (GE Medical Systems S.C.S., Франция), оснащенной плоскопанельным цифровым детектором размером 31×31 см, со стандартным протоколом рентгеноскопии (7,5-15-30 кадр/с) и цифровой субтракционной ангиографии с частотой кадров: 4 кадр/с (5 с) – 2 кадр/с (5 с) – 1

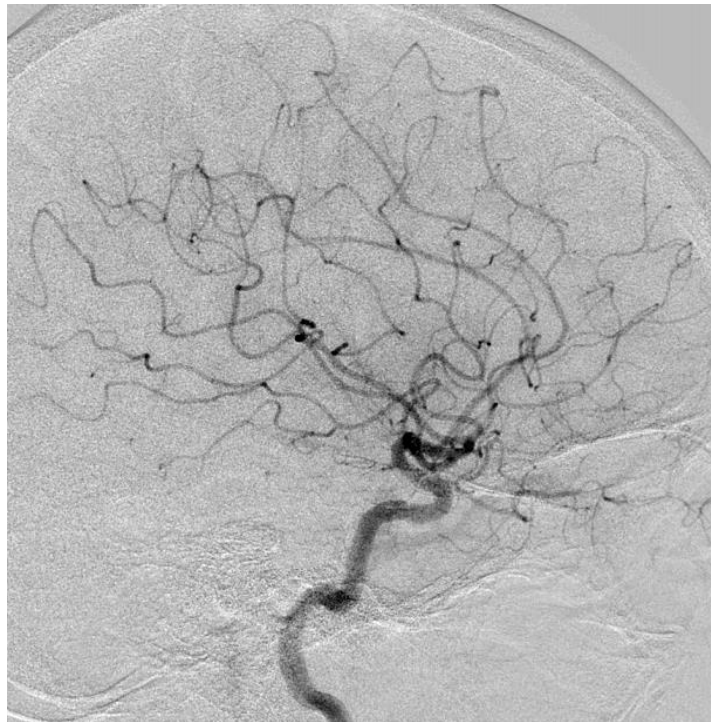
кадр/с (5 с) (рисунок 3). Доступные изменения поля зрения 30 см – 20 см – 16 см – 12 см. Рентгенооперационная оснащена потолочным рентгенозащитным экраном и рентгенозащитой ширмой, расположенной под операционным столом (свинцовый эквивалент 0,5 мм).



**Рисунок 3.** Ангиографическая система Innova 3100 IQ (GE Medical Systems S.C.S.)

Диагностическая церебральная ангиография и лечебные эндоваскулярные вмешательства у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга выполнялись по общепринятой методике трансфеморальным и трансрадиальным доступами.

Визуализация сосудистых бассейнов головного мозга проводилась в стандартных проекциях (таблица 3) в артериальную, капиллярную (паренхиматозную) и венозную фазы (рисунки 4-6).



**Рисунок 4.** Ангиограмма правой ВСА в правой боковой проекции (артериальная фаза)



**Рисунок 5.** Ангиограмма правой ВСА в правой боковой проекции (капиллярная фаза)



**Рисунок 6.** Ангиограмма правой ВСА в правой боковой проекции (венозная фаза)

Все лечебные рентгенхирургические процедуры выполнены тремя операторами с трудовым стажем в эндоваскулярной хирургии от 14 лет, ежегодно выполняющими более 30 лечебных вмешательств при сосудистой патологии головного мозга. Церебральная ангиография выполнялась всеми врачами по РЭДиЛ отделения РХМДЛ. В качестве контрастного средства использовали «Омнипак», «Ультравист» с концентрацией йода 240 мг/мл, 350 мг/мл, 370 мг/мл.

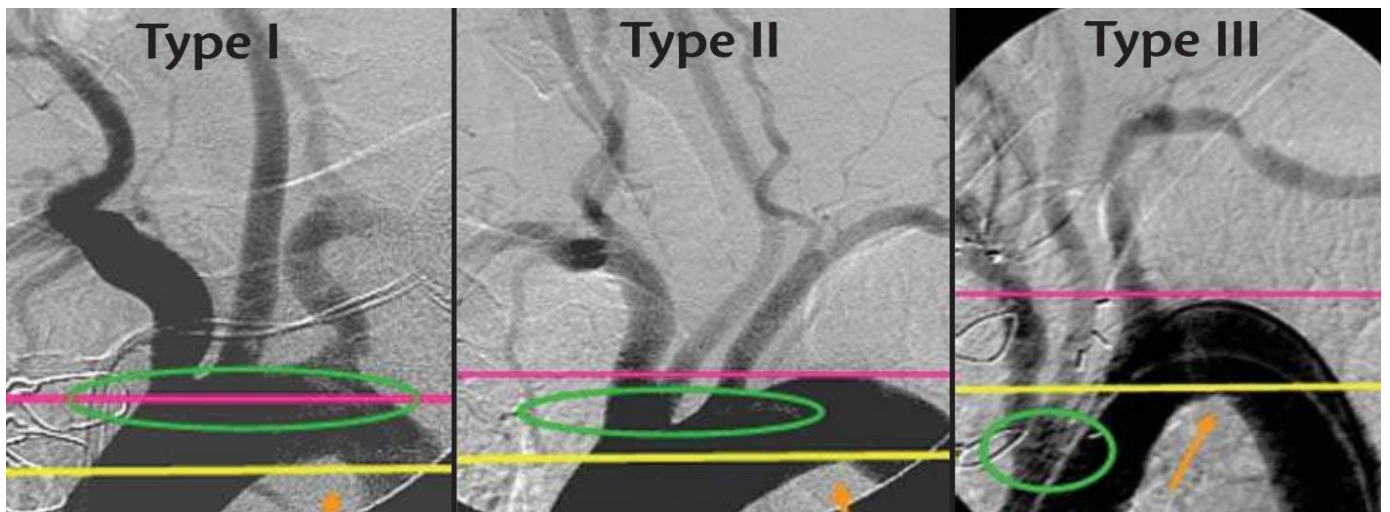
### **2.3.1.1. Диагностическая церебральная ангиография**

Диагностическая церебральная ангиография у пациентов с поражением сонных, позвоночных и церебральных артерий выполнялась по традиционной методике.

Алгоритм выполнения ангиографии первоначально включал выбор сосудистого доступа. Сосудистый доступ осуществлялся по методике S. Seldinger [Covello B.,

2022] через бедренные артерии (правую или левую) или через правую лучевую артерию.

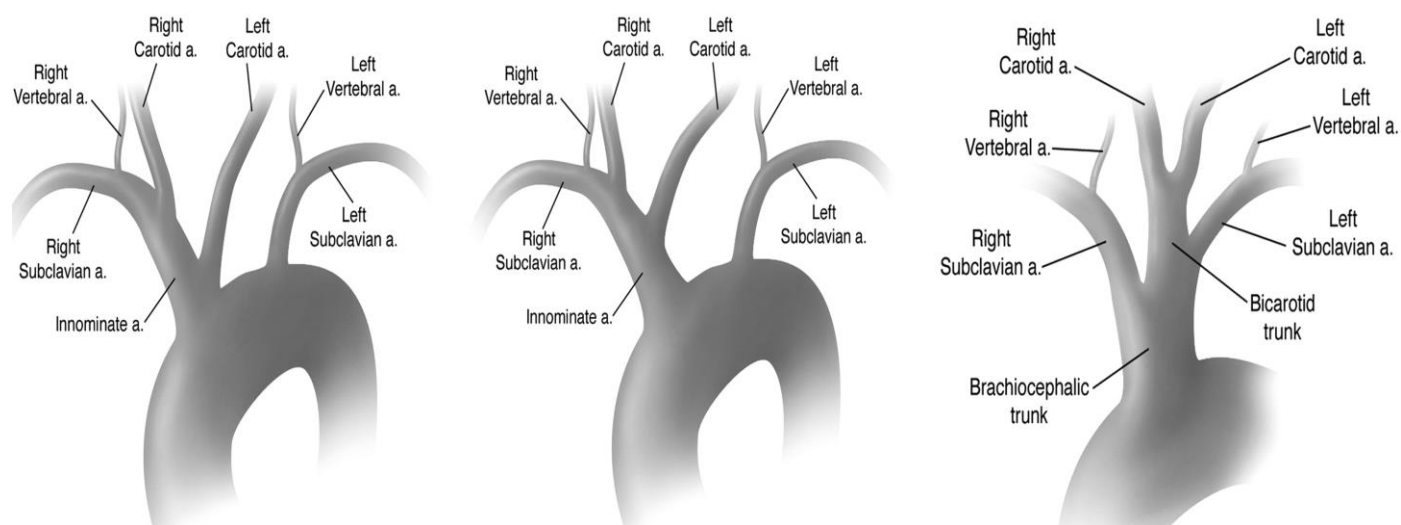
Трансфеморальная церебральная ангиография начиналась с пункции общей бедренной артерии под местной анестезией раствором 0,5% Новокаина с использованием пункционной иглы 18G с внутренним диаметром просвета, совместимым с диагностическим проводником 0,035". Далее проводилась катетеризация артерии с установкой интродьюсера 5F или 6F, через который осуществлялось проведение стандартного диагностического проводника 0,035" и диагностического катетера. Выбор катетера осуществлялся с учётом типа дуги аорты и вариантом отхождения ветвей дуги аорты (Рисунок 7).



**Рисунок 7.** Типы дуги аорты по классификации Myla, 1996 г.

Первый тип дуги аорты наблюдался у 27 пациентов, второй тип и «классическое» отхождение брахиоцефальных артерий (брахиоцефальный ствол, левая общая сонная артерия, левая подключичная артерия) определялись у 32 пациентов. Для данной категории пациентов применялся диагностический катетер 5F с кривизной дистального кончика JB1. В 23 случаях у пациентов наблюдался третий тип дуги аорты и «бычий» тип дуги аорты, при котором левая общая сонная артерия

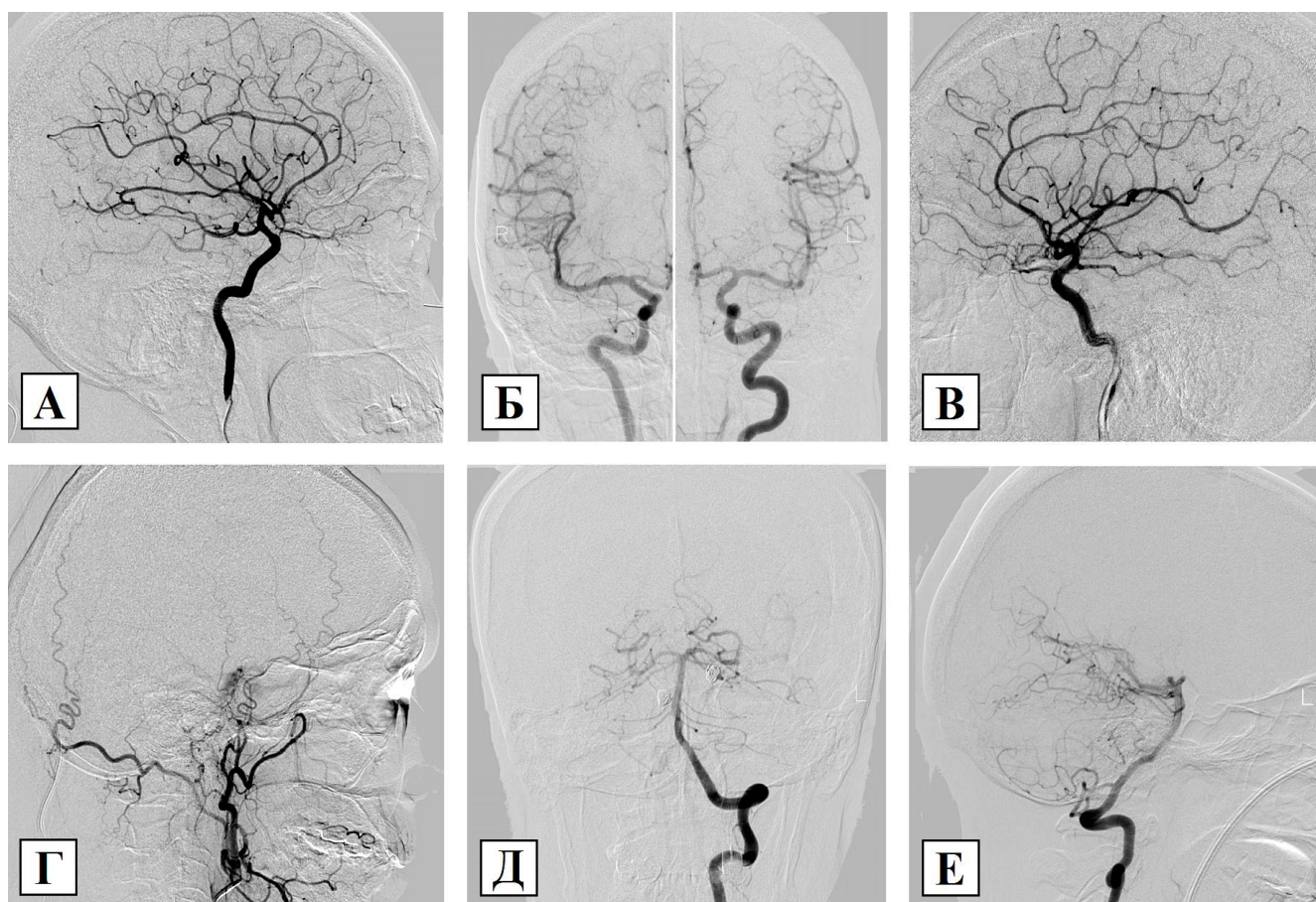
отходит от брахиоцефального ствола или общий брахиоцефальный ствол даёт начало правым и левым общим сонным и подключичным артериям (Рисунок 8). Для данной категории пациентов катетером выбора был катетер с модификацией дистального кончика типа SIM2.



**Рисунок 8.** Варианты «бычьего» типа дуги аорты (K.F. Layton, D.F. Kallmes, H.J. Cloft et al., 2006)

В проекции LAO 30 ° проводилась последовательная селективная катетеризация артерий дуги аорты в режиме Roadmap. Полный протокол первичной ЦАГ включал ангиографию ОСА, ВСА и НСА слева и справа, правой и/или левой ПзВА (Рисунок 9). При возникновении трудностей при катетеризации применялись проводник с управляемым кончиком типа STORQ 0,039” или гидрофильный проводник.





**Рисунок 9.** Церебральная ангиография

Примечание: А – ангиограмма правой ВСА в правой боковой проекции; Б – ангиограммы правой и левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией; В – ангиограмма левой ВСА в левой боковой проекции; Г – ангиограмма правой НСА в правой боковой проекции; Д, Е – ангиограммы левой ПЗВА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и правой боковой проекции.

Непосредственно перед выполнением ЦАГ трансрадиальным доступом выполняли оценку пульсации на лучевой артерии, а также проводили модифицированный тест Аллена, оценивающий коллатеральный кровоток на кисти, с целью профилактики ишемии кисти. Пункция лучевой артерии осуществлялась под местной анестезией раствором 2% Лидокаина иглой 21G, далее устанавливался интродьюсер с гидрофильным покрытием. Внутриартериально через интродьюсер вводилось 250 мкг раствора Нитроглицерина для профилактики спазма лучевой артерии. Далее по гидрофильному проводнику диагностический катетер Sim2

доставлялся в восходящий отдел аорты. В проекции LAO 30 ° последовательно осуществлялась катетеризация устьев правой позвоночной артерии, брахиоцефального ствола, левой общей сонной артерии и левой подключичной артерии в режиме Roadmap. При трудности селективной катетеризации ВСА, НСА производилась замена диагностического катетера SIM2 на JB1 на обменном проводнике.

При необходимости детализации размеров и локализации сосудистых изменений артерий головного мозга применялась 3D-ротационная ангиография с последующей компьютерной постобработкой изображений для получения объемной реконструкции анатомических структур (рисунок 10).



**Рисунок 10.** 3D-реконструкция мешотчатой ИАА офтальмического сегмента левой ВСА.

### 2.3.1.2. Эндovasкулярные операции

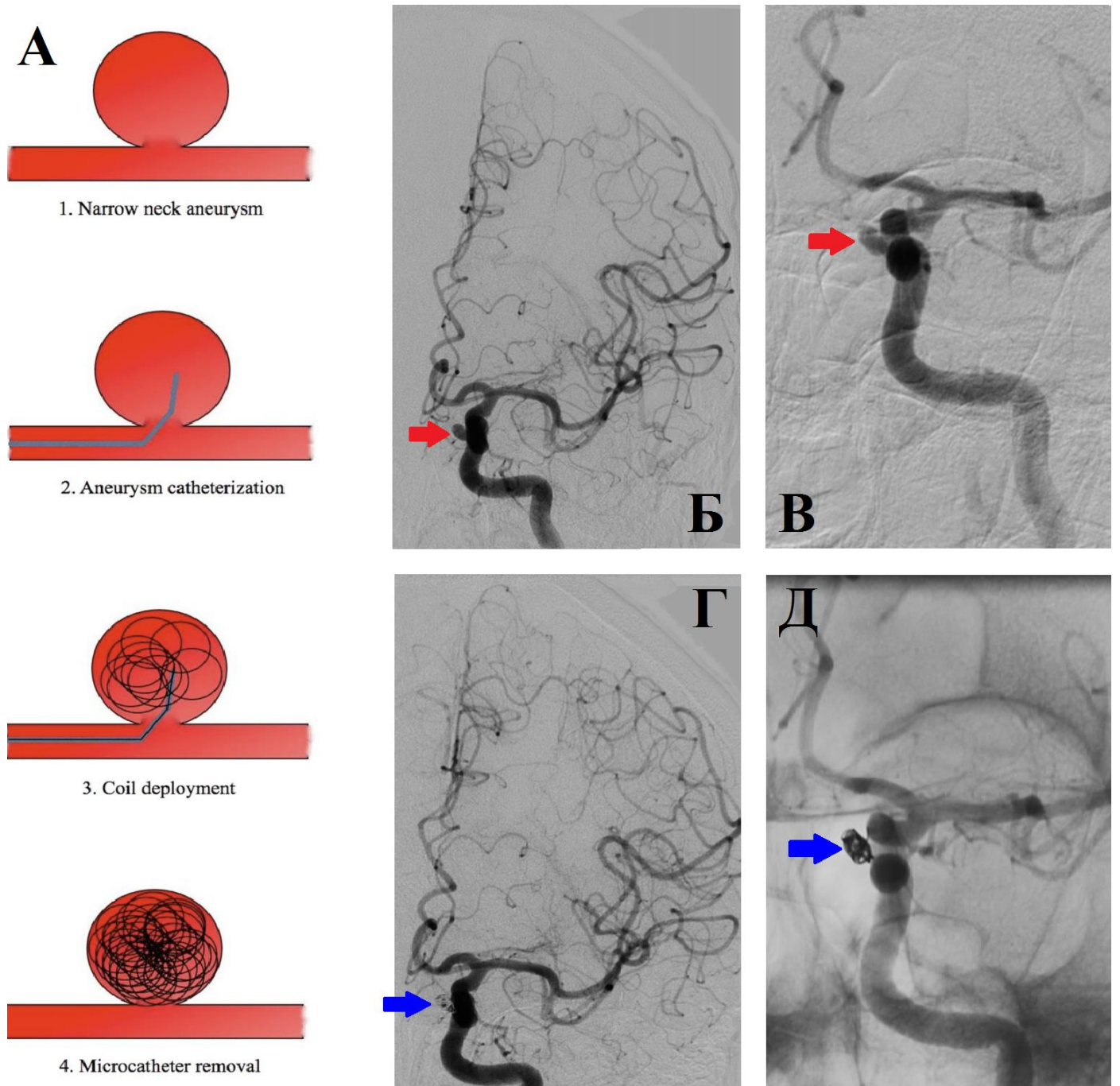
Все лечебные эндovasкулярные вмешательства выполнялись по общему алгоритму и включали следующие этапы:

- 1) Обеспечение сосудистого доступа;
- 2) Катетеризация целевого сосуда;
- 3) Выполнение основного вмешательства;
- 4) Удаление инструментов и обеспечение гемостаза.

Под местной или общей анестезией (в зависимости от категории вмешательства и состояния пациента) выполнялась пункция общей бедренной артерии по методике S. Seldinger с установкой интродьюсера размером от 5 F до 9 F. Выполнялась катетеризация целевого сосуда с использованием диагностического проводника. На обменном стандартном проводнике 0,035” проводилась замена на проводниковый катетер. Далее для профилактики эмболических осложнений внутриартериально вводили раствор Гепарина 100 ЕД на 1 кг массы тела пациента, а также к Y-коннектору подключалась промывная линия с постоянной инфузией гепаринизированного физиологического раствора (Гепарин 1000 ЕД/Физиологический раствора 400 мл), со скоростью 5-10 мл в мин.

Эндovasкулярные вмешательства по поводу аневризматической болезни головного мозга (рисунок 11) осуществлялись через проводниковый катетер, выполнялась суперселективная катетеризация аневризмы, микрокатетер 1.9F заводился в полость аневризмы по интервенционному проводнику 0,014”. Далее проводник удалялся. По микрокатетеру под рентгеноскопическим контролем проводились проведение и укладка отделяемых микроспиралей в полость аневризмы. В качестве эмболизирующего материала использовались микроспирали. При контрольной ангиографии проводилась оценка эффективности укладки и

радикальности окклюзии аневризмы согласно классификации, предложенной Roy D. [163].

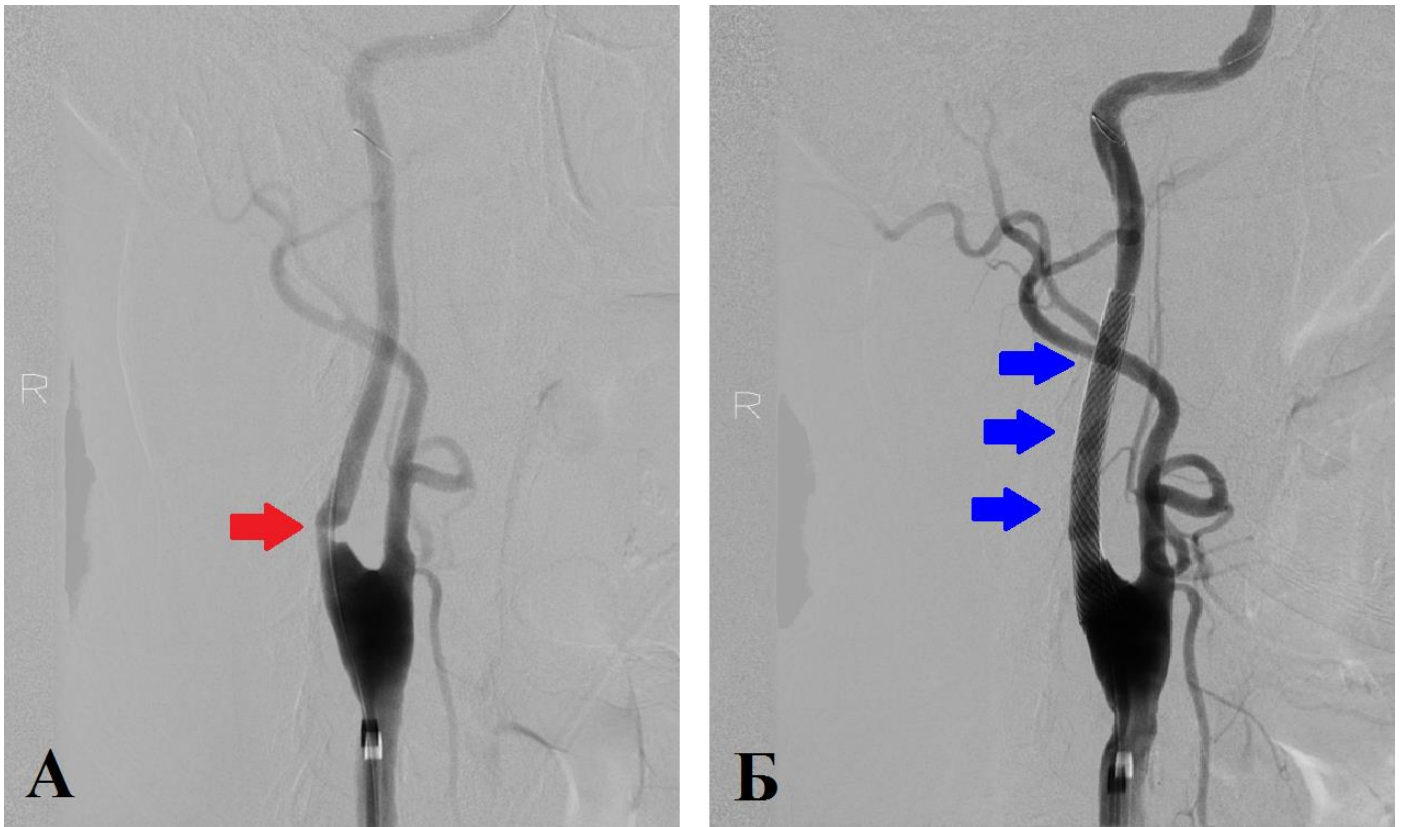


**Рисунок 11. Эндоваскулярная эмболизация ИАА.**

Примечание: А – техника эмболизации мешотчатой аневризмы с использованием спиралей (Woo P., 2010); Б, В – ангиограммы левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и левой косой проекции, визуализируется мешотчатая аневризма офтальмического сегмента ВСА (красные стрелки); Г, Д – ангиограммы левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и левой косой проекции, аневризма тромбирована полностью, Raymond-Roy I (синие стрелки).

При наличии широкой шейки у мешотчатой аневризмы выполнялась имплантация потокоперенаправляющего стента или применялись ассистирующие методики (баллон- и стент-ассистирующие техники).

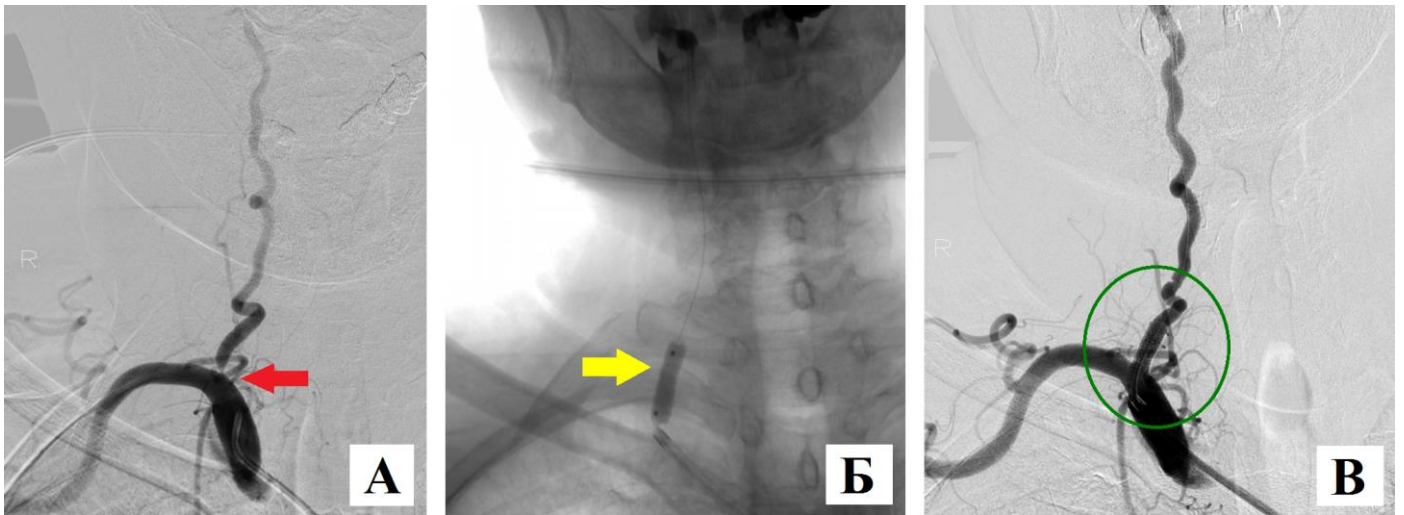
Перед процедурой стентирования ВСА (рисунок 12) для профилактики брадикардии у пациента, связанной с раздражением синокартидной зоны при инфляции баллонного катетера и имплантации стента, внутривенно вводилось 1,5 мг Атропина. После установки проводникового катетера в ОСА проводилась ангиография бифуркации ОСА для оценки степени поражения и ЦАГ для оценки состояния церебральных артерий. За зону стеноза в экстракраниальный отдел ВСА заводилась и раскрывалась система дистальной защиты от эмболии. При выраженном стенотическом поражении ВСА предварительно выполнялась преддилатация баллонным катетером диаметром от 3 до 5,5 мм. Далее следовало проведение, позиционирование и имплантация каротидного самораскрывающегося стента с последующей постдилатацией стента баллонным катетером. Выполнялась контрольная ангиография. Выполнялось удаление защиты от дистальной эмболии. Проводилась повторная полипроекционная ангиография области стентирования и церебральных сосудов.



**Рисунок 12.** Стентирование ВСА.

Примечание: А – ангиограмма бифуркации правой ОСА, гемодинамически значимый стеноз устья правой ВСА (красная стрелка); Б – стент внутренней сонной артерии (синие стрелки).

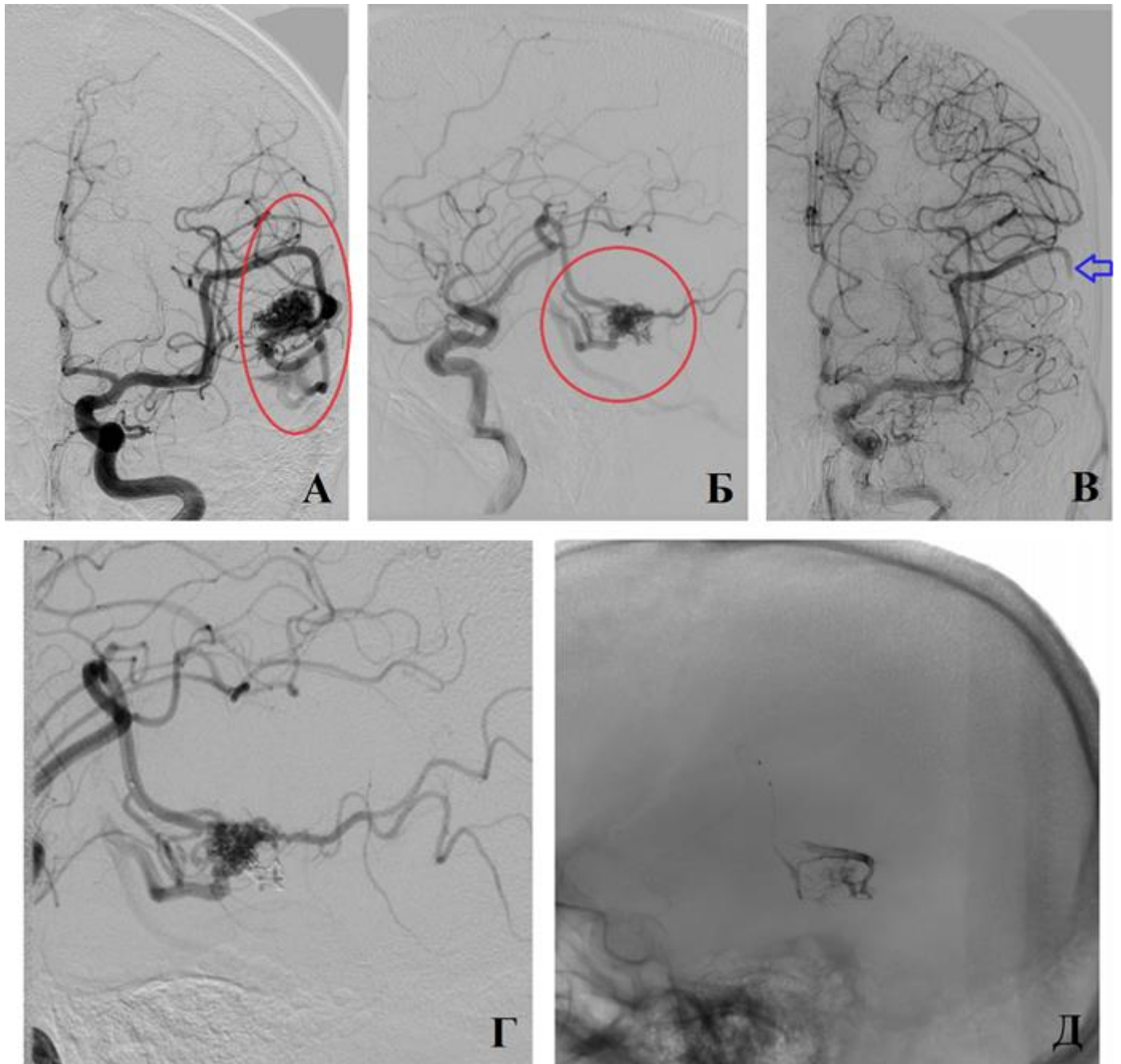
Стентирование позвоночных артерий (рисунок 13) осуществлялось трансфеморальным доступом. После установки проводникового катетера или гайд-интродьюсера в подключичную артерию интервенционный проводник заводился за зону стеноза ПзВА. Выполнялась прямая имплантация баллон-расширяемого стента. Далее выполнялась контрольная ангиография зоны имплантации стента и сосудов ВББ.



**Рисунок 13.** Стентирование ПзВА.

Примечание: А – ангиограмма правой подключичной артерии, критический субтотальный стеноз (красная стрелка); Б – имплантация стента в ПзВА с небольшой протрузией в правую ПкЛА; В – стент ПзВА (обведён зеленым кругом).

Эмболизация АВМ (рисунок 14) выполнялась под общей анестезией трансфеморальным доступом. После установки проводникового катетера микрокатетер проводился по питающему сосуду в сосуды узла АВМ. Под рентгеноскопией производилась инъекция эмболизирующего материала. После оптимального заполнения ядра АВМ микрокатетер удалялся.

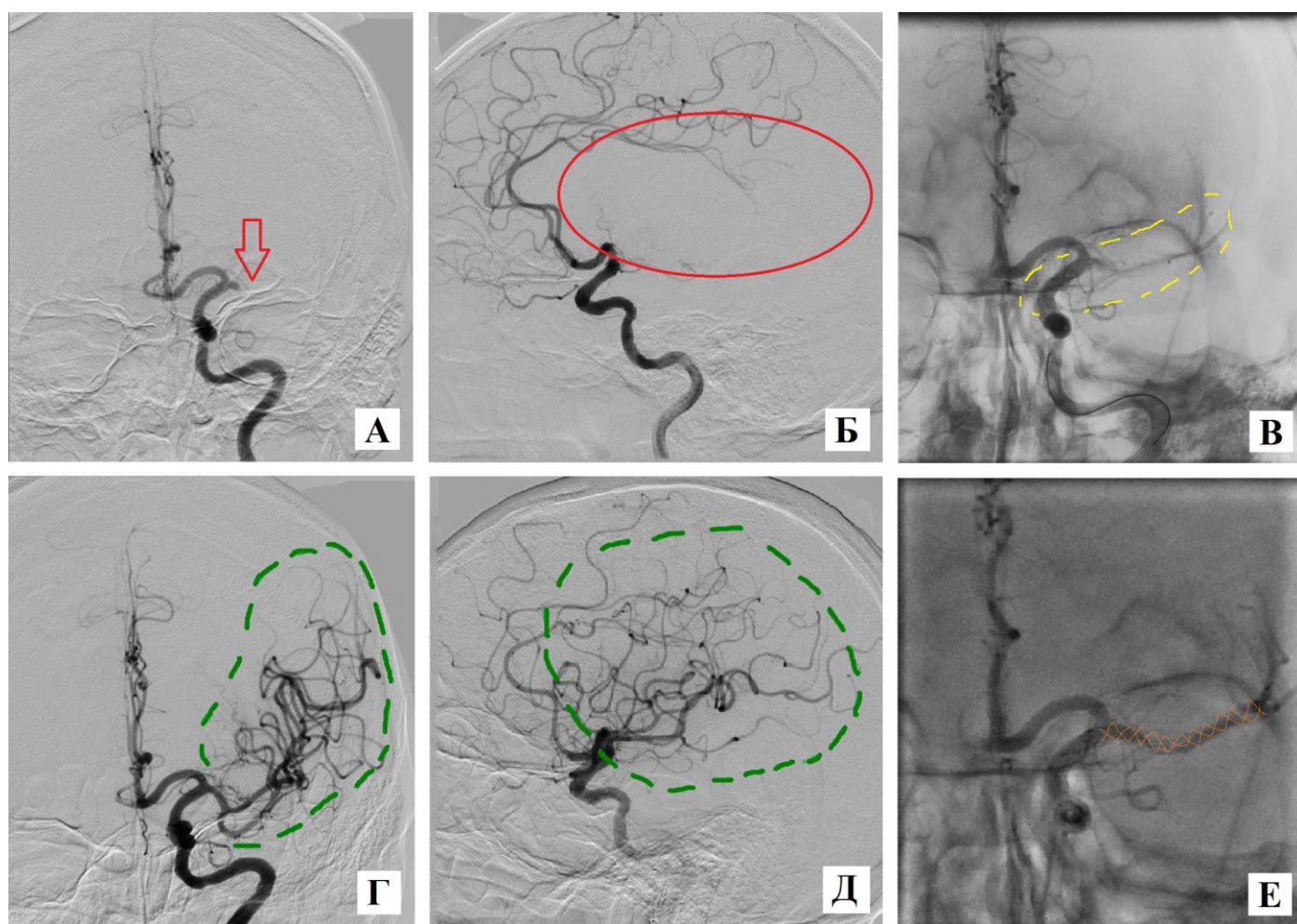


**Рисунок 14.** Эндоваскулярная эмболизация артерио-венозной мальформации.

Примечание: А, Б – ангиограммы левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и в боковой проекции, визуализируется АВМ левой височной доли ГМ (обведено красным); В – АВМ выключена из кровотока (синяя стрелка); Г, Д – промежуточные этапы эндоваскулярной эмболизации с применением клеевой композиции.



Эндоваскулярное лечение ОИИ включало применение различных техник тромбоаспирации, механической тромбоэкстракции из внутренней сонной и/или церебральных артерий с использованием стент-ретриверных технологий и их комбинации (рисунок 15). Процедура выполнялась через бедренный доступ. В случае сложной катетеризации левой ОСА при наличии «бычьего» типа дуги аорты (рисунок 8), проводилась конверсия сосудистого доступа на ТРД. Степень восстановления церебрального кровотока оценивалась по шкале Thrombolysis in Cerebral Infarction (TICI) [71; 123; 193].



**Рисунок 15.** Механическая тромбэмболэктомия из М1-сегмента левой средней мозговой артерии.

Примечание: А, Б – ангиограммы левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и левой боковой проекции, окклюзия М1- сегмента левой ВСА (красная стрелка, красный эллипс); В –

микрокатетер заведен за зону окклюзии СМА (жёлтая пунктирная линия); Е – раскрытие стент-ретривера в зоне окклюзии (оранжевые зигзаги); Г, Д - ангиограммы левой ВСА в прямой проекции с краниальной ангуляцией и левой боковой проекции, полное восстановление кровотока по СМА – ТICI 3 (зелёная пунктирная линия).

В конце каждой операции выполнялась контрольная ангиография сосудистого бассейна, в зоне которого осуществлялось вмешательство, минимум в 2 ортогональных проекциях. Удаление проводникового катетера выполнялось с использованием стандартного J-образного 0,035” проводника. Далее пациентам, подвергшимся лечебному вмешательству под местной анестезией, проводилась оценка неврологического статуса. При удовлетворительном результате операции проводилось удаление интродьюсера и осуществлялся гемостаз с использованием устройств аппаратного гемостаза или мануальной компрессией в течение 10-15 минут при полной инактивации гепарина с последующим наложением давящей повязки.

### **2.3.2. Методы дозиметрии рентгеновского излучения**

#### **2.3.2.1. Контроль доз облучения пациентов при проведении рентгенэндоваскулярных вмешательств**

Оценка дозы облучения пациента осуществлялась по завершению каждой процедуры. Учитывались показатели: произведение входной поверхностной поглощенной дозы и площади облучаемого участка кожи пациента (ПДП, Гр×см<sup>2</sup>); время рентгеноскопии (мин); воздушная керма (мГр). Значения данных показателей получали с консоли ангиографической системы и регистрировали в журнале учёта радиационных доз. После каждой выполненной процедуры, значения показателей ангиографической консоли обнулялись.

Для сравнительной оценки влияния ангиографической проекции на дозы облучения пациента проведено исследование с использованием водного фантома объёмом 5 л, имитирующего голову пациента. Фантом располагался на операционном столе на уровне изолинии в центре пучка излучения. Для анализа доз облучения фантома в режиме рентгеноскопии в каждой проекции в течение 60 секунд не менее 3 раз производилось измерение показателя произведения дозы на площадь на консоли ангиографической системы. В режиме цифровой субтракционной ангиографии измерение проводилось в тех же проекциях, но в течение 5 секунд и не менее 3 раз. Мы получили значения показателя мощности дозы ПДП/с, выполнив расчет отношения полученных ПДП и времени экспозиции рентгеновского луча при режимах ДСА и рентгеноскопии.

### **2.3.2.2. Индивидуальный дозиметрический контроль врачей по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению**

Для определения уровня лучевой нагрузки на врача по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению мы провели индивидуальный дозиметрический контроль по стандартной методике, согласно МУ 2.6.1.3015-12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций» с целью изучения средних доз облучения оператора при диагностических и лечебных процедурах.

Первостепенно оценка дозы облучения оператора осуществлялась с использованием 2 комплектов термолюминесцентных дозиметров (ТЛД):

- 1) ДТЛ-02 – предназначен для измерения индивидуального эквивалента дозы фотонного излучения  $H_p(10)$ ;
- 2) МКД, тип А – предназначен для измерения эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения  $H_p(3)$  в хрусталике глаза;

3) МКД, тип Б – предназначен для регистрации эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения  $H_p(0,07)$  в коже рук.

Первый комплект ТЛД применялся для измерения эквивалентной дозы в хрусталике глаза при диагностической ЦАГ, второй комплект использовался для измерения дозы только при оперативных лечебных вмешательствах. ТЛД применялись для определения суммарной дозы, накопленной за время выполнения всех учтённых процедур.

Врач по РЭДЛ перед выполнением 5 процедур церебральной ангиографии и 8 эндоваскулярных операций фиксировал комплект ТЛД в стандартных точках.

После анализа накопленной дозы ТЛД были получены значения, указанные в таблице 5.

**Таблица 5.** Суммарные значения дозы облучения оператора при процедурах церебральной ангиографии и эндоваскулярных операциях, накопленных термоллюминесцентными дозиметрами

Показатели	Церебральная ангиография (n=5)	Эндоваскулярные операции (n=8)
Индивидуальный эквивалент дозы на уровне груди, $H_p(10)$ , мкЗв	230	610
Индивидуальный эквивалент дозы в хрусталике глаза, $H_p(3)$ , мкЗв	180	540
Индивидуальный эквивалент дозы кожи рук, $H_p(3)$ , мкЗв	2040	3450

На основании полученных данных рассчитаны средние арифметические (М) значений доз при проведении одной процедуры ЦАГ и одной эндоваскулярной операции (таблица 6).

**Таблица 6.** Средние значения дозы облучения оператора при выполнении 1 процедуры церебральной ангиографии и 1 эндоваскулярной операции, накопленной ТЛД

Показатели	Среднее значение, М	
	Церебральная ангиография	Эндоваскулярная операция
Индивидуальный эквивалент дозы на уровне груди, Нр(10), мкЗв	46	76,25
Индивидуальный эквивалент дозы в хрусталике глаза, Нр(3), мкЗв	36	67,5
Индивидуальный эквивалент дозы кожи рук, Нр(3), мкЗв	408	431

При проведении дозиметрии с использованием ТЛД выявлено, что дозиметр кожи рук накопил наибольшую дозу как при диагностической ЦАГ, так и при эндоваскулярных операциях. В среднем, при 1 операции наблюдалось наибольшее накопление дозы по сравнению с диагностической ЦАГ, а в области груди и области головы определяются средние значения вдвое больше, чем при диагностической процедуре.

Однако полученные значения не отражают действительной картины облучения оператора, т.к. определение и оценка накопленных доз с помощью ТЛД после каждой проведенной процедуры невозможны.

По данной причине для определения доз облучения оператора по завершении одной эндоваскулярной процедуры мы использовали прямопоказывающий дозиметр

рентгеновского и гамма-излучения ДКР-04М (зав. № 5766, свидетельство о поверке № С-ВАГ/23-09-2021). Представленный дозиметр в реальном времени способен проводить измерение и фиксацию накопленной эквивалентной дозы при работе с рентгеновским излучением, также он оснащён звуковой индикацией при превышении установленного порога накопления эквивалентной дозы (рисунок 16).



**Рисунок 16.** Персональные дозиметры.

Примечание: слева – комплект ТЛД-дозиметров (в красной рамке); справа – прямопоказывающий дозиметр ДКР-04М (в синей рамке).

Под дозой оператора в рамках нашего исследования мы подразумевали эквивалентные дозы, накопленные в области головы и шеи.

Исследования последних лет в области радиационной безопасности, связанной с проведением вмешательств под контролем рентгеновского излучения, посвящены изучению изменений в органе зрения, ассоциированных с воздействием ионизирующего излучения [73, 74, 102].

Для обеспечения наиболее точного измерения доз облучения хрусталика глаза МАГАТЭ рекомендует располагать дозиметр в области, максимально приближённой к глазу [102]. В исследовании Y. Naga et al. (2017) выявлена сильная корреляционная

связь между дозами, полученными на уровне глаз и на уровне шеи. По вышеописанным причинам для оценки дозы облучения оператора мы использовали значения, измеренные с использованием прямопоказывающего дозиметра, который фиксировался в области рентгензащитного воротника оператора с левой стороны. Также данное расположение дозиметра связывалось с личным удобством его ношения и комфортным выполнением эндоваскулярных манипуляций оператором.

После завершения каждой процедуры показания прямопоказывающего дозиметра фиксировали в журнале учёта радиационных доз. Перед началом следующей процедуры значения дозиметра обнулялись.

Для оценки доз облучения оператора при изменении угла наклона рентгеновской трубки при выполнении ангиографического исследования сосудов головы проведена серия измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (мЗв/ч) (далее – мощность эквивалентной дозы) в основных проекциях дозиметром рентгеновского и гамма-излучения ДКС-1123 (зав.№51120, свидетельство о поверке №С-БЯ/19-07-2021/79718817 до 17.07.2022г.) с использованием водного фантома (укладка фантома описана выше). Дозиметр располагался в 4 точках на разной высоте от уровня пола в предполагаемом месте нахождения рентгенохирурга. Точки расположения дозиметра представлены в таблице 7. В каждой точке проводилось не менее 3 измерений, а для оценки полученных результатов использовалось среднее значение мощности дозы по количеству измерений в данной точке. Расстояние между точками измерений в горизонтальной плоскости составляла не более 50 см.

**Таблица 7.** Уровни расположения дозиметра в вертикальной плоскости по отношению к полу в месте условной локализации оператора

Расположение дозиметра	Нижние конечности	Гонады	Грудь	Голова
Высота от уровня пола, см	30±20	80±20	120±20	160±20

Следующим этапом проведено измерение мощности эквивалентной дозы при основных ангиографических проекциях черепа с использованием дозиметра рентгеновского и гамма-излучения ДКС-1123 в точках, обозначенных в таблице 1, при последовательно выполненных 12 диагностических церебральных ангиографиях и 34 лечебных эндоваскулярных операциях.

### 2.3.3. Статистические методы

Статистическая обработка полученных результатов выполнялась с помощью пакета компьютерных прикладных программ MS Excel и SPSS Statistics 23.0. Обработка данных основывалась на описательных статистических методах. Распределение всех количественных переменных оценивали с помощью теста Шапиро-Уилка на нормальность. Количественные переменные описаны со средним значением (M), стандартным отклонением (SD), диапазоном для нормально распределенных данных, медианами (Me) и межквартильным размахом (IQR) для ненормально распределенных данных. Категориальные переменные выражались в процентах (%). Различия в категориальных переменных между двумя группами анализировались с использованием точного критерия Фишера. Для сравнительного анализа средних значений при нормальном распределении использовался критерий t-Стьюдента, при ненормальном – критерий Манна-Уитни и критерий Краскела-Уоллиса. Корреляционный анализ выполнялся с использованием коэффициента корреляции  $r_{xy}$  Пирсона. Для всех статистических расчетов использовался уровень



достоверности 95%, а значение  $p \leq 0,05$  считалось значимым. Сила корреляционной связи оценивалась по шкале Чеддока (таблица 8).

**Таблица 8.** Шкала Чеддока

<b>Значения</b>	<b>Характеристика тесноты корреляционной связи</b>
<0,1	Связь отсутствует
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Высокая
0,9-0,99	Весьма высокая

### Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1. Уровни радиационного воздействия на пациентов при проведении рентгенэндоваскулярных вмешательств на сосудах головного мозга

Недостаточная и неоднозначная информация в современной литературе об уровнях лучевой нагрузки при различных категориях рентгенэндоваскулярных процедур, несовершенство критериев интраоперационного мониторинга и контроля радиационной безопасности при вмешательствах, выполняемых у пациентов при диагностике и лечении сосудистой патологии головного мозга, побудили провести целенаправленное исследование.

Нами собраны данные показателей лучевой нагрузки при 199 диагностических и лечебных интервенционных процедурах на брахиоцефальных и церебральных сосудах. Структура процедур представлена в таблице 9.

**Таблица 9.** Структура эндоваскулярных вмешательств

Категория	Количество процедур, n	%
Диагностическая церебральная ангиография	82	41,21
Эндоваскулярные операции:	117	58,79
1) РЭО ИАА	53	26,63
2) РЭО АВМ	5	2,51
3) МТЭ при ОИИ	12	6,03
4) Каротидное стентирование	36	18,09
5) Стентирование позвоночных артерий	11	5,53
Всего:	199	100

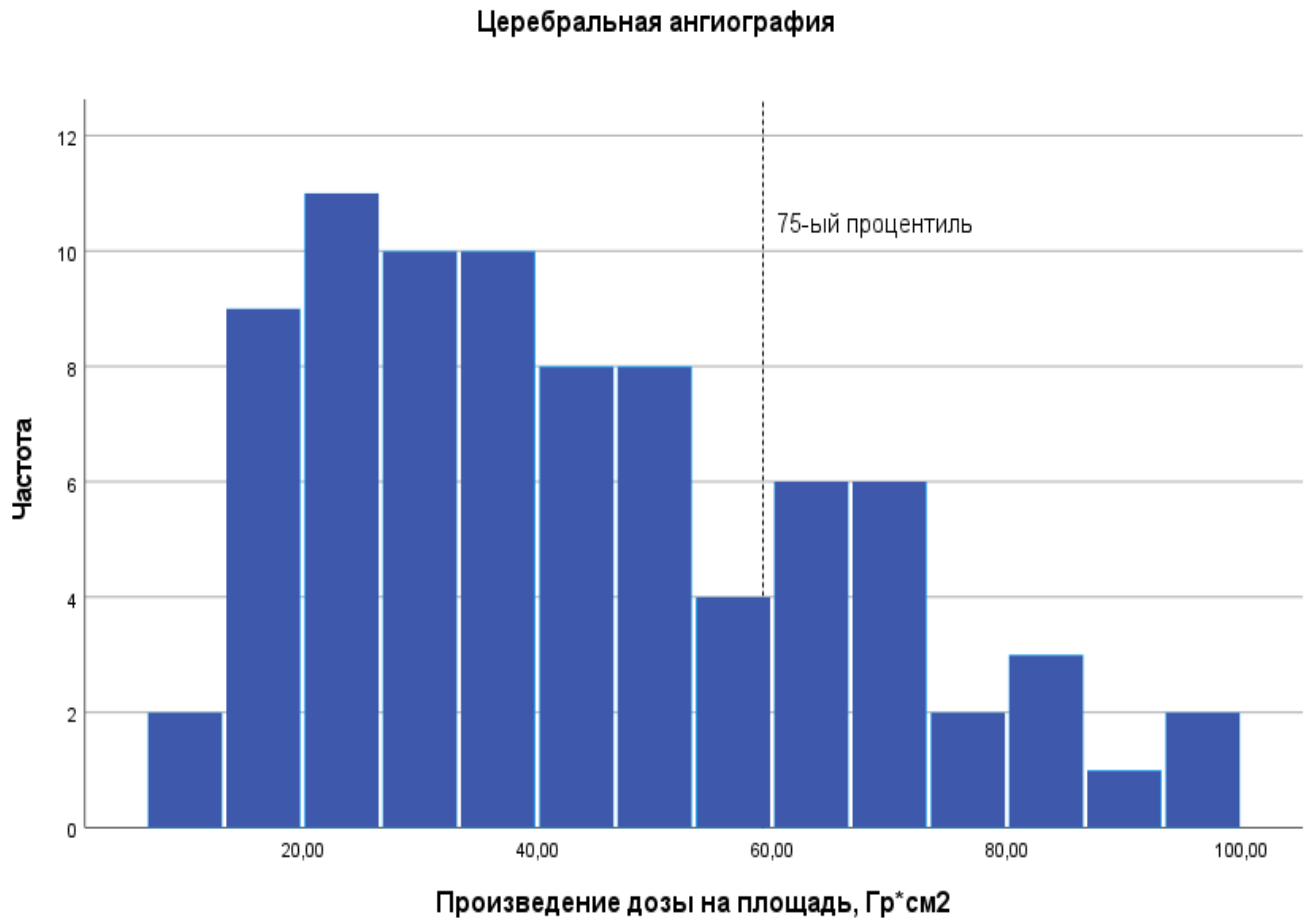
Демографические показатели пациентов представлены в таблице 10.

**Таблица 10.** Демографические показатели пациентов

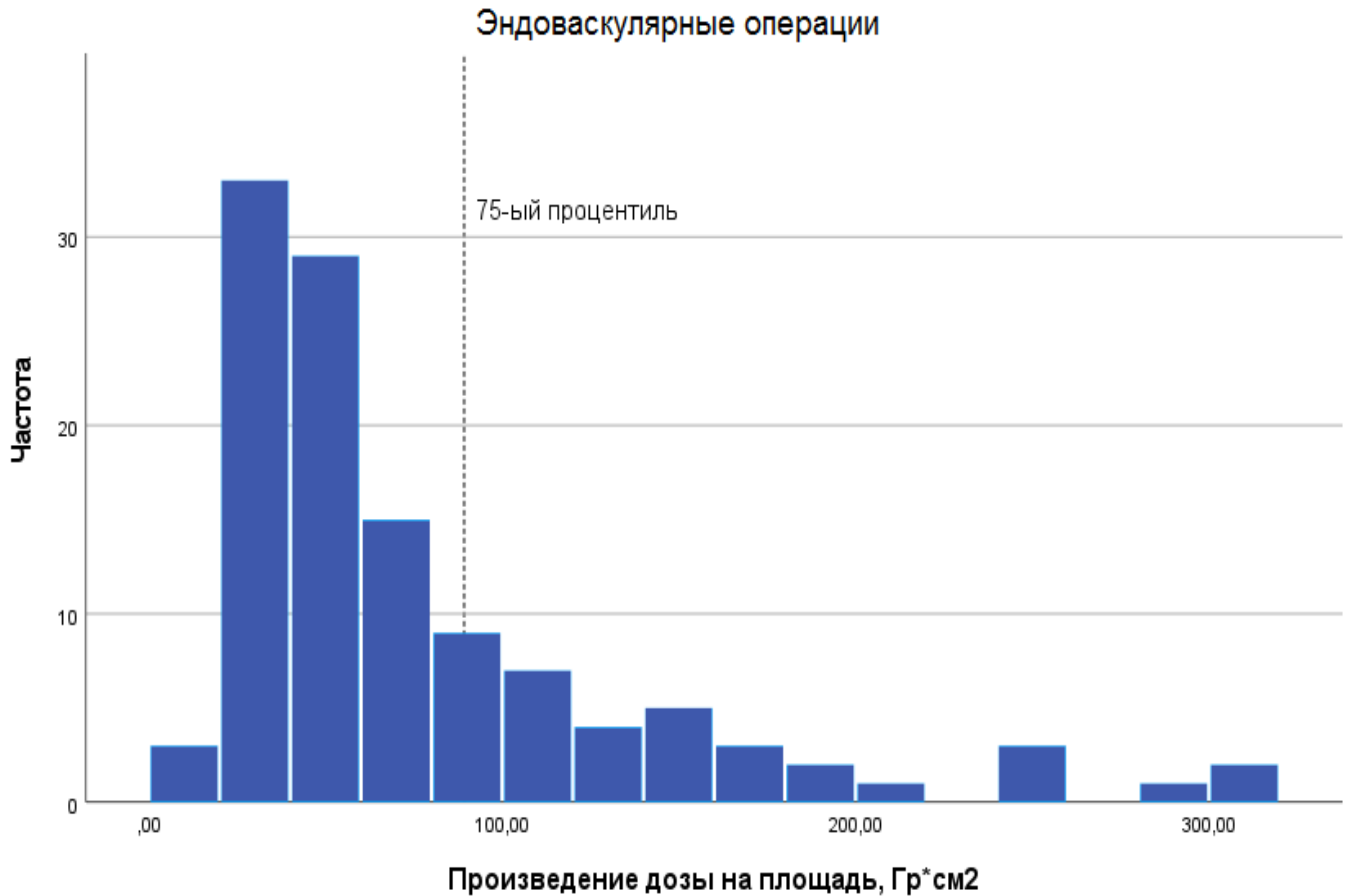
	Количество процедур, n	Пол, n (%)		Средний возраст, лет M±SD (95% ДИ)
		мужской	женский	
ЦАГ	82	37 (45,12)	45 (54,88)	53,17±14,71 (49,26-56,40)
Операции:	117	62 (52,99)	55 (47,01)	60,38±14,02 (57,80-62,96)
1) Эмболизация ИАА	53	20 (37,74)	33 (62,26)	52,74±14,06 (48,86-56,61)
2) Эмболизация АВМ	5	3 (60)	2 (40)	49±11,75 (30,31-67,69)
3) МТЭ при ОИИ	12	8 (66)	4 (34)	72,08±8,7 (66,55-77,61)
4) Каротидное стентирование	36	23 (63,88)	13 (36,12)	67,80±9,53 (64,53-71,07)
5) Стентирование позвоночных артерий	11	8 (72,72)	3 (27,28)	67,73±6,99 (59,03-68,42)
Всего	199	99 (49,75)	100 (50,25)	57,39±14,71 (55,33-59,46)

Не выявлено достоверных различий по возрасту и полу для процедур церебральной ангиографии (женщины 54,0±15,2 лет против мужчин 53,0±15,2 лет,  $p = 0,74$ ) и эндоваскулярных операций (женщины 59,4 ± 15,2 года против мужчин 61,3±12,9 лет,  $p=0,54$ ).

Полученные данные о дозах облучения пациентов не имеют нормального распределения, поэтому все расчёты проводились с использованием непараметрических критериев. На рисунках 17 и 18 представлены гистограммы ПДП при ЦАГ (82 процедуры) и эндоваскулярных операциях (117 процедуры).



**Рисунок 17.** Распределение показателя ПДП при церебральной ангиографии. Пунктирной линией отмечен 75-ый процентиль



**Рисунок 18.** Распределение показателя ПДП при нейроинтервенционных процедурах. Пунктирной линией отмечен 75-ый процентиль

Установлены медианы значений ПДП, кумулятивной дозы, времени рентгеноскопии и количества кадров рентгеновской съёмки для диагностической церебральной ангиографии – 39,15 Гр×см<sup>2</sup>; 461,5 мГр; 5,53 мин и 269 кадров; для эндоваскулярных операций – 53,60 Гр×см<sup>2</sup>; 895 мГр; 13,28 мин и 324 кадров.

В ходе сравнительного анализа значений дозиметрических величин методом Манна-Уитни выявлена статистически значимая разница ( $p < 0,05$ ) между медианами ПДП, воздушной кермы и времени рентгеноскопии при диагностической церебральной ангиографии и эндоваскулярными операциями (таблица 11).

**Таблица 11.** Значения величин дозовой нагрузки при церебральной ангиографии и эндоваскулярных операциях

Показатель	Всего		ЦАГ (n=82)		Операции (n=117)		p
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
ПДП (ДАР), Гр×см <sup>2</sup>	47,9 7	31,75- 73,90	39,15	26,37- 55,80	53,60	36,26- 89,37	<0,001*
КД (САК), мГр	707	407- 1271	461,5	399-667	895	605- 1541	<0,05*
Время рентгеноскопии, мин	9,30	5,30- 15,44	5,53	3,59-8,10	13,28	9,29- 20,16	<0,001*
Количество кадров, ед.	269	164-533	197	154-345	324	185- 595	0,151

Примечания: \* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), Me – медиана; Q1-Q3 – интерквартильный размах.

При сравнении дозиметрических величин в зависимости от распределения по полу в группе мужского пола наблюдается достоверное увеличение уровня ПДП ( $p=0,02$ ).

В таблице 12 представлены медианы и интерквартильный размах исследуемых дозиметрических величин при различных категориях лечебных вмешательств.

**Таблица 12.** Результаты дозиметрического контроля при проведении основных категорий эндоваскулярных операций, направленных на лечение ЦВЗ

Показатель	РЭО аневризмы	МТЭ	РЭО АВМ	Каротидное стентирование	Стентирование ПзВА
Количество процедур, n	53	12	5	36	11
ПДП (DAP), Гр×см <sup>2</sup> Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	53,55 (38,87-93,47)	112,69 (80,22-172,45)	127,37 (74,47-209,17)	39,86 (26,84-61,90)	50,24 (34,62-68,44)
Время рентгеноскопии, мин Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	15 (11,25-25,45)	18,45 (14,23-30,40)	24,50 (15,44-46,25)	9,08 (5,41-13,16)	9,47 (7,43-13,22)
КД (САК), мГр Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	1449 (895-1993)	2334 (1541-3127)	-	369,5 (339-400)	656 (440,5-739)
Кадры, ед. Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	511 (273-1175)	1756 (541-2972)	-	149 (132-166)	174 (140-255)

Примечание: Me – медиана; Q1-Q3 – интерквартильный размах.

При сравнении параметров дозовой нагрузки (метод Краскела-Уоллиса) наибольшие медианы ПДП, времени рентгеноскопии наблюдались при выполнении механической тромбэкстракции (112,69 Гр×см<sup>2</sup>; 18,45 мин) и эмболизации артерио-венозных мальформаций (127,37 Гр×см<sup>2</sup>; 24,50 мин) (таблицы 13, 14, рисунки 19, 20).

Наименьшие значения данных параметров определены при стентировании брахиоцефальных сосудов.

**Таблица 13.** Значение p-value при сравнении медиан ПДП между основными категориями эндоваскулярных вмешательств

Тип оперативного вмешательства	Эмболизация аневризмы	РЭО АВМ	МТЭ	Каротидное стентирование	Стентирование ПзВА
Эмболизация аневризмы	-	-	-	-	-
РЭО АВМ	0,091	-	-	-	-
МТЭ	0,17	0,843	-	-	-
Каротидное стентирование	0,007*	0,06	<0,001*	-	-
Стентирование ПзВА	0,192	0,025*	0,004*	0,667	-

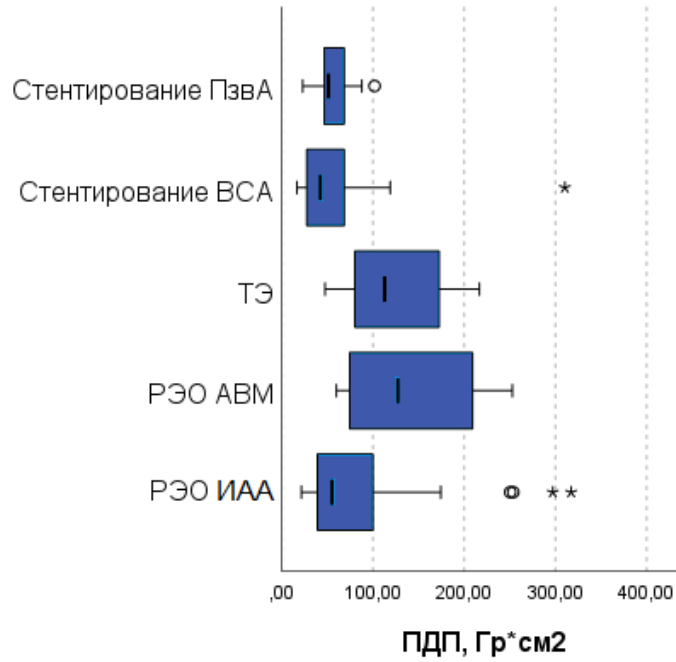
Примечание: \* - различия показателей статистически значимы (p<0,05)

**Таблица 14.** Значение p-value при сравнении медиан времени рентгеноскопии между основными типами вмешательств

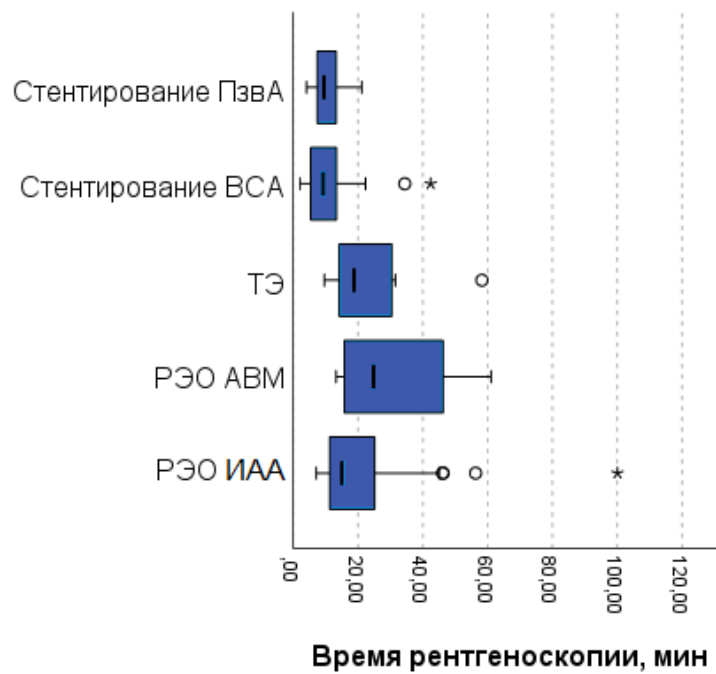
Тип оперативного вмешательства	РЭО аневризмы	РЭО АВМ	МТЭ	Каротидное стентирование	Стентирование ПзВА
РЭО аневризмы	-	-	-	-	-
РЭО АВМ	0,265	-	-	-	-
МТЭ	0,326	0,648	-	-	-
Каротидное стентирование	<0,001*	0,006*	<0,001*	-	-
Стентирование ПзВА	0,006*	0,011*	0,004*	0,894	-

Примечание: \* - различия показателей статистически значимы (p<0,05)





**Рисунок 19.** Сравнение значений ПДП при эндоваскулярных операциях



**Рисунок 20.** Сравнение значений времени рентгеноскопии при эндоваскулярных операциях

В результате проведённого исследования уровней радиационного воздействия на пациента установлено, что средние значения ПДП не превышают контрольных значений ПДП для предотвращения детерминированных поражений кожи, указанных в методических указаниях «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» [52]. Тем не менее в ходе дальнейшего анализа нами выявлены вмешательства, при которых наблюдались наиболее высокие значения ПДП в диапазоне от 335,34 до 364,67 Гр×см<sup>2</sup> (таблица 15). Далее выполнен расчёт МПДК с использованием формулы:

$$\text{МПДК} = \Phi \times K^s_d, \text{ мГр},$$
 где  $\Phi$  - измеренная величина ПДП, Гр·см<sup>2</sup>; - коэффициент перехода от измеренного значения ПДП к максимальной поглощенной дозе в коже пациента, мГр/(Гр×см<sup>2</sup>) [52].

**Таблица 15.** Значения ПДП и МПДК для рентгенхирургических операций

Тип вмешательства	ПДП, Гр×см <sup>2</sup>	МПДК, Гр
РЭО ИАА	340,02	2,04
РЭО ИАА	344,26	2,07
РЭО АВМ	364,67	2,19
МТЭ	342,22	2,05
Каротидное стентирование	335,34	2,01

Измеренное значение МПДК для 5 эндоваскулярных операций на сосудах головного мозга превысило пороговое значение поглощенной дозы для возникновения кожной эритемы в 2Гр, что составило 4,3% от 117 проанализированных операций и 2,5% от всех проанализированных на данном этапе рентгенохирургических вмешательств.

Установлены референтные диагностические уровни при проведении эндоваскулярных процедур у пациентов с ЦВЗ. В качестве РДУ были использованы

значения 75-ого перцентиля (третий квартиль, Q3) основных дозиметрических величин, взятые из таблиц 11 и 12. В таблице 16 представлены референтные диагностические уровни ПДП при в эндоваскулярных процедурах на сосудах головного мозга.

**Таблица 16.** Референтные диагностические уровни ПДП при в эндоваскулярных процедурах на сосудах головного мозга

Дозиметрическая величина	ЦАГ	РЭО аневризмы	МТЭ	РЭО АВМ	Стент ВСА	Стент ПЗВА
ПДП, Гр×см <sup>2</sup>	55,80	93,47	172,45	209,17	61,90	68,44
Время рентгеноскопии, мин	8,10	25,45	30,40	46,25	13,16	13,22

### **3.2. Влияние ангиографической проекции на дозы облучения при диагностических и лечебных вмешательствах у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга**

На фантомной модели определены ангиографические проекции с наиболее высокими и низкими значениями показателя ПДП/с (сГр×см<sup>2</sup>/с) для оценки облучения пациента и показателя мощности эквивалентной дозы (мЗв/ч), воздействующей на оператора, в зависимости от направления пучка рентгеновского излучения в режимах ДСА и рентгеноскопии. Результаты измерения значений ПДП/с представлены в таблице 17.

**Таблица 17.** Средние значения ПДП/с в режимах ДСА и рентгеноскопии при основных ангиографических проекциях

Переменная	Ангиографическая проекция и угол наклона рентгеновской трубки						p
	LAO 90°	LAO 30-45°	PA 0°	Cra 15-30°	RAO 30-45°	RAO 90°	
Средняя ПДП/с при ДСА, сГр×см <sup>2</sup> /с, М±SD	18,00±0,82	16,60±0,82	24,80±0,84	31,33±1,51	17,33±1,00	18,60±0,58	<0,001
Средняя ПДП/с при рентгеноскопии, сГр×см <sup>2</sup> /с, М±SD	1,65±0,03	1,80±0,03	2,00±0,04	2,33±0,06	1,86±0,03	1,66±0,06	

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция. Данные представлены средним значением (М) ± стандартным отклонением (SD).

Установлено, что в прямой проекции с краниальной ангуляцией определяется статистически значимое увеличение ( $p < 0,001$ ) значений ПДП/с в режиме ДСА (в среднем 31,3 сГр×см<sup>2</sup>/с) и в режиме рентгеноскопии (в среднем 2,33 сГр×см<sup>2</sup>/с) по сравнению с задне-передней (ДСА - 24,80±0,84 сГр×см<sup>2</sup>/с, рентгеноскопия - 2,00±0,04 сГр×см<sup>2</sup>/с) и другими проекциями. Наименьшее значение при ДСА – в правой и левой косых проекциях (17,33±1,00 сГр×см<sup>2</sup>/с и 16,60±0,82 сГр×см<sup>2</sup>/с, соответственно), при рентгеноскопии – в боковых проекциях (1,65±0,03 сГр×см<sup>2</sup>/с и 1,66±0,06 сГр×см<sup>2</sup>/с, соответственно).

При сравнении показателя ПДП/с в правой и левой косых проекциях, в правой и левой латеральных проекциях достоверная разница не обнаружена ( $p = 0,157$  и  $p = 0,981$ ). Сравнивая значения ПДП/с в латеральной и косой проекциях в режиме

рентгеноскопии, мы обнаружили достоверное увеличение ( $p=0,004$ ) уровня ПДП/с при изменении угла наклона рентгеновской трубки в направлении от латеральной проекции ( $90^\circ$ ) к прямой ( $0^\circ$ ).

При оценке рассеянного излучения с использованием фантома установлено, что наибольшая мощность эквивалентной дозы в режиме ДСА определяется в левой косой проекции на уровне головы ( $2,54$  мЗв/ч) и груди оператора ( $2,83$  мЗв/ч), а минимальная – в правой боковой проекции на уровнях головы ( $0,74$  мЗв/ч), груди ( $0,85$  мЗв/ч) и гонад ( $0,56$  мЗв/ч). Средняя мощность эквивалентной дозы от рассеянного излучения увеличивалась в 2 раза при изменении ангиографической проекции в LAO  $90^\circ$  по сравнению с прямой проекцией в положении рентгеновской трубки  $0$  градусов и 2,8 раз по сравнению с проекцией RAO  $90^\circ$  (таблица 18).

**Таблица 18.** Средние значения мощности эквивалентной дозы оператора в режиме ДСА при фантомном исследовании

Мощность эквивалентной дозы, мЗв/ч	Расположение дозиметра	Ангиографическая проекция и угол наклона рентгеновской трубки					
		LAO $90^\circ$	LAO 30-45°	PA $0^\circ$	Cr <sub>a</sub> 15-30°	RAO 30-45°	RAO $90^\circ$
	Голова	2,34	2,54	1,25	1,51	1,04	0,74
	Грудь	2,23	2,83	1,23	2,01	1,31	0,85
	Гонады	2,61	2,12	1,16	1,29	1,34	0,56
	Ноги	2,52	2,06	1,25	1,14	1,12	1,36
	M±SD	2,43±0,17	2,39±0,36	1,22±0,04	1,49±0,38	1,20±0,15	0,88±0,34

Примечание: LAO  $90^\circ$  - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA  $0^\circ$  - прямая проекция, Cr<sub>a</sub> 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO  $90^\circ$  - правая боковая проекция. M±SD – средняя ± стандартное отклонение. Зеленая ячейка – значения менее 0,99 мЗв/ч; желтая ячейка – значения в диапазоне 1,00-1,99 мЗв/ч; красная ячейка - значения в диапазоне 2,00-2,49; фиолетовая ячейка – значения свыше 2,5 мЗв/ч.

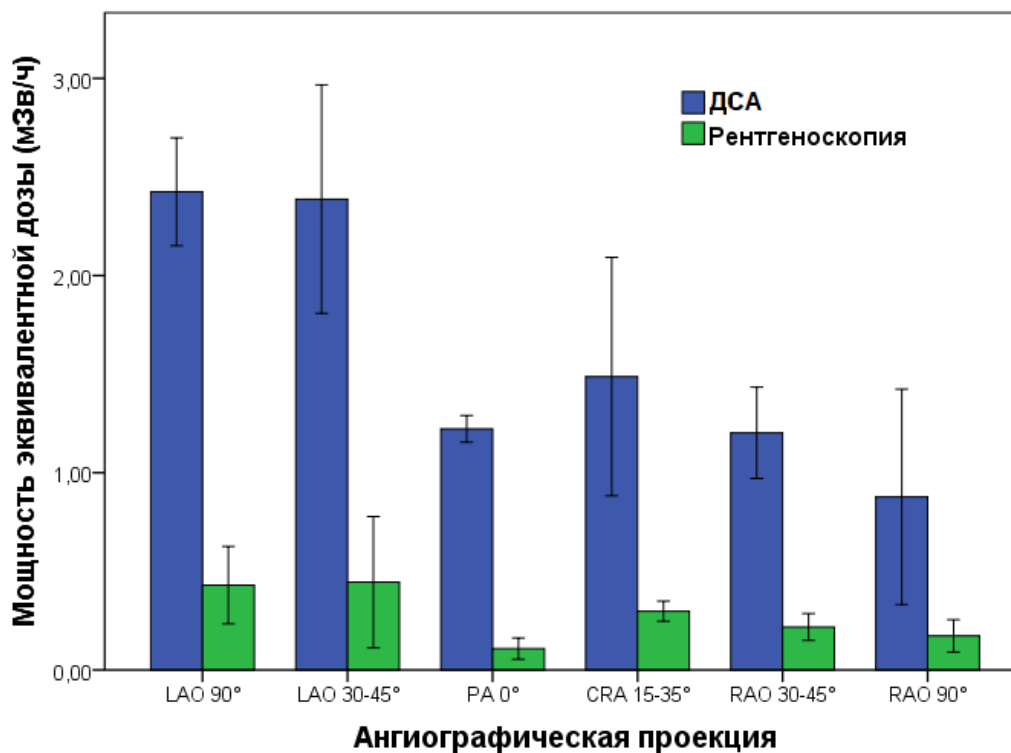
В режиме рентгеноскопии наибольшая мощность дозы определяется в левой косой проекции на уровне груди (0,65 мЗв/ч) и гонад оператора (0,60 мЗв/ч), а минимальная – на уровне гонад и нижних конечностей в прямой проекции (0,08 мЗв/ч). Средняя мощность дозы от рассеянного излучения в левых боковой и косой проекциях существенно не отличались, наблюдается рост значений мощности дозы до 4,1 раза при изменении ангиографической проекции в позицию LAO по сравнению с прямой проекцией (0°) и 2,7 раз по сравнению с проекцией RAO 90° (таблица 19).

**Таблица 19.** Средние значения мощности эквивалентной дозы оператора в режиме рентгеноскопии при фантомном исследовании

Мощность эквивалентной дозы, мЗв/ч	Расположение дозиметра	Ангиографическая проекция и угол наклона рентгеновской трубки					
		LAO 90°	LAO 30-45°	PA 0°	Cra 15-30°	RAO 30-45°	RAO 90°
	Голова	0,35	0,25	0,15	0,25	0,19	0,15
	Грудь	0,41	0,65	0,12	0,31	0,21	0,15
	Гонады	0,35	0,60	0,08	0,32	0,28	0,14
	Ноги	0,61	0,28	0,08	0,31	0,19	0,25
	M±SD	0,43±0,12	0,45±0,21	0,11±0,03	0,30±0,03	0,22±0,04	0,17±0,05

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция. M±SD – средняя ± стандартное отклонение. Светло-зелёная ячейка – значения менее 0,10 мЗв/ч, зелёная ячейка – значения в диапазоне 0,10-0,19 мЗв/ч; желтая ячейка – значения в диапазоне 0,20-0,34 мЗв/ч; красная ячейка - значения в диапазоне 0,20-0,34; фиолетовая ячейка – значения свыше 0,50 мЗв/ч.

Сравнение средних значений мощности эквивалентной дозы в основных ангиографических проекциях, полученных на фантомной модели, представлено на рисунке 21.



**Рисунок 21.** Сравнение средних мощности эквивалентной дозы, воздействующей на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях при фантомном исследовании.

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция.

Для удобства проведения дозиметрического исследования, а также исходя из того, что основную долю лучевой нагрузки при диагностической ангиографии составляет рентгенографическая съёмка, при проведении интервенций накопление доз облучения осуществляется преимущественно за счёт длительного использования рентгеноскопии [105], на следующем этапе нашей работы проведено измерение

мощности дозы в режиме ДСА при 12 последовательно проведённых ЦАГ и в режиме рентгеноскопии при 15 процедурах РЭО аневризмы артерий головного мозга с целью оценки влияния ангиографической проекции на уровень радиационного облучения оператора. Результаты дозиметрического исследования в режиме ДСА и рентгеноскопии представлены в таблицах 20, 21.

**Таблица 20.** Средние значения мощности эквивалентной дозы оператора в режиме ДСА при исследовании *in vivo* во время процедуры ЦАГ

Мощность эквивалентной дозы, мЗв/ч	Расположение дозиметра	Ангиографическая проекция и угол наклона рентгеновской трубки					
		LAO 90°	LAO 30-45°	PA 0°	Cra 15-30°	RAO 30-45°	RAO 90°
	Голова	2,31	1,92	1,30	1,10	1,32	1,42
	Грудь	2,33	2,03	0,95	1,51	1,45	1,31
	Гонады	3,32	3,56	1,12	1,22	1,04	1,63
	Ноги	3,22	3,41	0,94	1,30	1,05	1,41
	M±SD	2,80±0,55	2,73±0,86	1,08±0,16	1,28±0,17	1,22±0,20	1,44±0,14

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция. M±SD – средняя ± стандартное отклонение. Зеленая ячейка – значения менее 0,99 мЗв/ч; желтая ячейка – значения в диапазоне 1,00-1,99 мЗв/ч; красная ячейка - значения в диапазоне 2,00-2,49; фиолетовая ячейка – значения свыше 2,5 мЗв/ч.



**Таблица 21.** Средние значения мощности эквивалентной дозы оператора в режиме рентгеноскопии при исследовании *in vivo* во время эндоваскулярной операции на сосудах ГМ

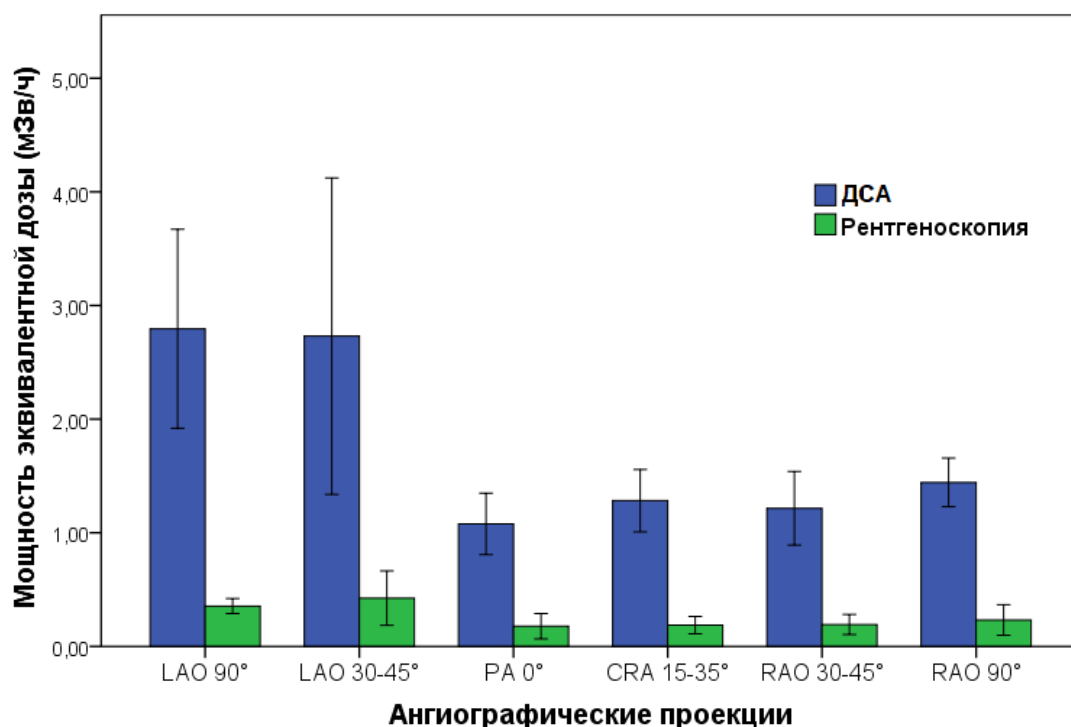
Мощность эквивалентной дозы, мЗв/ч	Расположение дозиметра	Ангиографическая проекция и угол наклона рентгеновской трубки					
		LAO 90°	LAO 30-45°	PA 0°	Cra 15-30°	RAO 30-45°	RAO 90°
	Голова	0,41	0,25	0,13	0,19	0,14	0,15
	Грудь	0,31	0,35	0,11	0,12	0,15	0,21
	Гонады	0,35	0,55	0,21	0,21	0,23	0,22
	Ноги	0,35	0,55	0,26	0,23	0,25	0,35
	M±SD	0,36±0,04	0,43±0,15	0,18±0,07	0,19±0,05	0,19±0,06	0,23±0,08

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция. M±SD – средняя ± стандартное отклонение. Зелёная ячейка – значения менее 0,19 мЗв/ч; желтая ячейка – значения в диапазоне 0,20-0,34 мЗв/ч; красная ячейка - значения в диапазоне 0,20-0,34; фиолетовая ячейка – значения свыше 0,50 мЗв/ч.

Сопоставляя данные дозиметрии на фантоме, при проведении церебральной ангиографии и эндоваскулярных операциях, мы не обнаружили значимых различий в мощности дозы по сравнению с фантомным исследованием ( $p < 0,05$ ). В режиме цифровой субтракционной ангиографии при выполнении ЦАГ наблюдаются наибольшие значения мощности дозы в левых боковой и косой проекциях на уровне гонад (3,3 мЗв/ч и 3,6 мЗв/ч, соответственно) и нижних конечностей оператора (3,2 мЗв/ч и 3,4 мЗв/ч, соответственно). Наибольшее значение мощности дозы при рентгеноскопии во время выполнения РЭО аневризмы интракраниальных артерий выявлены в левой косой проекции на уровне гонад (0,55 мЗв/ч) и нижних конечностей

оператора (0,55 мЗв/ч). При сравнительном анализе средних переменной мощности дозы рассеянного излучения во всех проекциях в рентгенографическом и рентгеноскопическом режимах выявлено статистически значимое повышение значений в проекциях LAO ( $p < 0,05$ ).

Сравнение результатов дозиметрического контроля в режиме ДСА и рентгеноскопии представлены в виде диаграммы (Рисунок 22).

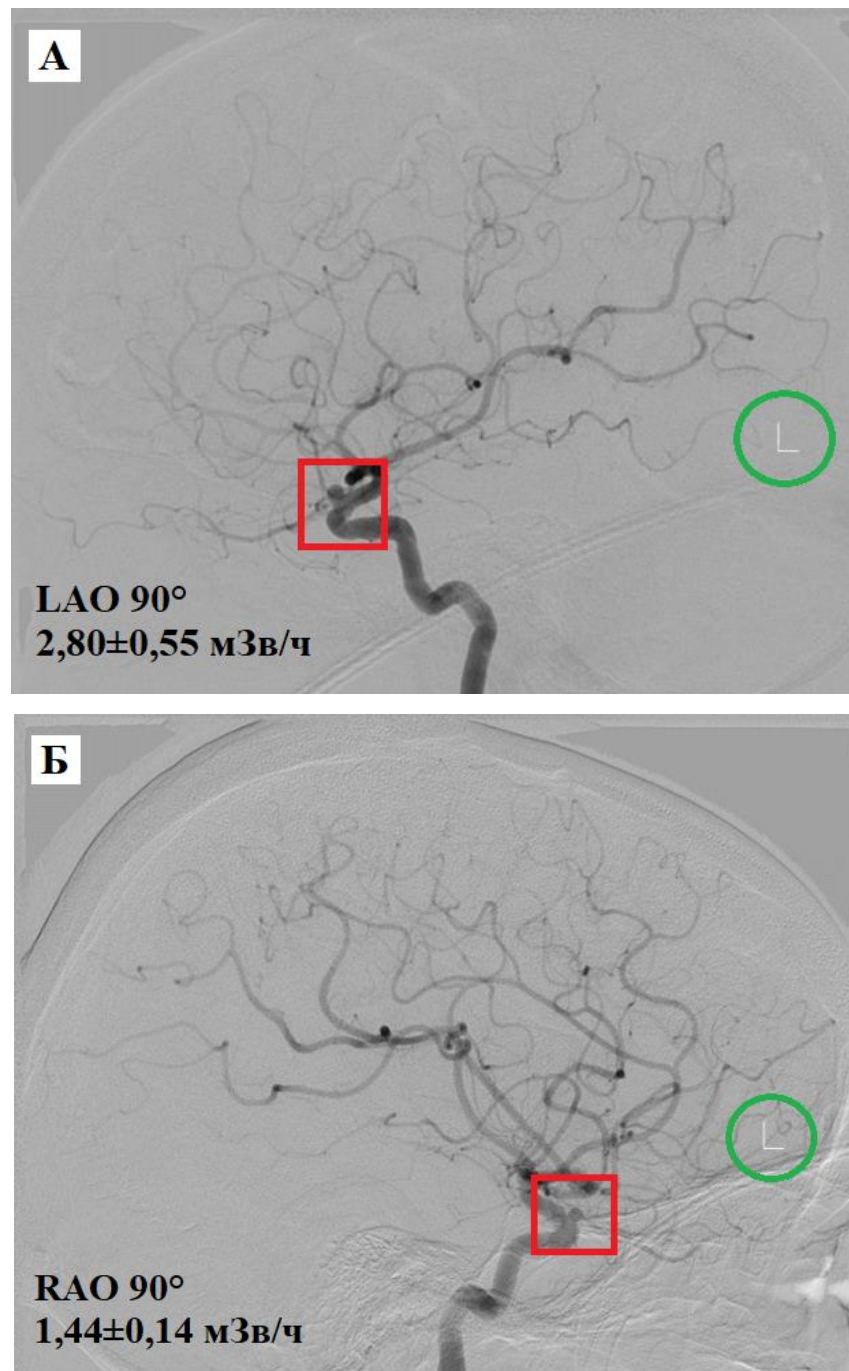


**Рисунок 22.** Сравнение средних мощности эквивалентной дозы, воздействующих на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях *in vivo* при РЭО аневризмы.

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO 30-45° - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra 15-30° - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO 30-45° - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция.

Мы определили, что при изменении положения рентгеновской трубки в проекции LAO в диапазоне 45-90° возможно увеличение воздействия рассеянного излучения на оператора по сравнению с прямой проекцией в режиме ДСА до 2,6 раз, при рентгеноскопии – до 2,4 раз. При сравнении средних уровней мощности дозы в проекциях LAO 90° и RAO 90° отмечается возрастание значений в левой боковой проекции до 1,5 раз. При сравнении правой и левой косых проекций наблюдается увеличение мощности дозы в LAO 35-40° до 2,3 раз.

На рисунке 23 представлены ангиограммы левой ВСА в проекциях LAO 90° и RAO 90°. На обеих ангиограммах можно визуализировать аневризму офтальмического сегмента без потери качества изображения, но в проекции RAO 90° уровень облучения оператора будет значимо ниже как при ДСА, так и в рентгеноскопическом режиме.



**Рисунок 23.** Ангиограммы правой и левой ВСА в боковой проекции. Примечание: А – ангиограмма левой внутренней сонной артерии в проекции LAO 90°, Б – ангиограмма левой внутренней сонной артерии в проекции RAO 90°. «Квадратом» обозначена аневризма офтальмического сегмента левой ВСА. «Кругом» представлена метка, обозначающая сторону исследуемой анатомической структуры для удобства проведения ЦАГ и последующей интерпретации данных (L – левая ВСА). В левом нижнем углу указана проекция и средняя мощность эквивалентной дозы рассеянного излучения, воздействующей на оператора, в режиме ДСА.

При сравнении данных дозиметрии на фантоме, при проведении церебральной ангиографии и рентгенэндоваскулярной эмболизации аневризмы головного мозга установлено, что во всех точках измерения мощность дозы значимо выше в левых боковой и косой ангиографических проекциях ( $p < 0,05$ ) и может достигать значений в 3,5 раза выше по сравнению с другими проекциями.

При сравнении режимов ДСА и рентгеноскопии выявлена статистически значимая разница по дозам облучения фантома, пациента и оператора ( $p < 0,001$ ).

Проведенное исследование на фантомной модели и *in vivo* дало основание полагать, что выполнение интервенционных процедур под контролем рентгеновского излучения при диагностике и лечении патологических изменений сосудов головного мозга в определенных проекция вносят существенный вклад в увеличение уровня лучевой нагрузки на пациента и оператора.

### **3.3. Влияние локализации и размера интракраниальной аневризмы на уровень лучевой нагрузки при рентгенэндоваскулярном лечении пациентов с аневризматической болезнью сосудов головного мозга**

Проанализированы значения ПДП ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), времени рентгеноскопии (мин), дозы облучения оператора ( $\text{мкЗв}$ ) при 87 процедурах РЭО аневризмы кавернозного и супраклиноидного отделов правой и левой ВСА, выполненных в плановом порядке с октября 2019 года по июнь 2021 года. Средний возраст пациентов составил  $52 \pm 13,3$  года. Характеристика пациентов представлена в таблице 22.

**Таблица 22.** Характеристика прооперированных пациентов

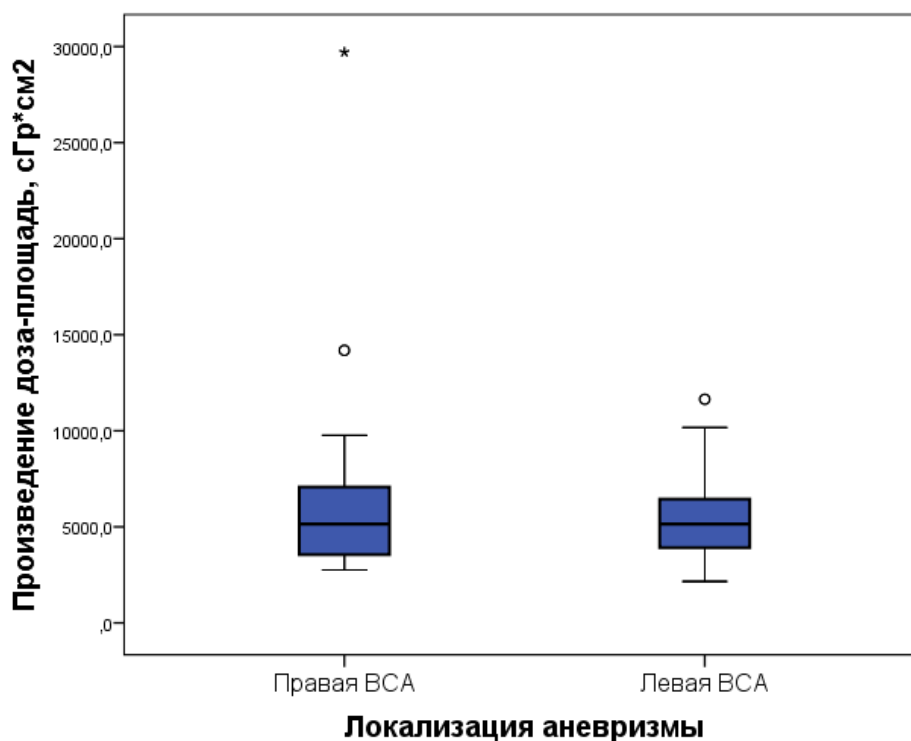
Переменная	Всего (n=87)	Правая ВСА (n=35)	Левая ВСА (n=52)	p
Возраст, М±SD (95% ДИ)	52±13,3 (49,9-55,5)	52±12,6 (47,9-56,6)	53±13,8 (49,2-56,9)	0,773
Пол:				
- мужской	27 (31,0)	10 (28,6)	17 (32,7)	0,684
- женский	60 (69,0)	25 (71,4)	35 (67,3)	
Размер аневризмы, n (%):				
- 4 мм	18 (20,7)	8 (22,9)	10 (19,2)	0,093
- 5-10 мм	57 (65,5)	19 (54,3)	38 (73,1)	
- 11 мм и более	12 (13,8)	8 (22,9)	4 (7,7)	
Тип операции, n (%):				
- РЭО спиралями	46 (52,9)	21 (60,0)	25 (48,1)	<0,05*
- РЭО с баллон- ассистенцией	4 (4,6)	2 (5,7)	2 (3,8)	
- РЭО со стент- ассистенцией	25 (28,7)	2 (5,7)	23 (44,3)	
- Имплантация поток- ремодулирующего стента	12 (13,8)	10 (28,6)	2 (3,8)	
Тип анестезии, n (%):				
- местная	83 (95,4)	33 (94,3)	50 (96,2)	0,683
- общая	4 (4,6)	2 (5,7)	2 (3,8)	
ПДП, Гр×см <sup>2</sup> Ме (Q1-Q3)	51,44 (36,89-69,52)	51,49 (35,57-70,76)	51,44 (39,16-64,79)	0,932
Время рентгеноскопии, мин Ме (Q1-Q3)	13,47 (10,53-17,48)	13,40 (10,18-15,46)	14,52 (11,20-22,43)	0,172

Доза оператора, мкЗв Ме (Q1-Q3)	31,3 (21,8-48,8)	21,8 (17,3-35,6)	40,0 (30,7-59,2)	0,04*
------------------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------

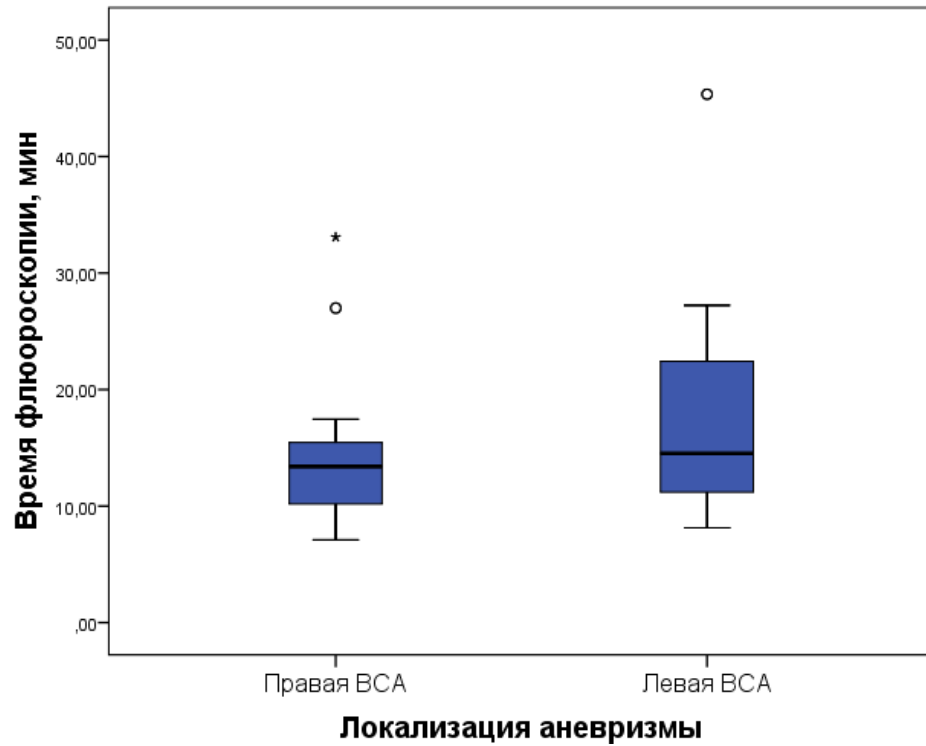
Примечание: \* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ). ВСА – внутренняя сонная артерия, ПДП – произведение доза-площадь.  $M \pm SD$  – средняя  $\pm$  стандартное отклонение, 95% ДИ - 95% доверительный интервал, Ме – медиана, Q1-Q3 – интерквартильный размах

Между группами сравнения не выявлено статистически значимых различий по возрасту, полу и размерам аневризмы ( $p > 0,05$ ). В структуре операций, выполняемых под местной анестезией, эмболизация с применением спиралей проведена 46 (52,9%) пациентам, эмболизация с имплантацией интракраниальных стентов – 25 (28,7%), имплантация поток-ремодулирующих стентов – 12 (13,8%), а РЭО аневризм с применением баллон-ассистенции – 4 (4,6%) случаев.

При сравнении полученных средних значений ПДП и времени рентгеноскопии не установлено значимых различий ( $p > 0,05$ ) между группами вмешательств на правой и левой ВСА (Рисунки 24, 25).



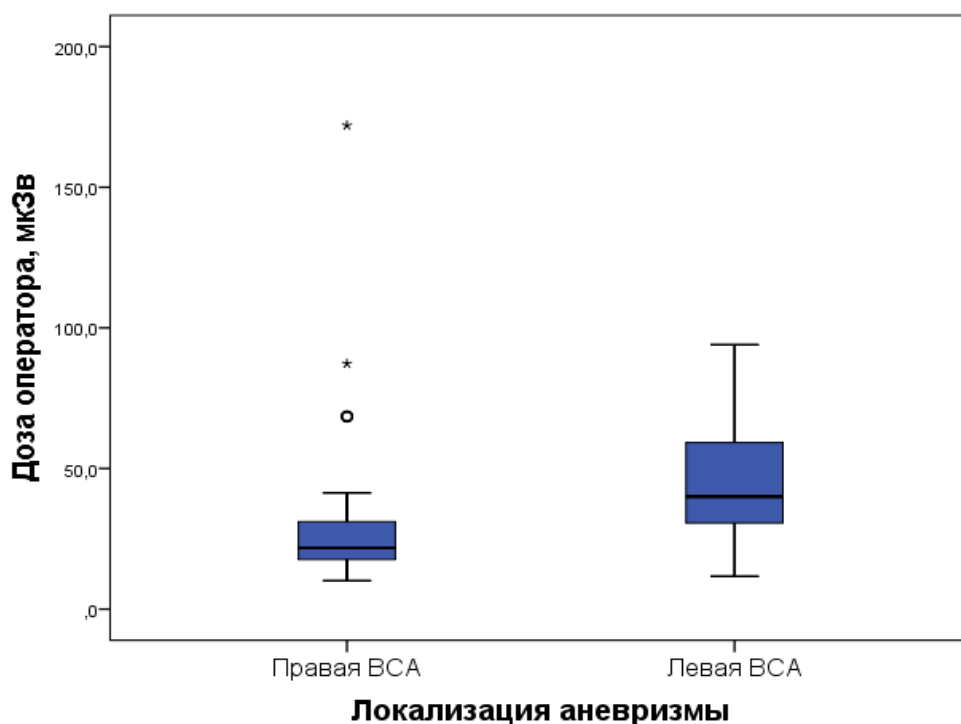
**Рисунок 24.** Сравнение уровней ПДП при РЭО аневризмы правой и левой ВСА



**Рисунок 25.** Сравнение значений времени рентгеноскопии при РЭО аневризмы правой и левой ВСА

Эквивалентная доза облучения оператора, медиана которой составляет 40 мкЗв за процедуру, в группе РЭО аневризмы левой ВСА достоверно выше ( $p=0,04$ ) (рисунок 26).





**Рисунок 26.** Сравнение значений дозы облучения оператора при РЭО аневризмы правой и левой ВСА

При вмешательствах на правой ВСА с помощью коэффициента корреляции Пирсона установлены статистически значимые, прямые корреляционные связи ПДП с временем рентгеноскопии ( $r_{xy}=0,660$ ;  $p<0,005$ ), дозой оператора ( $r_{xy}=0,625$ ;  $p<0,001$ ). Определена статистически значимая, прямая корреляционная связь накопленной дозы оператора и времени рентгеноскопии ( $r_{xy}=0,556$ ;  $p=0,001$ ). Выявленные связи имеют заметную тесноту по шкале Чеддока.

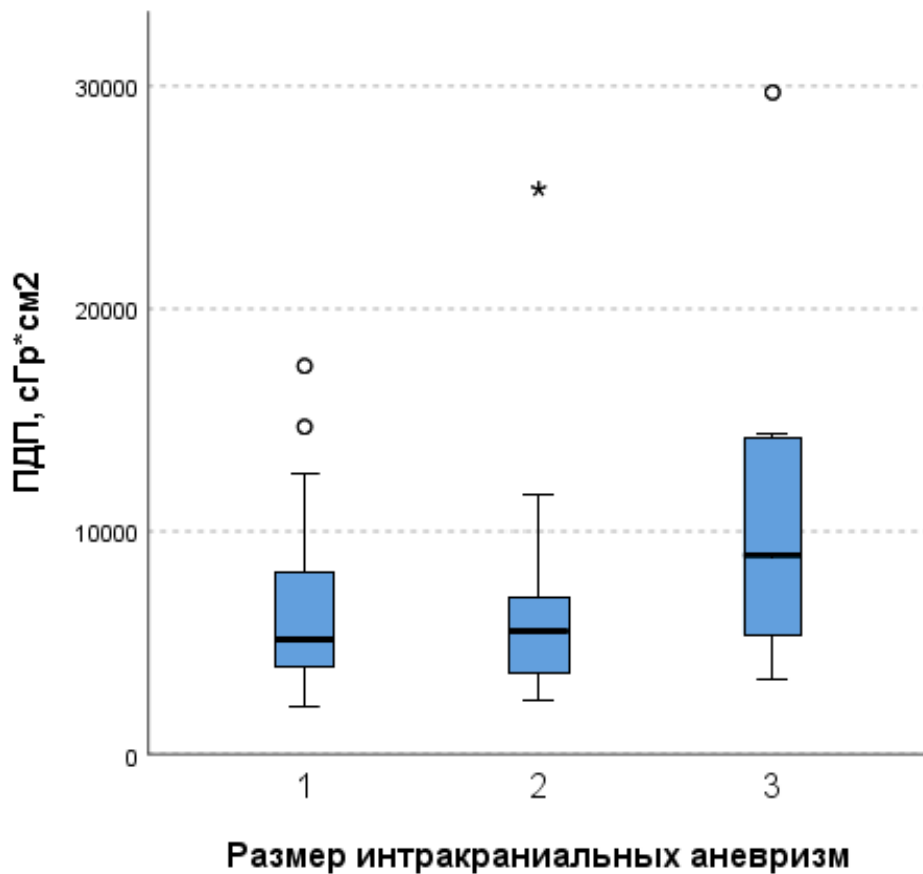
В группе операций на левой ВСА установлены заметные, статистически значимые, прямые корреляционные связи ПДП и времени рентгеноскопии ( $r_{xy}=0,557$ ;  $p<0,001$ ), дозы оператора и времени рентгеноскопии ( $r_{xy}=0,668$ ;  $p<0,001$ ), а также выявлена сильная статистически значимая, прямая корреляционная связь накопленной дозы оператора и ПДП ( $r_{xy}=0,702$ ;  $p<0,001$ ).

Для сравнения уровня лучевой нагрузки при эмболизации аневризмы в зависимости от размера интракраниальной аневризмы все процедуры были разделены

на 3 группы: 1-ая группа (n=18) – размер до 5 мм, 2-ая группа (n=57) – размер от 6 до 10 мм, 3-я группа (n=12) – размер более 11 мм.

При сравнении дозиметрических величин (ПДП, время рентгеноскопии, эквивалентные дозы оператора) методом Краскелла-Уоллиса определяется статистически значимое увеличение ПДП в группе пациентов, которым выполнялась РЭО ИАА размером более 11 мм ( $p < 0,05$ ).

На рисунке 27 представлены сравнения средних значений ПДП при эмболизации аневризм разного размера.



**Рисунок 27.** Сравнение медиан ПДП при РЭО аневризмы в зависимости от их размера.

Примечание: 1 – аневризмы размером до 5 мм, 2 – аневризмы размером от 6 мм до 10 мм, 3 – размер аневризмы размером более 11 мм.

### 3.4. Сравнительная оценка лучевой нагрузки при ассистирующих и неассистирующих методиках рентгенхирургического лечения аневризмы артерий головного мозга

В зависимости от использованной методики эмболизации все операции (87 пациентов) разделены на 4 группы: 1-ая группа - эмболизация с применением спиралей (n=46), 2-ая группа - эмболизация с имплантацией интракраниальных стентов (n=25), 3-ая группа - РЭО аневризм с применением баллон-ассистенции (n=4), 4 группа - имплантация поток-ремодулирующих стентов (n=12).

Технический успех составил 80,4% (успешная имплантация спиралей и/или стентов с тотальной или субтотальной окклюзией ИАА). По данным контрольной ЦАГ тотальная окклюзия ИАА достигнута в 51 (58,6%) случаях, субтотальная окклюзия – в 24 (21,8%) случаях, частичная окклюзия – в 17 (19,6%) случаях

Тотальная и субтотальная окклюзия наблюдалась в 41 (89,1%) случае эмболизации ИАА спиральями, в 25 (100%) случаях эмболизации с применением стент-ассистенции, в 4 (100%) случаях эмболизации с применением баллон-ассистенции. Во всех случаях имплантации поток-ремодулирующего стента наблюдался стаз контрастного вещества в полости аневризмы (таблица 23).

**Таблица 23.** Непосредственные результаты радикальности выключения ИАА из кровотока

Радикальность РЭО	Техника РЭО интракраниальной аневризмы				
	Спирали, n (%)	Спирали+стент, n (%)	Спирали+баллон, n (%)	Потоковый стент, n (%)	Всего, n (%)
Тотальная окклюзия, Raymond I	23 (50)	24 (96)	4 (100)	0	51 (58,6)

Субтотальная окклюзия, Raymond II	18 (39,1)	1 (4)	0	0	19 (21,8)
Частичная окклюзия, Raymond III	5 (10,9)	0	0	12 (100)	17 (19,6)
Всего	46 (100)	25 (100)	4 (100)	12 (100)	87 (100)

При сравнении медиан ПДП ( $p=0,179$ ), времени рентгеноскопии ( $p=0,064$ ) и дозы облучения оператора ( $p=0,058$ ) методом Краскелла-Уоллиса при разных методиках эмболизации аневризмы значимых различий не выявлено (Таблица 24).

**Таблица 24.** Сравнение дозиметрических величин при операционных техниках эмболизации интракраниальных аневризм

Переменная	Техника РЭО интракраниальной аневризмы								p
	Спирали (n=46)		Спирали+стент (n=25)		Спирали+баллон (n=4)		Потоковый стент (n=12)		
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
ПДП, Гр×см <sup>2</sup>	53,55	36,89-88,43	57,43	46,18-76,69	75,13	33,82-116,44	73,16	39,67-253,74	0,179
Время рентгеноскопии, мин	13,28	10,53-17,47	15,13	14,11-21,58	28,30	11,25-45,35	25,15	13,47-27,33	0,064
Доза оператора, мкЗв	30,5	21,4-49,8	45,3	38,1-66,2	50	20,0-87,0	59,3	31,1-68,7	0,058

Примечание: спирали - эмболизация с применением спиралей, спирали+стент - эмболизация с имплантацией интракраниальных стентов, спирали+баллон - РЭО аневризм с применением баллон-ассистенции, потоковый стент - имплантация поток-ремодулирующих стентов, Me – медиана, Q1-Q3 – интерквартильный размах.

На основании полученных результатов установлены РДУ радиационных доз пациента для разных техник эндоваскулярного лечения интракраниальных аневризм на основании третьего квартиля значений ПДП и времени рентгеноскопии (Таблица 25).

**Таблица 25.** Референтные диагностические уровни доз облучения пациента при операционных техниках эндоваскулярного лечения интракраниальных аневризм

Дозиметрическая величина	Спирали	Спирали+стент	Спирали+баллон	Потоковый стент
ПДП, Гр×см <sup>2</sup>	88,43	76,69	116,44	253,74
Время рентгеноскопии, мин	17,47	21,58	45,35	27,33

Примечание: спирали - эмболизация с применением спиралей, спирали+стент - эмболизация с имплантацией интракраниальных стентов, спирали+баллон - РЭО аневризм с применением баллон-ассистенции, потоковый стент - имплантация поток-ремодулирующих стентов.

### **3.5. Сравнительная оценка лучевой нагрузки при выполнении церебральной ангиографии трансфеморальным и трансрадиальным артериальными доступами у операторов различного опыта**

Проведено сравнение уровней лучевой нагрузки при процедурах церебральной ангиографии, выполненных трансрадиальным и трансфеморальным сосудистыми доступами, у 115 пациентов. Процедуры разделены на 2 группы: ТФД использован у 82 пациентов в возрасте 33-73 (50,2±3,91) лет, ТРД – у 33 пациентов в возрасте 26-67 (53,11±4,67) лет. В группе феморального доступа процедура осуществлялась через интродьюсер диаметром 5F, введенный в правую общую бедренную артерию. В группе радиального доступа - через 5F интродьюсер, введенный в правую лучевую

артерию. Полный протокол ЦАГ включал последовательную катетеризацию и ангиографию общей, внутренней и наружной сонных артерий с двух сторон, правой и левой позвоночных артерий в основных ангиографических проекциях. ЦАГ выполнялась 11 врачами по РЭДиЛ.

Для сравнительной оценки 2 групп учитывались возраст и пол пациентов, а также время рентгеноскопии (минуты), произведение дозы на площадь ( $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), кумулятивная доза (мГр), значения которых получены с консоли ангиографической установки. Также определена доза облучения оператора (мкЗв) с использованием прямопоказывающего дозиметра рентгеновского излучения ДКР-04М.

При анализе полученных данных методом Шапиро-Уилка установлено, что распределение значений времени процедуры, времени рентгеноскопии, ПДП, кумулятивной дозы и дозы оператора отличны от нормального. Статистический анализ данных проводился с использованием критерия Манна-Уитни.

Сравнение средних значений показателей лучевой нагрузки при выполнении ЦАГ трансфеморальным и трансрадиальным доступами представлены в таблице 26.

**Таблица 26.** Сравнение медиан величин лучевой нагрузки при выполнении ЦАГ трансфеморальным и трансрадиальным доступами

Переменная	ЦАГ				p
	ТФД (n=82)		ТРД (n=33)		
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
ПДП, $\text{Гр} \times \text{см}^2$	47,07	38,82-54,39	73,20	55,36-80,65	0,001*
Кумулятивная доза, мГр	325	274-388	697	508-768	<0,001*
Доза оператора, мкЗв	32,1	24,3-54,2	70	55-86,6	<0,001*
Время рентгеноскопии, мин	7,11	5,09-8,07	9,53	6,00-14,20	0,005*
Время процедуры, мин	15	14-18	24	23-26	<0,001*

Примечание: \* - различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ), Me – медиана, Q1-Q3 – интерквартильный размах.

Между 2 группами сравнения не выявлено статистически значимых различий по возрасту и полу ( $p > 0,05$ ).

При сравнении процедур ЦАГ, выполненных ТФД и ТРД, установлены статистически значимые различия по всем сравниваемым признакам.

При сравнении доз облучения пациентов мы установили, что ПДП и воздушная керма значимо выше в группе ТРД по сравнению с ТФД (73,20 Гр $\times$ см<sup>2</sup> против 47,07;  $p = 0,001$ ), (697 мГр против 325 мГр;  $p < 0,001$ ).

Доза облучения оператора так же была значимо выше в группе ТРД (медиана составила 70 мкЗв) по сравнению с группой ТФД, где медиана эквивалентной дозы облучения составила 32,1 мкЗв ( $p < 0,001$ ).

Время, затраченное на выполнение ЦАГ (24 мин), и время использования рентгеноскопического режима (9,53 мин) достоверно выше ( $p < 0,005$ ) в группе ТРД по сравнению с группой ТФД – 15 мин и 7,11 мин, соответственно.

В исследованиях из области интервенционной кардиологии, в которых проводились сравнения выполнения эндоваскулярных процедур трансрадиальным и трансфеморальным доступами, наблюдались противоречивые данные о полученных лучевых нагрузках и сообщалось, что на уровне радиационного воздействия при проведении вмешательств влияет опыт оператора [29].

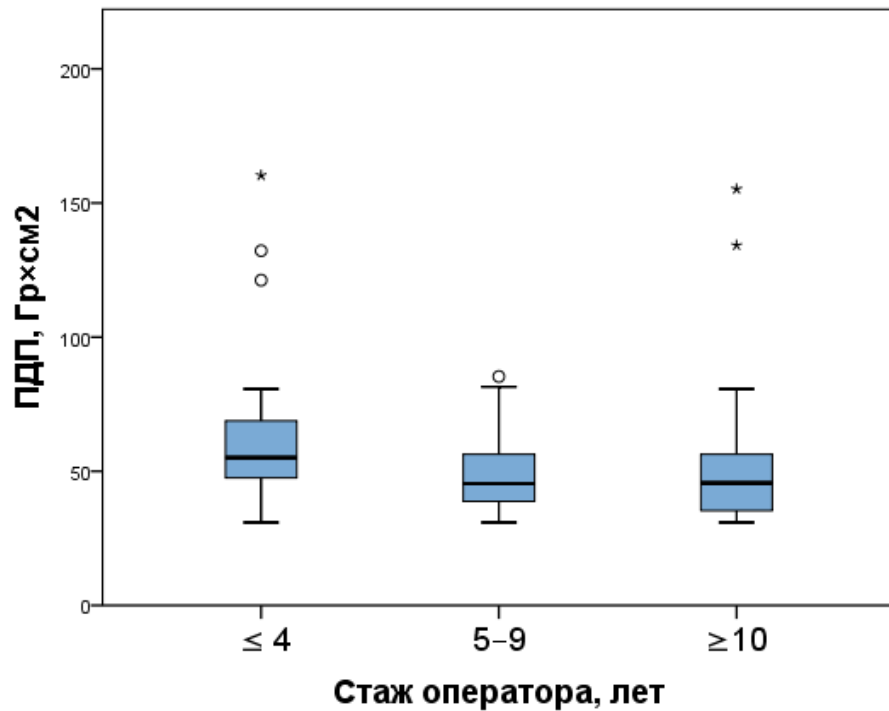
Данные обстоятельства побудили нас изучить влияние опыта оператора в эндоваскулярной хирургии на уровень лучевой нагрузки при проведении диагностической ЦАГ, выполненной ТРД и ТФД.

Для оценки влияния опыта выполнения эндоваскулярных вмешательств врачом по РЭДиЛ на уровень лучевой нагрузки все процедуры ЦАГ разделены на 3 группы в соответствии со стажем работы специалиста по специальности:

- 4) процедуры ( $n=44$ ), выполненные 2 операторами со стажем менее 4 лет,

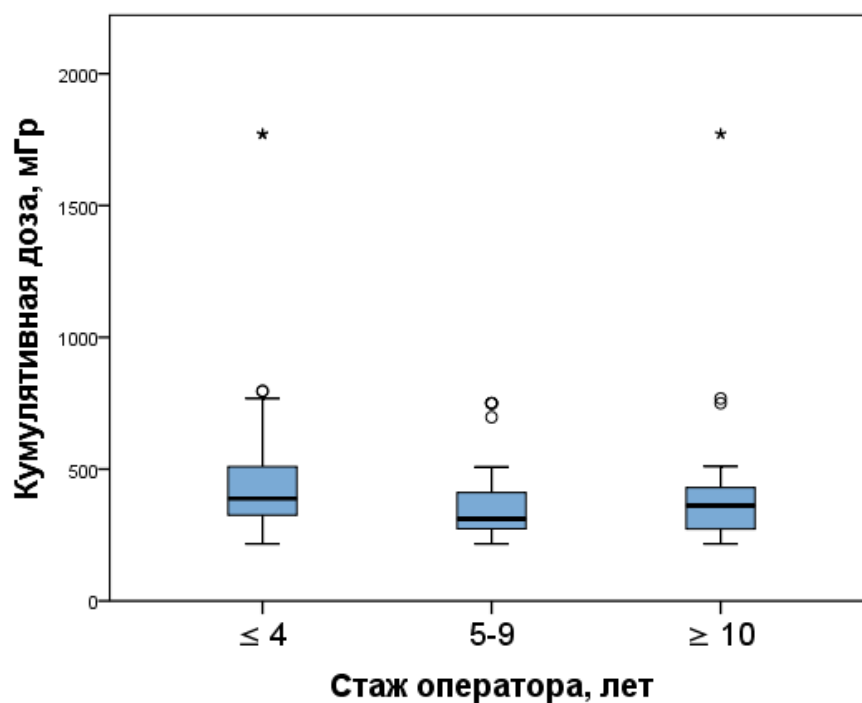
- 5) процедуры (n=41), выполненные 3 операторами со стажем от 5 до 9 лет,
- 6) процедуры (n=30), выполненные 6 операторами со стажем более 10 лет.

Учтены возраст пациентов, полученные значения ПДП, кермы воздуха, дозы облучения оператора и времени рентгеноскопии. Сравнение результатов измерения ПДП, воздушной кермы, дозы облучения оператора и времени рентгеноскопии представлены на рисунках 28-31.

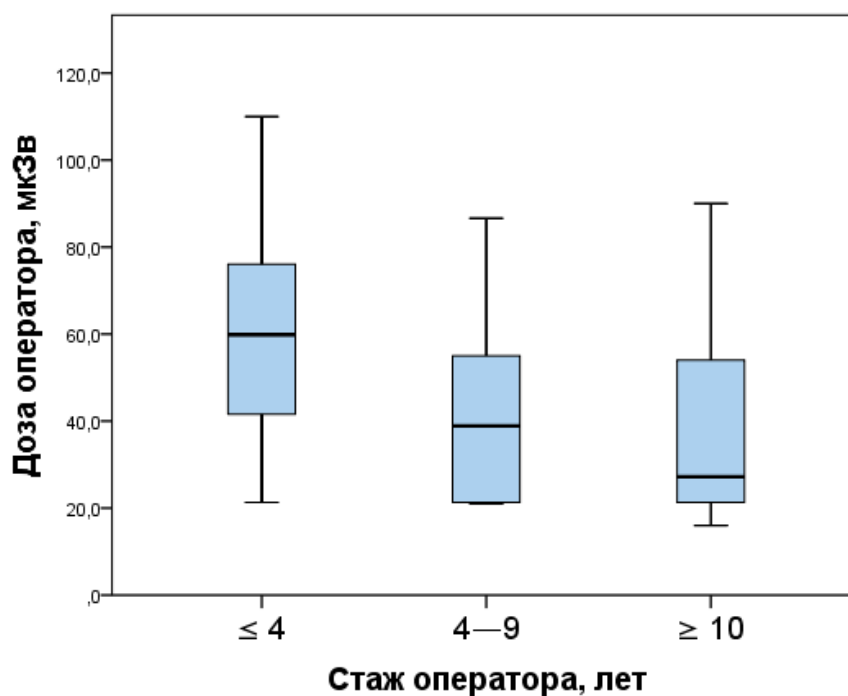


**Рисунок 28.** Сравнение значений ПДП при выполнении диагностической ЦАГ в зависимости от стажа работы

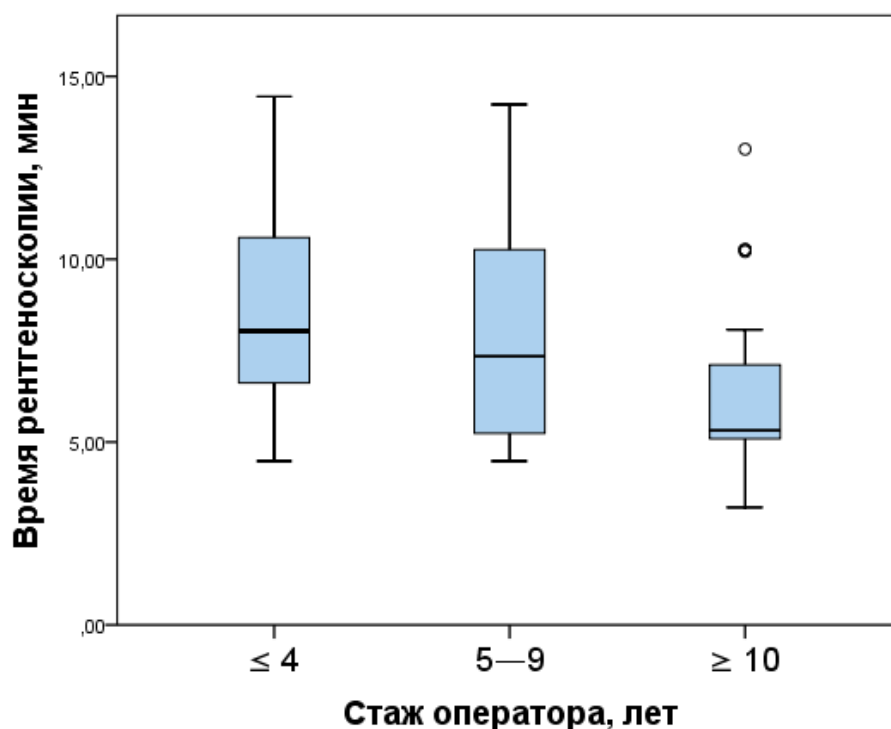




**Рисунок 29.** Сравнение значений воздушной кермы при выполнении диагностической ЦАГ в зависимости от стажа работы



**Рисунок 30.** Сравнение значений дозы облучения оператора при выполнении диагностической ЦАГ в зависимости от стажа работы



**Рисунок 31.** Сравнение значений времени рентгеноскопии при выполнении диагностической ЦАГ в зависимости от стажа работы.

Не установлено значимых различий между группами сравнения в зависимости от возраста пациентов ( $p=0,286$ ).

ПДП, КД и эквивалентная доза облучения оператора значительно возрастали в группе процедур, выполняемых операторами со стажем менее 4 лет, по сравнению с ЦАГ, выполняемыми более опытными специалистами ( $p=0,003$ ;  $p=0,03$  и  $p=0,001$ ; соответственно), при этом отмечается отсутствие статистической разницы между группами сравнения процедур, проведённых операторами со стажем от 5 лет и более ( $p>0,05$ ).

Наименьшая длительность рентгеноскопии была в группе процедур, выполняемых наиболее опытными специалистами, медиана составила 5 минут 32 секунды ( $p=0,007$ ). Между группами операторов со стажем менее 4 лет и от 5 до 9 лет не выявлено достоверных различий по длительности работы в режиме рентгеноскопии ( $p=0,573$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных процедур и их сравнение со значениями, рекомендованными регулирующими организациями (МАГАТЭ, Европейская комиссия по радиационной защите), является важным компонентом процесса оптимизации лучевой нагрузки и оптимального контроля радиационного облучения пациентов. Мировые литературные данные, посвященные вопросам изучения радиационных доз при эндоваскулярных вмешательствах, выполняемых на церебральных сосудах крайне ограничены. В данной работе проведен анализ уровней лучевой нагрузки как при диагностической церебральной ангиографии, так и при различных лечебных рентгенэндоваскулярных вмешательствах, выполняемых на сосудах головного мозга.

Одним из наиболее эффективных подходов для оптимизации радиационной защиты пациентов является установление и применение референтных диагностических уровней, позволяющих наглядно продемонстрировать, какими должны быть уровни облучения пациентов, и понять, можно ли достичь приемлемого качества изображения при более низких дозах. Однако установление эталонных значений является труднодостижимым процессом вследствие широкого распределения доз облучения даже при однотипных эндоваскулярных процедурах в условиях одного медицинского учреждения [49, 81, 105, 183].

В нашей работе мы определили медианы основных дозиметрических величин (произведение дозы на площадь, суммарное время рентгеноскопии, количество кадров рентгеновской съёмки), а в качестве референтного диагностического уровня использовали 75-ый перцентиль (третий квартиль, Q3) измеренных значений описанных величин при диагностической ЦАГ и эндоваскулярных операциях, включающих РЭО интракраниальных аневризм ВСА, каротидное стентирование, стентирование позвоночных артерий, механическую тромбоэкстракцию при ОИИ, РЭО АВМ.

Из-за большой индивидуальной вариабельности значений параметров лучевой нагрузки для получения достоверных показателей необходимо производить измерения при 10 и более процедурах одного типа для определения средних значений дозы [183]. По данным работ Vano E., Järvinen H., Kosunen A. et al. (2008), Ihn Y. K., Kim B.S., Yuun J. S. et al. (2016), для достижения достоверных результатов необходимо сравнение данных лучевой нагрузки при 50 и более процедурах одного типа в одном лечебном учреждении. В нашем исследовании наименьшее количество наблюдений было зафиксировано при процедурах эмболизации АВМ, а значения радиационных доз были наибольшими. Данный факт существенно препятствует интерпретации результатов при данном виде вмешательств и усложняет поиски путей оптимизации лучевой нагрузки. Для получения более достоверных данных о лучевой нагрузке при проведении эндоваскулярных операций требуется совместное исследование нескольких медицинских учреждений, выполняющих большой объем подобных вмешательств.

В нашем исследовании медианные значения ПДП, времени рентгеноскопии, воздушной кермы и количества кадров при проведении церебральной ангиографии составили 39,15 Гр×см<sup>2</sup> (26,37-55,80 Гр×см<sup>2</sup>); 461,5 мГр (399-667 мГр); 5,53 мин (3,59-8,10 мин) и 197 ед. (154-345 ед.), соответственно. В работе Ihn Y. K., Kim B.S., Yuun J. S. et al. (2016) данные параметры были значимо выше и составляли 106,2 ± 66,4 Гр×см<sup>2</sup>, 9,7 ± 6,5 мин, 697,1 ± 473,7 мГр, 241,5 ± 116,6 кадров. В других работах последних лет Hassan A.E., Amelot S. (2017), Lukic S., Rasulic L., Kovacevic V. et al. (2019) так же наблюдаются более высокие показатели ПДП, однако время рентгеноскопии – ниже. Стоит отметить, что в данных работах рентгенхирургические вмешательства выполнялись на биплановых ангиографических системах, что, вероятнее всего, приводило к увеличению уровня облучения пациентов.

По данным литературы, крайне актуальными являются исследования лучевых нагрузок при рентгенэндоваскулярных вмешательствах, выполняемых при остром ишемическом инсульте. Сравнивая полученные нами данные с результатами Hassan

A.E., Amelot S. (2017), Farah J., Rouchaud A., Henry T. et al. (2019), A. Klepanec, D. Salat, J. Harsany et al. (2020), в нашей работе мы отметили более высокие показатели уровня дозы облучения пациентов и времени рентгеноскопии. Высокие значения параметров лучевой нагрузки в нашем исследовании, вероятно, связаны с преимущественным выполнением механической тромбэктомии под местной анестезией, что увеличивало длительность рентгеноскопии и самой процедуры в целом.

В нашей работе мы исследовали влияние на лучевую нагрузку факторов, связанных с особенностями проведения эндоваскулярных вмешательств и анатомическими особенностями сосудистых поражений головного мозга.

Мы установили, что эмболизация интракраниальных аневризм размером более 11 мм достоверно ассоциируется с увеличением лучевой нагрузки на пациента по сравнению с аневризмами меньшего размера.

Также нами изучены радиационные дозы и установлены РДУ ПДП и времени рентгеноскопии для операций по эндоваскулярному лечению интракраниальной аневризмы ВСА в зависимости от выбранной операционной техники: эмболизации спиралями, эмболизации с применением спиралей и интракраниального стента, эмболизации с баллон-ассистенцией, имплантации поток-ремоделирующего стента. РДУ ПДП составил 88,43 Гр×см<sup>2</sup> для РЭО спиралями, 76,69 Гр×см<sup>2</sup> – для РЭО спиралями и имплантацией интракраниального стента, 116,44 Гр×см<sup>2</sup> – РЭО спиралями в сочетании с баллон-ассистенцией и 253,74 Гр×см<sup>2</sup>– имплантация поток-ремоделирующего стента. В рамках нашего исследования не выявлено достоверных различий между техниками эмболизации аневризмы с позиции радиационной безопасности, что согласуется с результатами исследования Forbrig R., Ozreynirci Y., Grasser M. et al. (2020). Однако наши результаты продемонстрировали более низкие значения доз облучения пациента.

Ранее опубликованные работы Kuon E., Dahm J. B., Empen K. et al. (2004), Agarwal S., Parashar A., Bajaj N.S. et al. (2014), Varghese A., Livingstone R. S., Varghese

L. et al. (2016) показали, что при коронарной ангиографии и чрескожных коронарных вмешательствах на уровень лучевой нагрузки влияет изменение угла наклона рентгеновской трубки в разных плоскостях. В нашей работе проведена комплексная оценка влияния основных проекций черепа, используемых для выполнения церебральной ангиографии и нейроинтервенций, на уровень облучения пациента и эндоваскулярного хирурга.

По данным Chun C. W., Kim B.S., Lee C. H. et al. (2014), основной вклад в общую дозу облучения при диагностической ангиографии преимущественно вносит рентгеновская съёмка, при интервенциях – длительная рентгеноскопия. В нашем исследовании мы определили, что мощность дозы при ДСА была существенно выше мощности дозы при рентгеноскопии, однако мы не оценивали вклад выбранного режима работы ангиографической системы в лучевую нагрузку.

В экспериментальном дозиметрическом исследовании фантом получил наибольшие дозы облучения во фронтальной проекции с краниальным углом наклона при изучаемых режимах работы ангиографической системы (ДСА, рентгеноскопия). Измерения *in vivo* не проводились вследствие трудной фиксации значений мощности дозы (ПДП/время) при проведении реальных процедур. Наблюдается небольшое, но статистически значимое увеличение значений ПДП/с в краниальной проекции в режиме ДСА на 14% по сравнению с базовой прямой проекцией, при рентгеноскопии – на 20%. Прямая проекция открывает вид на заднюю черепную ямку во фронтальной плоскости, при этом оператор выбирает угол наклона рентгеновской трубки в зависимости от расположения края глазницы относительно каменистых отделов височных костей с целью оптимальной визуализации области интереса. Возрастание ПДП/с может быть объяснимо наибольшей толщиной тканей в проекции пучка рентгеновского излучения в приведённой проекции визуализации, что приводит к автоматическому изменению параметров ангиографической системы для обеспечения качественного изображения. Наши результаты согласуются с результатами Song Y., Kim Y., Han S. et al. (2019), в работе которых был проведён анализ доз облучения

фантома и пациентов при ЦАГ во фронтальной плоскости в зависимости от изменения кранио-каудального угла рентгеновской трубки.

При изменении угла рентгеновской трубки в латеральном направлении до  $45^\circ$  наблюдается статистически значимое снижение дозы облучения фантома на 10%, при изменении угла до  $90^\circ$  - на 17%. При рентгенографической съёмке достоверная разница между дозами облучения фантома в косой и боковой проекциях нами не обнаружена.

Сопоставляя данные доз профессионального облучения при использовании фантома и во время проведения церебральной ангиографии и эндоваскулярных операций, мы не обнаружили достоверных различий в средних значениях мощности эквивалентной дозы. При оценке рассеянного излучения от фантома и пациента, мы выявили, что специалист по РЭДиЛ получает наибольшие дозы облучения в левых боковой и косой проекциях. В данных проекциях рентгеновская трубка располагается справа от пациента и максимально близко к оператору. Мы определили, что при изменении положения рентгеновской трубки в проекции LAO в диапазоне  $45-90^\circ$  возможно увеличение воздействия рассеянного излучения на оператора по сравнению с прямой проекцией в режиме ДСА до 2,6 раз, при рентгеноскопии – до 2,4 раз. При сравнении средних уровней мощности дозы в проекциях LAO  $90^\circ$  и RAO  $90^\circ$  отмечается возрастание значений в левой боковой проекции до 1,5 раз. При сравнении правой и левой косых проекций наблюдается увеличение мощности дозы в LAO  $35-40^\circ$  до 2,3 раз.

В исследовании Tarighatnia A., Mohammadalian A., Ghojazade M. et al. (2017) при коронарной ангиографии проекции LAO так же ассоциировались с более высокой дозой облучения оператора, но при использовании трансрадиального доступа. При этом в той же работе сообщается, что наибольшая доза оператора определяется в краниальных проекциях, что не согласуется с результатами нашего исследования. Вероятнее всего, по нескольким причинам, связанным с особенностями проведения кардиологических инвазивных процедур, к примеру, использование других

ангуляций, зоны облучения, расположение оператора по отношению к рентгеновской трубке и т.д.

Результаты серии измерений мощности дозы позволили выдвинуть гипотезу о том, что использование левых проекций вносит наибольший вклад в лучевую нагрузку оператора по сравнению с правыми проекциями. В нашей работе мы выявили статистически значимое увеличение дозы облучения оператора при вмешательствах на левой внутренней сонной артерии в кавернозном и супраклиноидном отделах, которое, вероятнее всего, обусловлено выполнением эндоваскулярного вмешательства преимущественно в проекциях LAO.

При сравнении значений ПДП в группах выполненных операций на левой ВСА и правой ВСА не выявлено статистически значимых различий, однако определены статистически значимые корреляционные связи дозы облучения оператора с ПДП, временем рентгеноскопии, ПДП и времени рентгеноскопии. Таким образом, при выполнении рентгенхирургических вмешательств при сосудистой патологии головного мозга следует прибегать к методам оптимизации доз облучения пациентов для соответствующего снижения профессионального облучения, а также выбирать ангиографические проекции с одинаковой диагностической ценностью, но с меньшей лучевой нагрузкой на врача по РЭДиЛ.

В современной эндоваскулярной хирургии наблюдается тенденция к переходу на преимущественное использование ТРД при выполнении диагностических и лечебных процедур, что объясняется заметным снижением частоты местных осложнений доступа, отсутствием длительной иммобилизации пациента, снижением длительности госпитализации пациента и т.д. Наиболее ярким примером демонстрации данной тенденции является проведение диагностических и лечебных рентгенэндоваскулярных вмешательств при коронарной патологии.

Согласно ряду исследований, использование ТРД по сравнению с ТФД ассоциировано с увеличением лучевой нагрузки на пациентов и медицинский персонал при выполнении КАГ и ЧКВ. Однако имеются данные о сопоставимых дозах



облучения при накоплении опыта проведения вмешательств трансрадиальным способом.

В нашем исследовании так же определено значимое увеличение лучевой нагрузки и длительности процедуры ЦАГ, выполняемой через ЛА, что связано, по нашему мнению, с технической сложностью селективной катетеризации ВСА, НСА и ПзВА, отсутствием специализированных катетеров для лучевого доступа, относительно небольшим опытом проведения трансрадиальной ЦАГ. Мы показали, что накопление стажа в эндоваскулярной хирургии играет важную роль в оптимизации лучевой нагрузки при осуществлении процедуры церебральной ангиографии, и, возможно, с увеличением опыта специалистов радиационное воздействие при трансрадиальных вмешательствах на сосудах ГМ станет сопоставимо или даже ниже по сравнению с вмешательствами, выполняемыми трансфеморальным доступом.

## ВЫВОДЫ

1. Референтный диагностический уровень произведения дозы на площадь для церебральной ангиографии составил 55,80 Гр×см<sup>2</sup>; для эмболизации интракраниальной аневризмы внутренней сонной артерии - 93,47 Гр×см<sup>2</sup>; для механической тромбэкстракции из церебральных артерий - 172,45 Гр×см<sup>2</sup>; для эмболизации артерио-венозной мальформации – 209,17 Гр×см<sup>2</sup>; для стентирования сонных артерий – 61,90 Гр×см<sup>2</sup>; для стентирования позвоночных артерий – 68,44 Гр×см<sup>2</sup>. Доля рентгенэндовакскулярных вмешательств, превышающих порог возникновения детерминированных эффектов свыше 2 Грей, составила 3%.

2. Мужской пол пациента, визуализация аневризмы головного мозга в левых боковой и косой ангиографических проекциях эндоваккулярная эмболизация аневризмы в бассейне левой внутренней сонной артерии и размером более 11 мм, стаж рентгенохирурга ≤ 4 лет являются факторами, способствующими увеличению лучевой нагрузки (p<0,05).

3. При выполнении церебральной ангиографии трансрадиальным доступом наблюдается увеличение лучевой нагрузки на рентгенохирурга в 3,5 раза (p<0,001), на пациента в 1,6 раза (p<0,001), увеличение длительности процедуры на 37,5% (p<0,001) и времени работы в рентгеноскопическом режиме на 25,4% (p=0,005).

4. Выбор методики эмболизации аневризмы не влияет на уровень радиационного воздействия на пациента (p=0,179) и рентгенохирурга (p=0,058), не приводит к увеличению длительности выполнения операции под рентгеноскопическим контролем (p=0,064).

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для повышения качества и радиационной безопасности проведения рентгенхирургических процедур целесообразно не превышать установленные референтные диагностические уровни.

2. Для снижения лучевой нагрузки на рентгенохирурга при выполнении нейроинтервенционных процедур рекомендуется избегать использования левых боковой и косой ангиографической проекций.

3. При рентгенэндоваскулярной эмболизации аневризмы головного мозга размерами свыше 11 мм и локализацией в бассейне левой внутренней сонной артерии целесообразно прибегать к известным доступным методикам снижения лучевой нагрузки (использование низкодозных режимов работы ангиографической системы, снижение длительности рентгеноскопии, уменьшение количества рентгенографической съёмки и др).

4. Для снижения доз облучения пациента и персонала, сокращения времени работы в рентгеноскопическом режиме проведение эндоваскулярных вмешательств на сосудах головного мозга рекомендуется через бедренный артериальный доступ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агафонов К.И. Анализ летальности больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения в Смоленской области за 2015-2016 гг / Агафонов К.И., Трясунова М.А., Маслова Н.Н. // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 33-37.
2. Агафонов К.И. Экономические аспекты лечения больных с острым нарушением мозгового кровообращения / К.И. Агафонов, М.А. Трясунова, О.А. Горбатенко и др. // Смоленский медицинский альманах. – 2016. – № 1. – С. 11-15.
3. Аكوпова Н.А. Радиационная безопасность пациентов при проведении рентгенологических процедур: учебная лекция / Н.А. Аكوпова, Е.П. Ермолина // ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования». – М.: ГБОУ ДПО РМАПО. – 2016. – 54 с.
4. Алдатов Р.Х. Нейровизуализация острого ишемического инсульта: современное состояние / Р.Х. Алдатов, Г.Е. Труфанов, В.А. Фокин // Трансляционная медицина. – 2019. – Т. 6. – № 2. – С. 12-17.
5. Алексахин Р.М. Дозы облучения человека и биоты в современном мире: состояние и некоторые актуальные проблемы/ Р.М. Алексахин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2009. - N 4. – С. 25-32.
6. Алексеев А. Г. Начальный опыт лечения больных с разорвавшимися артериальными аневризмами головного мозга / А.Г. Алексеев, М.Ю. Володюхин, В.И. Данилов и др. // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т. 89. – № 6. – С. 777-780.
7. Алесян Б.Г. Рентгенэндоваскулярная диагностика и лечение заболеваний сердца и сосудов в Российской Федерации – 2022 год / Б.Г. Алесян, А.М. Григорьян, А.В. Стаферов и др. // Эндоваскулярная хирургия. – 2023. – Т. 10 – С. 5–256.
8. Бабичев К.Н. Анализ применения трансрадиального внутрисосудистого доступа в нейрохирургической практике / К.Н. Бабичев, Д.В. Кандыба, Д.В. Свистов и др. // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2022. – Т. 86. – № 1. – С. 28-38.

9. Бабичев К.Н. Целенаправленная эмболизация артериовенозных мальформаций головного мозга / К.Н. Бабичев, Д.В. Кандыба, А.В. Савелло и др. // Эндovasкулярная хирургия. – 2018. – Т. 5. – № 1. – С. 20-29.

10. Бабунашвили А.М. Реканализация поздней окклюзии лучевой артерии после трансрадиальных интервенционных процедур: новая техника для интервенционных кардиологов, практикующих лучевой доступ / А.М. Бабунашвили, Д.П. Дундуа, Д.С. Карташов и др. // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. – 2011. – № 24. – С. 15-16.

11. Бабунашвили А.М. Руководство по применению лучевого доступа в интервенционной ангиокардиологии. Лучшая клиническая практика для трансрадиальных эндоваскулярных вмешательств / А.М. Бабунашвили, Д.С. Карташов. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2017. – 176 с.

12. Бабунашвили А.М. Реканализация поздней окклюзии лучевой артерии после трансрадиальных интервенционных процедур: новая техника для интервенционных кардиологов, практикующих лучевой доступ / А.М. Бабунашвили, Д.П. Дундуа, Д.С. Карташов // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. – 2013. – № 35. – С. 22а.

13. Балонов М.И. Научные основы радиационной защиты в современной медицине, Том 1. Лучевая диагностика / М.И. Балонов, В.Ю. Голиков, А.В. Водоватов, Л.А. и соавторы // – СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. – Т. 1. – 320 с.

14. Балонов М.И. Современные уровни медицинского облучения в России / М.И. Балонов, В.Ю. Голиков, И.А. Звонова и др. // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8. – № 3. – С. 67 – 79

15. Бокерия Л.А. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий / Л.А. Бокерия, А.В. Покровский, Г.Ю. Сокуренок // – М., 2013. – 13 с.

16. Бокерия Л.А. Руководство по рентгеноэндоваскулярной хирургии сердца и сосудов в 3 томах. / Л.А. Бокерия, Б.Г. Алесян // М.: Издательство НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН., 2008. – С. 135-205.
17. Болوماتов Н.В. Преимущества церебральной ангиографии при диагностике цереброваскулярной патологии / Н.В. Болوماتов, В.В. Германович, А.Г. Виллер // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. – 2013. – № 4. – С. 83-89.
18. Болوماتов Н. В. Рентгенэндоваскулярные методы диагностики и лечения цереброваскулярной патологии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.26 / Болوماتов Николай Владимирович; - Москва, 2014г. – 46 с.
19. Булдаков Л.А. Радиоактивное воздействие на организм – положительные эффекты / Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова. – М.: Информ-Атом, 2005. – 246 с.
20. Булдаков Л.А. Радиоактивное излучение и здоровье / Л.А. Булдаков, В.С. Калистратова. – М.: Информ-Атом, 2003. – 165 с.
21. Водоватов А.В. Разработка и внедрение системы референтных диагностических уровней в рентгенологии / А.В. Водоватов // Здоровье населения и среда обитания. – 2012. – № 9. – С. 25-27.
22. Войцеховский Д.В. Ишемические осложнения операций по поводу внутричерепных аневризм и их связь с динамикой высших психических функций / Д. В. Войцеховский, Д. В. Свистов, И. С. Железняк и др. // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2019. – № 2(66). – С. 32-36.
23. Галеева Г.З. Воздействие ионизирующего излучения на человека и орган зрения / Г. З. Галеева, С.А. Рыжкин, С.Ю. Сергеева // Практическая медицина. – 2016. – № 7(99). – С. 37-41.
24. Галстян М.А. Лучевые поражения при применении эндоваскулярной хирургии / М.А. Галстян Н.М. Надежина, Н.М. Борисов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59. – № 2. – С. 23-29.

25. Галстян М.А. Местные лучевые поражения как осложнения медицинского облучения/ М.А. Галстян, Н.М. Надежина // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2012. – Т. 57. – № 5. – С. 31-36. 25.

26. Голивец Т.П. Актуальные аспекты радиационного канцерогенеза: проблема оценки эффектов воздействия «Малых» доз ионизирующего излучения. Аналитический обзор / Голивец Т.П., Коваленко Б.С., Волков Д.В. // Актуальные проблемы медицины. – 2012. – Т. 19. – № 16 (135). – С. 5-13.

27. Дружинина Ю.В. Разработка и применение референсных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух, А.В. Водоватов и др. // Медицинская Физика. – 2022. – № 1 (93). – С. 81-96.

28. Екидин А. А. Современные технологии управления воздействием на окружающую среду как инструмент соблюдения принципа ALARA / А.А. Екидин, А.В. Васильев, М.Е. Васянович // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 2 (18). – С. 67-74.

29. Жамгырчиев Ш.Т. Трансрадиальный доступ при чрескожных коронарных вмешательствах. Часть 1. Доказательная база использования трансрадиального доступа / Ш.Т. Жамгырчиев, А.Н. Самко, Е.В. Меркулов и др. // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2014. – № 1. – С. 56-62.

30. Зайцев Д.Е. Ультразвуковая семиотика признаков дестабилизации атеросклеротических бляшек сонных артерий / Д.Е. Зайцев, А.С. Лепехина, Г.Е. Труфанов // Российский кардиологический журнал. – 2019. – Т. 24. – № 12. – С. 70-75.

31. Захарова Е.М. Современные представления о цереброваскулярных заболеваниях / Е.М. Захарова // Медицинский альманах. – 2010. – № 2. – С. 43-47.

32. Кандыба Д.В. Применение трансрадиального доступа для эмболизации аневризмы базилярной артерии: случай из практики и обзор литературы / Д.В. Кандыба, К.Н. Бабичев, А.В. Зенин // Нейрохирургия. – 2018. – Т. 20. – № 4. – С. 61-67.

33. Кеирим-Маркус И.Б. Поиск и усовершенствование дозиметрических параметров, адекватных биологическому эффекту / И.Б. Кеирим-Маркус, Т.И. Юганова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2006. – Т. 51. – № 1. – С. 54 – 66.

34. Кондрашин С.А. Мониторинг пиковой дозы в коже в режиме реального времени при рентгенэндоваскулярных вмешательствах / С.А. Кондрашин, В.Г. Сорокин, С.А. Рыжов и др. – Текст : электронный // Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. – 2021. – Т. 11. – № 2. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46360683> (дата обращения: 04.12.2022).

35. Коротких А.В. Дистальный лучевой доступ - современные тенденции / А.В. Коротких, А.М. Бабунашвили // Эндоваскулярная хирургия. – 2021. – Т. 8. – № 2. – С. 135-143.

36. Котенко К.В. К вопросу о вредных условиях труда в радиологических подразделениях медицинских учреждений/ К.В. Котенко, А.Ю. Бушманов, И.Е. Тюрин и др. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2013. – Т. 58. – N 4. – С. 17-22.

37. Котеров А.Н. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз / А.Н. Котеров, А.А. Вайнсон // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60. – № 3. – С. 5-31.

38. Крылов В.В. Лечение пациентов с атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий в сочетании с интракраниальными аневризмами / В.В. Крылов, В.Л. Леменев, А.А. Мурашко и др. // Нейрохирургия. – 2013. – № 2. – С. 80-85.

39. Крылов В.В. Нейрохирургическая помощь больным с сосудистыми заболеваниями головного мозга в Российской Федерации / В.В. Крылов, В.Г. Дашьян, И.М. Шетова и др. // Нейрохирургия. – 2017. – № 4. – С. 11-20.



40. Крылов В.В. Состояние нейрохирургической службы Российской Федерации. / В.В. Крылов, А.Н. Коновалов, В.Г. Дашьян и др. // Нейрохирургия. – 2016. – № 3. – С. 3-44.

41. Крылов В.В. Факторы риска хирургического лечения больных с разрывом аневризм переднего отдела артериального круга большого мозга / В.В. Крылов, А.В. Природов, В.Г. Дашьян и др. // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. – 2014. – Т. 6. – № 2. – С. 5-15.

42. Крылов В.В. Хирургия аневризм головного мозга в 3 томах / Крылов В.В. // – М.: Изд. ИП «Т.А. Алексеева», 2011. - 2012 с.

43. Легеза В.И. Радиобиология, радиационная физиология и медицина: Словарь-справочник / В.И. Легеза, И.Б. Ушаков, А.Н. Гребенюк, А.Е. Антушевич // – СПб: Фолиант, 2017. – 176 с.

44. Леманев В.Л. Цереброваскулярные заболевания и стенотическое поражение брахиоцефальных артерий: эпидемиология, клиническая картина, лечение / В.Л. Леманев, В.А. Лукьянчиков, А.А. Беляев // Consilium Medicum. – 2019. – Т. 21. – № 9. – С. 29-32.

45. Лучевая диагностика сосудистых мальформаций и артериальных аневризм головного мозга / Труфанов Г.Е, Рамешвили Т.Е, Фокин В.А. и соавторы. – СПб.: Изво ООО «ЭЛИБИС ПБ», 2006. –224 с.

46. Лысачев А.Г. Эндovasкулярное лечение артериовенозных мальформаций головного мозга. // Автореф. дис. д-ра. мед. наук. М. 1989; 42 с.

47. Малаев Д.У. Эндovasкулярные методы ишемического инсульта / Д.У. Малаев, Н.И. Грачев, Д.А. Редькин // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2022. – №3. – С. 188-198.

48. Мартыненко С.И. Внутричерепные артериальные аневризмы / С.И. Мартыненко., В.И. Данилов, М.Ф. Исмагилов // Неврологический вестник. – 2000. – Т. XXXII. – №1-2. – С. 61-72.

49. Международная комиссия по радиационной защите. Радиационная защита в медицине: Публикация 105 МКРЗ / Под редакцией Д. Валентина; редактор русского перевода М.И. Балонов. URL: <http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf> (дата обращения: 21.04.2022).

50. Международное агентство по атомной энергии, Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности, № GSR Part 3. – Вена: МАГАТЭ, 2015. – 482 с.

51. Методические указания МУ 2.6.1.3015-12 Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. – URL: [https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=4860](https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4860) (дата обращения: 21.04.2022). – Текст : электронный.

52. Методические указания МУ 2.6.1.3584-19 "Изменения в МУ 2.6.1.2944-19 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». – URL: [https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=15996](https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=15996) (дата обращения: 21.04.2022). – Текст : электронный.

53. Мозерова Е.Я. Новые источники малых доз радиации: результаты развития диагностической и терапевтической радиологии / Е.Я. Мозерова // Радиационная гигиена. – 2012. – Т.5. – № 2. – С. 71-74.

54. Мурадян М.В. 3D-ротационная ангиография в диагностике сонных артерий / М.В. Мурадян // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. – 2016. – Т. 17. – № 5. – С. 4-10.

55. Наркевич Б.Я. Радиационная безопасность в рентгенодиагностике и интервенционной радиологии / Б.Я. Наркевич, Б. И. Долгушин. – Текст : электронный // Диагностическая и интервенционная радиология. – 2009. – Т. 3. – № 2. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15639464> (дата обращения: 21.04.2022).

56. Нарышкин С.А. Методы оптимизации лучевых нагрузок на персонал при рентгеноэндоскопических операциях в урологии: автореф. дис. ... канд. мед.наук. : 14.00.19 / С.А. Нарышкин ; Моск. мед. академия. – Москва, 2009 г. – 24 с.

57. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

58. Огнерубов Д.В. Окклюзия лучевой артерии после интервенционных процедур, выполненных трансрадиальным доступом. Предикторы, пути сокращения частоты осложнения / Д.В. Огнерубов, С.И. Проваторов, Е.В. Меркулов и др. // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2018. – Т. 33. – № 3. – С. 9-16.

59. Оптимизация радиационной защиты пациентов в интервенционной радиологии. Методические рекомендации МР 2.6.1.0097. М.: Роспотребнадзор, – 2012. – 16 с.

60. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10: зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. М.: Минюст России, 2010. 82 с.

61. Осовец С.В. Методы оценки неопределенности дозовых порогов для детерминированных эффектов / С.В. Осовец, Т.В. Азизова, С.Н. Гергенрейдер // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2010. – Т. 55. – N 3. – С. 11-16.

62. Осовец С.В. Проблема количественной оценки и классификации радиационных пороговых величин / С.В. Осовец // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 9. – N 5. – С. 64 – 71.

63. Осовец С.В. Фактор мощности дозы в оценке и моделировании детерминированных эффектов при внешнем облучении / С.В. Осовец // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2005. – Т. 50. – N 3. – С. 12 – 17.

64. Охрименко С.Е. Оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике / С.Е. Охрименко, Л.А. Ильин, И.П. Коренков и др. // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98. – № 12. – С. 1331-1337.

65. Охрименко С.Е. Оценка дозы на хрусталик как элемент внутреннего аудита в отделениях эндоваскулярной диагностики и лечения / С.Е. Охрименко, С.А. Рыжов, А. В. Алехнович и др. // Медицинская Физика. – 2021. – № 1 (89). – С. 34-36.

66. Петин В.Г. Некоторые радиобиологические аспекты комбинированных воздействий / В.Г. Петин, Г.П. Жураковская, М.А. Лисовский // Мед. радиология. — 1993. — N 38 (3). — С. 18-22.

67. Пирадов М.А. Инсульт : пошаговая инструкция / М.А. Пирадов, М.Ю. Максимова, М.М. Танашян // – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 272 с.

68. Приказ Министерства здравоохранения «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи больным с острыми нарушениями мозгового кровообращения» от 15 ноября 2012 года №928н (Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 27 февраля 2013 года, регистрационный N 27353).

69. Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / сост. З.А. Лантух, Ю.В. Дружинина, А.В. Водоватов и [др.]; под ред. С.П. Морозова // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 86. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 36 с.

70. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения. Методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12. М.: Роспотребнадзор, - 2012. – 28 с.

71. Проект. Клинические рекомендации. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых (2022) — Национальные клинические рекомендации — Клинические рекомендации — Библиотека неврологии. – URL: <https://evidence-neurology.ru/evidentiary-medicine/klinicheskie->

rekomendatsii\_249/klinicheskie-rekomendatsii/proekt-klinicheskie-rekomendats/ (дата обращения: 04.12.2022). – Текст : электронный.

72. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер. с англ. / Под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.

73. Рыжкин С.А. Клиническое изучение органа зрения и дозиметрия хрусталика глаза персонала, выполняющего хирургические вмешательства под контролем рентгеновского излучения / С.А. Рыжкин, А.Н. Слесарева, Г.З. Галеева и др. // Радиация и риск. – 2017. – Т.26. – № 3. – С. 90-98.

74. Рыжкин С.А. Оптимизация радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при выполнении рентгенологических процедур: дис. ... д-ра. мед. наук 14.01.13, 14.02.03/ Рыжкин С.А. – Казань., 2019. – 300 с.

75. Рыжкин С.А. Современные особенности формирования уровней медицинского облучения населения Республики Татарстан при выполнении рентгенологических процедур / С.А. Рыжкин, С.И. Иванов, М.А. Пяташина и др. // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 45-54.

76. Сарычева С.С. Оценка дозовых параметров, определяющих вероятность возникновения детерминированных эффектов в коже пациентов, подвергающихся интервенционным рентгенологическим исследованиям / С.С. Сарычева // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13. – № 3. – С. 77-86.

77. Свистов Д.В. Периоперационная транскраниальная доплерография при артериовенозных мальформациях головного мозга: дисс.. канд. мед. наук. – СПб, 1993. – С. 282.

78. Свистов Д.В. Современное состояние церебральной ангиографии и ее место в комплексе методов диагностики сосудисто-мозговых заболеваний / Д.В. Свистов, Д.В. Кандыба, А.В. Савелло и др. // Материалы 3-го Всерос. съезда нейрохирургов «Современные технологии в нейрохирургии». – СПб., – 2002 – С. 674–675.

79. Скворцова В.И. Организация помощи пациентам с инсультом в России. Итоги 10 лет реализации комплекса мероприятий по совершенствованию медицинской помощи пациентам с острыми нарушениями мозгового кровообращения / Скворцова В.И., Шетова И.М., Какорина Е.П. и др. // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 5-12.
80. *Собрание законодательства Российской Федерации*. – 1996. – N 3. – Ст. 141.
81. Сорокин В.Г. Определение контрольных уровней ионизирующего излучения в интервенционной радиологии / В.Г. Сорокин, С.А. Рыжов, А.В. Омельченко, Д.Г. Громов. // *Радиация и Риск (бюллетень Национального Радиационно-Эпидемиологического Регистра)*. – 2020. – Т. 29. – № 3. – С. 88-95.
82. *Сосудистое и внутриорганное стентирование. Руководство* / Л.С. Коков, С.А. Капранов, Б.И. Долгушин и др. // – М.: Издательский дом «Грааль», 2003. – 384 с.
83. Таланов А.Б. Принципы хирургического лечения сочетанных артериовенозных мальформаций и аневризм артерий головного мозга. // Автореф. дис. канд. мед. наук. М. 1998 . 28 с.
84. Тахауов Р.М. Эпидемиологические и генетические исследования в оценке риска развития злокачественных новообразований (на модели персонала радиационно опасных производств и населения прилежащих территорий) / Р.М. Тахауов, А.Б. Карпов, М.Б. Фрейдин и др. // *Сибирский научный медицинский журнал*. – 2004. – № 2. – С. 26-31.
85. Труфанов Г.Е. Лучевые методы исследования в неврологии : учеб. пособие / Г. Е. Труфанов, Т. Е. Рамешвили; Воен.-мед. акад.. – СПб. : Воен.-мед. акад., 2004. – 71 с.
86. Фокин А.А. Хирургическая профилактика инсульта при стенозирующей патологии сонных артерий. Сообщение 1 / А.А. Фокин, А.Н. Каранизаде, К.Р. Файзуллин и др. // *Непрерывное медицинское образование и наука*. – 2016. – Т. 11. – № 2. – С. 29-35.

87. Шевченко Ю.Л. Применение нейрорентгенэндоваскулярных технологий при лечении посттравматических ложных аневризм висцеральных артерий / Ю.Л. Шевченко, Ю.М. Стойко, Н.В. Болوماتов и др. // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. – 2014. – № 36. – С. 48-51.

88. Яковлев С.Б. Артезио-венозные фистулы головы и шеи. Клиника ангиоархитектоники, эндоваскулярное лечение. // Автореф. дис. д-ра. мед. наук. М., 2008. – 50 с.

89. Ярмоненко, С.П. Радиобиология человека и животных: учебное пособие / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. – М.: ВЫСШАЯ ШКОЛА, 2004. – 549 с.

90. Acton H. Monitoring neurointerventional radiation doses using dose-tracking software: implications for the establishment of local diagnostic reference levels / H. Acton, K. James, R. G. Kavanagh [et al.]. // European Radiology. – 2018. – Vol. 28. – № 9. – P. 3669-3675.

91. Adams H. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. / Adams H., Bendixen B., Kappelle J. [et al.]. // Stroke. – 1993. – Vol. 24. – № 1. – P. 35-40.

92. Agarwal S. Relationship of beam angulation and radiation exposure in the cardiac catheterization laboratory / S. Agarwal, A. Parashar, N.S. Bajaj [et al.]. // JACC. Cardiovascular interventions. – 2014. – Vol. 7. – № 5. – P. 558-566.

93. Alfonso J.R. Effectiveness of the implementation of a simple radiation reduction protocol in the catheterization laboratory / Alfonso Jurado-Román, Ignacio Sánchez-Pérez, Fernando Lozano Ruíz-Poveda [et al.]. // Cardiovascular Revascularization Medicine: Including Molecular Interventions. – 2016. – Vol. 17. – № 5. – P. 328-332.

94. Aljuboori Z. Early ambulation after transfemoral diagnostic cerebral angiography: a pilot study / Z. Aljuboori, J. Eaton, K. Carroll [et al.]. // BMC Neurology. – 2022. – Vol. 22. – P. 34.

95. Aroua A. How to set up and apply reference levels in fluoroscopy at a national level / A. Aroua, H. Rickli, J.C. Stauffer [et al.]. // *European Radiology*. – 2007. – Vol. 17. – № 6. – P. 1621-1633.
96. Bärenfänger F. Investigation of Radiation Exposure of Patients with Acute Ischemic Stroke during Mechanical Thrombectomy / F. Bärenfänger, A. Block, S. Rohde // *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. – 2019. – Vol. 191. – № 12. – P. 1099-1106.
97. Bartal G. Management of patient and staff radiation dose in interventional radiology: current concepts / G. Bartal, E. Vano, G. Paulo [et al.]. // *Cardiovascular and Interventional Radiology*. – 2014. – Vol. 37. – Management of patient and staff radiation dose in interventional radiology. – № 2. – P. 289-298.
98. Baumann F. The Effect of Realtime Monitoring on Dose Exposure to Staff Within an Interventional Radiology Setting / F. Baumann, B. T. Katzen, B. Carelsen [et al.] // *Cardiovascular and Interventional Radiology*. – 2015. – Vol. 38. – № 5. – P. 1105-1111.
99. Berkhemer O.A. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke / O. A. Berkhemer, P. S. S. Fransen, D. Beumer [et al.]. // *The New England Journal of Medicine*. – 2015. – Vol. 372. – № 1. – P. 11-20.
100. Brinjikji W. Patient Outcomes Are Better for Unruptured Cerebral Aneurysms Treated at Centers That Preferentially Treat with Endovascular Coiling: A Study of the National Inpatient Sample 2001–2007 / W. Brinjikji, A.A. Rabinstein, G. Lanzino [et al.]. // *AJNR: American Journal of Neuroradiology*. – 2011. – Vol. 32. – № 6. – P. 1065-1070.
101. Bundy J.J. Fluoroscopically-guided interventions with radiation doses exceeding 5000 mGy reference point air kerma: a dosimetric analysis of 89,549 interventional radiology, neurointerventional radiology, vascular surgery, and neurosurgery encounters / J. J. Bundy, I.W. McCracken, D.S. Shin [et al.]. // *CVIR Endovascular*. – 2020. – Vol. 3. – № 1. – P. 69.



102. Carinou E. IAEA Tec Doc-1731 'Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye' / E. Carinou // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2016. – Vol. 171. – № 4. – P. 554-556.
103. Chohan M.O. Cranial radiation exposure during cerebral catheter angiography / M. O. Chohan, D. Sandoval, A. Buchan [et al.]. // *Journal of Neurointerventional Surgery*. – 2014. – Vol. 6. – № 8. – P. 633-636.
104. Choi J. Image Quality of Low-Dose Cerebral Angiography and Effectiveness of Clinical Implementation on Diagnostic and Neurointerventional Procedures for Intracranial Aneurysms / J. Choi, B. Kim, Y. Choi et al. // *American Journal of Neuroradiology*. – 2019 Apr. – P. 1-7.
105. Chun C.W. Patient radiation dose in diagnostic and interventional procedures for intracranial aneurysms: experience at a single center / C. W. Chun, B.S. Kim, C. H. Lee [et al.] // *Korean Journal of Radiology*. – 2014. – Vol. 15. – № 6. – P. 844-849.
106. Covello B. Fluoroscopic Angiography Assessment, Protocols, and Interpretation / B. Covello, B. McKeon. – Text : electronic // *StatPearls*. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2022. – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK568767/> (date accessed: 05.12.2022).
107. D'Ercole L. Proposed local diagnostic reference levels in angiography and interventional neuroradiology and a preliminary analysis according to the complexity of the procedures / L. D'Ercole, F.Z. Thyron, M. Bocchiola [et al.]. // *Physica medica: PM: an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology: official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*. – 2012. – Vol. 28. – № 1. – P. 61-70.
108. Duong D.H. Feeding artery pressure and venous drainage pattern are primary determinants of hemorrhage from cerebral arteriovenous malformations / D. H. Duong, W. L. Young, M. C. Vang [et al.]. // *Stroke*. – 1998. – Vol. 29. – № 6. – P. 1167-1176.
109. Durán A. Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology / A. Durán, S. K. Hian, D. L. Miller [et al.]. // *Catheterization and*

Cardiovascular Interventions: Official Journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions. – 2013. – Vol. 82. – № 1. – P. 29-42.

110. Erskine B.J. Cerebral angiography. Radiology Reference Article / B.J. Erskine // Radiopaedia.org. – 2016. URL: <https://radiopaedia.org/articles/cerebral-angiography> (date accessed: 11.05.2022). – Text : electronic.

111. Farah J. Dose reference levels and clinical determinants in stroke neuroradiology interventions / J. Farah, A. Rouchaud, T. Henry [et al.]. // European Radiology. – 2019. – Vol. 29. – № 2. – P. 645-653.

112. Fazel R. Approaches to enhancing radiation safety in cardiovascular imaging: a scientific statement from the American Heart Association / R. Fazel, T. C. Gerber, S. Balter [et al.] // Circulation. – 2014. – Vol. 130. – Approaches to enhancing radiation safety in cardiovascular imaging. – № 19. – P. 1730-1748.

113. Fish D.E. The risk of radiation exposure to the eyes of the interventional pain physician / D.E. Fish, A. Kim, C. Ornelas et al. // Radiol. Res. Pract. – 2011. – Vol. 2011. – P. 1-5.

114. Forbrig R. Radiation dose and fluoroscopy time of modern endovascular treatment techniques in patients with saccular unruptured intracranial aneurysms / R. Forbrig, Y. Ozpeynirci, M. Grasser [et al.]. // European Radiology. – 2020. – Vol. 30. – № 8. – P. 4504-4513.

115. Freysz M. Temporary localized alopecia following neuroradiological procedures: 18 cases / M. Freysz, L. Mertz, D. Lipsker // Annales De Dermatologie Et De Venereologie. – 2014. – Vol. 141. – № 1. – P. 15-22.

116. Funaki B. Superselective embolization of lower gastrointestinal hemorrhage: a new paradigm // Abdom. Imaging – 2004. – V. 29. – № 4. – P. 434-438.

117. Go A. Heart disease and stroke statistics-2014 update: a report from the American Heart Association. Circulation. / A. Go, D. Mozaffarian, V. Roger, E. Benjamin et al. // American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. – 2014. – № 129: P. 28-292.

118. Gross B.A. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. / B.A. Gross, R. Du J. // *Neurosurg.* – 2013. – Vol. 118. – №2. – P. 437–43.
119. Haga Y. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures / Y. Haga, K. Chida, Y. Kaga [et al.]. // *Scientific Reports.* – 2017. – Vol. 7. – P. 569.
120. Hamada N. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects / N. Hamada, Y. Fujimichi // *Journal of Radiation Research.* – 2014. – Vol. 55. – № 4. – P. 629-640.
121. Hassan A.E. Radiation Exposure during Neurointerventional Procedures in Modern Biplane Angiographic Systems: A Single-Site Experience / A.E. Hassan, S. Amelot // *Interventional Neurology.* – 2017. – Vol. 6. – № 3-4. – P. 105-116.
122. Heilmaier C. Combined Use of a Patient Dose Monitoring System and a Real-Time Occupational Dose Monitoring System for Fluoroscopically Guided Interventions / C. Heilmaier, L. Kara, N. Zuber [et al.]. // *Journal of vascular and interventional radiology: JVIR.* – 2016. – Vol. 27. – № 4. – P. 584-592.
123. Higashida R.T. Trial design and reporting standards for intra-arterial cerebral thrombolysis for acute ischemic stroke / R.T. Higashida, A.J. Furlan, H. Roberts [et al.]. // *Stroke.* – 2003. – Vol. 34. – № 8. – P. 109-137.
124. IAEA. Establishing Guidance Levels in X-Ray Guided Medical Interventional Procedures: A Pilot Study / Safety Report Series No 59 // Vienna: IAEA. – 2009. – 147p.
125. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures / P.O. López, L.T. Dauer, R. Loose [et al.]. // *Annals of the ICRP.* – 2018. – Vol. 47. – ICRP Publication 139. – № 2. – P. 1-118.
126. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / *Ann. ICRP* 21 (1-3). – 1991. URL: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060> (дата обращения: 10.09.2022)
127. Ihn Y.K. Monitoring Radiation Doses during Diagnostic and Therapeutic Neurointerventional Procedures: Multicenter Study for Establishment of Reference Levels /

Y.K. Ihn, B. Kim, H.W. Jeong [et al.]. // *Neurointervention*. – 2021. – Vol. 16. – № 3. – P. 240-251.

128. Ihn Y.K. Patient Radiation Exposure During Diagnostic and Therapeutic Procedures for Intracranial Aneurysms: A Multicenter Study / Y.K. Ihn, B.S. Kim, J.S. Byun [et al.]. // *Neurointervention*. – 2016. – Vol. 11.– № 2. – P. 78-85.

129. Jaco J. Measuring and Monitoring Radiation Dose During Fluoroscopically Guided Procedures / J. Jaco, D. Miller // *Techniques in vascular and interventional radiology*. – 2010. – Vol. 13. – P. 188-93.

130. Jaschke W. Radiation-Induced Skin Injuries to Patients: What the Interventional Radiologist Needs to Know / W. Jaschke, M. Schmuth, A. Trianni [et al.]. // *CardioVascular and Interventional Radiology*. – 2017. – Vol. 40. – № 8. – P. 1131-1140.

131. Jaschke W. Unintended and Accidental Exposures, Significant Dose Events and Trigger Levels in Interventional Radiology / W. Jaschke, G. Bartal, C. J. Martin, E. Vano // *Cardiovascular and Interventional Radiology*. – 2020. – Vol. 43. – № 8. – P. 1114-1121.

132. Jayaraman M., Haas R., Do H. et al. Should CT angiography be routinely used in patients suspected of having aneurysmal subarachnoid hemorrhage? / M. Jayaraman, R. Haas, H. Do [et al.]. // *Radiology*. – 2010. – № 254. – P. 314-315.

133. Jo K.W. Is Transradial Cerebral Angiography Feasible and Safe? A Single Center's Experience / K. W. Jo, S. M. Park, S. D. Kim [et al.]. // *Journal of Korean Neurosurgical Society*. – 2010. – Vol. 47. – № 5. – P. 332-337.

134. Kidoń J. Exposure of the eye lens and brain for interventional cardiology staff / J. Kidoń, K. Polaczek-Grelik, P. Żurek [et al.]. // *Postępy w Kardiologii Interwencyjnej = Advances in Interventional Cardiology*. – 2021. – Vol. 17. – № 3. – P. 298-304.

135. Klepanec A. Neurointerventionalist and Patient Radiation Doses in Endovascular Treatment of Acute Ischemic Stroke / A. Klepanec, D. Salat, J. Harsany [et al.] // *Cardiovascular and Interventional Radiology*. – 2020. – Vol. 43. – № 4. – P. 604-612.

136. Koenig T.R. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient / T.R.

Koenig, F.A. Mettler, L.K. Wagner // AJR. American journal of roentgenology. – 2001. – Vol. 177. – № 1. – P. 13-20.

137. Kong. Y.A survey on radiation exposure of primary operators from interventional X-ray procedures / Y. Kong, L. Gao, W. Zhuo [et al.]. // Radiation Measurements. – 2013. – P. 43-45.

138. König. A. Personal Radiation Protection and Corresponding Dosimetry in Interventional Radiology: An Overview and Future Developments / A. König, R. Etzel, R.P. Thomas [et al.]. // RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren. – 2019. – Vol. 191. – P. 512-521.

139. Kuon E. Effective techniques for reduction of radiation dosage to patients undergoing invasive cardiac procedures / Kuon E., Glaser C., Dahm J.B. // Br J Radiol. – 2003. – Vol. 76. – № 906. – P. 406-13.

140. Kuon E. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology / E. Kuon, J.B. Dahm, K. Empen [et al.]. // Journal of the American College of Cardiology. – 2004. – Vol. 44. – № 7. – P. 1420-1428.

141. Kuon E. Role of Experience, Leadership and Individual Protection in the Cath Lab-A Multicenter Questionnaire and Workshop on Radiation Safety / Kuon E., Weitmann K., Hoffmann W. et al. // Rofo. – 2015. – Vol. 187. - № 10. – P. 899-905.

142. Kwon Y.D. Nationwide trends in stroke hospitalization over the past decade / Y.D. Kwon, H. Chang, Y. Choi, S.S. Yoon // Journal of the Korean Medical Association. – 2012. – Vol. 55. – P. 1014-1.

143. Layton K.F. Bovine Aortic Arch Variant in Humans: Clarification of a Common Misnomer / K.F. Layton, D.F. Kallmes, H.J. Cloft [et al.]. // American Journal of Neuroradiology. – 2006. – Vol. 27. – Bovine Aortic Arch Variant in Humans. – № 7. – P. 1541-1542.

144. Lee D.H. Routine transradial access for conventional cerebral angiography: a single operator's experience of its feasibility and safety / D.H. Lee, J.H. Ahn, S.S. Jeong [et al.]. // The British Journal of Radiology. – 2004. – Vol. 77. – № 922. – P. 831-838.

145. Levy E. I. Transradial cerebral angiography: an alternative route / E. I. Levy, A.S. Boulos, R.D. Fessler [et al.]. // *Neurosurgery*. – 2002. – Vol. 51. – № 2. – P. 335-340.
146. Linet M.S. Historical Review of Cancer Risks in Medical Radiation Workers / M.S. Linet, K.P. Kim, D.L. Miller [et al.]. // *Radiation research*. – 2010. – Vol. 174. – № 6. – P. 793-808.
147. Little M.P. Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: why linearity may be (almost) the best we can do / Little M.P., Wakeford R., Tawn E.J. [et al.]. // *Radiology*. – 2009. – Vol. 251 – № 1. – P. 6-12
148. Lukic S. Radiation exposure during neurointerventional procedures in modern angiographic systems: A single center experience / S. Lukic, L. Rasulic, V. Kovacevic [et al.]. // *Vojnosanitetski preglod*. – 2019. – Vol. 77. – P. 24-24.
149. Matsumoto Y. Transradial Approach for Diagnostic Selective Cerebral Angiography: Results of a Consecutive Series of 166 Cases / Y. Matsumoto, K. Hongo, T. Toriyama [et al.]. // *AJNR: American Journal of Neuroradiology*. – 2001. – Vol. 22. – № 4. – P. 704-708.
150. Miller D.L. Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: The RAD-IR Study Part I: Overall Measures of Dose / D.L. Miller, S. Balter, P.E. Cole [et al.]. // *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. – 2003. – Vol. 14. – № 6. – P. 711-727.
151. Miller D.L. Reference Levels for Patient Radiation Doses in Interventional Radiology: Proposed Initial Values for U.S. Practice / D.L. Miller, D. Kwon, G.H. Bonavia // *Radiology*. – 2009. – Vol. 253. – № 3. – P. 753-764.
152. Molyneux A. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised trial / A. Molyneux, R. Kerr, I. Stratton [et al.]. // *Lancet (London, England)*. – 2002. – Vol. 360. – № 9342. – P. 1267-1274.
153. Moniz E. L'encephalographie arterielle, son importance dans la localisation des tumeurs cerebrales. *Revue*. / Moniz E. // *Neurologique*. – 1927. – C.72 -90.

154. Murphy K. Should future interventional neuroradiologists be screened for mutations that impair radiation-induced DNA repair? / K. Murphy, A. Thakore, M.C. Lacasse [et al.]. // *Interventional Neuroradiology*. – 2017. – Vol. 23. – № 1. – P. 5-7.

155. Myla S. An Algorithmic Approach to Carotid Access. A review of the techniques and possible complications associated with accessing this difficult anatomy / S. Myla // *Endovascular today*. – 2009. – P. 59-65.

156. National Council on Radiological Protection. Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Procedures // *NCRP Report 168*. – 2010. – 314 p

157. Owens J.T. Usefulness of a Nonsuture Closure Device in Patients Undergoing Diagnostic Coronary and Peripheral Angiography / J.T. Owens, S. Bhatt, R.J. Donovan [et al.]. // *The International Journal of Angiology: Official Publication of the International College of Angiology, Inc.* – 2017. – Vol. 26. – № 4. – P. 228-233.

158. Pearl M.S. Practical techniques for reducing radiation exposure during cerebral angiography procedures / M.S. Pearl, C. Torok, J. Wang [et al.]. // *Journal of Neurointerventional Surgery*. – 2015. – Vol. 7. – № 2. – P. 141-145.

159. Plourde G. Radiation exposure in relation to the arterial access site used for diagnostic coronary angiography and percutaneous coronary intervention: a systematic review and meta-analysis / G. Plourde, S.B. Pancholy, J. Nolan [et al.]. // *Lancet (London, England)*. – 2015. – Vol. 386. – № 10009. – P. 2192-2203.

160. Roguin A. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures / A. Roguin, J. Goldstein, O. Bar, J. [et al.]. // *The American Journal of Cardiology*. – 2013. – Vol. 111. – № 9. – P. 1368-1372.

161. Roguin A. Brain tumours among interventional cardiologists: a cause for alarm? Report of four new cases from two cities and a review of the literature / A. Roguin, J. Goldstein, O. Bar // *EuroIntervention: Journal of EuroPCR in Collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*. – 2012. – Vol. 7. – № 9. – P. 1081-1086.

162. Romijn M., Gratama Andel H., Walderveen M. et. al. Diagnostic accuracy of CT angiography with matched mask bone elimination for detection of intracranial aneurysms: comparison with digital subtraction angiography and 3D rotational angiography. // *Am J Neuroradiol.* – 2008. – № 29. – P. 134-139.

163. Roy D. Endovascular treatment of unruptured aneurysms / D. Roy, G. Milot, J. Raymond // *Stroke.* – 2001. – Vol. 32. – № 9. – P. 1998-2004.

164. Sailer A.M. Personalized Feedback on Staff Dose in Fluoroscopy-Guided Interventions: A New Era in Radiation Dose Monitoring / A.M. Sailer, L. Vergoossen, L. Paulis [et al.]. // *Cardiovascular and Interventional Radiology.* – 2017. – Vol. 40. – № 11. – P. 1756-1762.

165. Sailer A.M.H. Cost-effectiveness of CTA, MRA and DSA in patients with non-traumatic subarachnoid haemorrhage / A.M.H. Sailer, J.P. Grutters, J.E. Wildberger [et al.]. // *Insights into Imaging.* – 2013. – Vol. 4. – № 4. – P. 499-507.

166. Sarycheva S. Studies of patient doses in interventional radiological examinations / S. Sarycheva, V. Golikov, S. Kalnicky // *Radiation Protection Dosimetry.* – 2010. – Vol. 139. – № 1-3. – P. 258-261.

167. Saver J.L. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke / J.L. Saver, M. Goyal, A. Bonafe [et al.]. // *The New England Journal of Medicine.* – 2015. – Vol. 372. – № 24. – P. 2285-2295.

168. Sciahbasi A. Radiation Exposure and Vascular Access in Acute Coronary Syndromes: The RAD-Matrix Trial / A. Sciahbasi, E. Frigoli, A. Sarandrea [et al.] // *Journal of the American College of Cardiology.* – 2017. – Vol. 69. – № 20. – P. 2530-2537.

169. Seymour M.S.M. Health Impacts of Radiation Exposure During PCI / M.S.M. Seymour. – Text: electronic // *Cath Lab Digest.* – 2017. – Vol. 25. – № 3. – URL: <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/cathlab/article/health-impacts-radiation-exposure-during-pci> (date accessed: 21.04.2022).

170. Shams T. Society of Vascular and Interventional Neurology (SVIN) Stroke Interventional Laboratory Consensus (SILC) Criteria: A 7M Management Approach to



Developing a Stroke Interventional Laboratory in the Era of Stroke Thrombectomy for Large Vessel Occlusions / T. Shams, O. Zaidat, D. Yavagal [et al.] // *Interventional Neurology*. – 2016. – Vol. 5. – № 1-2. – P. 1-28.

171. Shope T.B. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy / T.B. Shope // *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc.* – 1996. – Vol. 16. – № 5. – P. 1195-1199.

172. Smith I.R. Evaluation of coronary angiographic projections to balance the clinical yield with the radiation risk / I.R. Smith, J. Cameron, K.L. Mengersen, J.T. Rivers // *The British Journal of Radiology*. – 2012. – Vol. 85. – № 1017. – P. 722-728.

173. Song Y. Estimated radiation dose according to the craniocaudal angle in cerebral digital subtraction angiography: Patient and phantom study / Y. Song, Y. Kim, S. Han [et al.]. // *Journal of Neuroradiology*. – 2019. – Vol. 46. – № 6. – P. 345-350.

174. Struelens L. Skin dose measurements on patients for diagnostic and interventional neuroradiology: a multicentre study / L. Struelens, F. Vanhavere, H. Bosmans [et al.]. // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2005. – Vol. 114. – № 1-3. – P. 143-146.

175. Sudhakar R.S. Radial Access for Neurovascular Procedures / Sudhakar R.S., Ansar Z.V. // *Seminars in Interventional Radiology*. – 2020. – Vol. 37. – № 2. – P. 182-191.

176. Sukupova L. Impact of the Ceiling-Mounted Radiation Shielding Position on the Physician's Dose from Scatter Radiation during Interventional Procedures / L. Sukupova, O. Hlavacek, D. Vedlich // *Radiology Research and Practice*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 4287973.

177. Tarighatnia A. Beam projections and radiation exposure in transradial and transfemoral approaches during coronary angiography / Tarighatnia A., Mohammadalian A., Ghojazade M. [et al.]. // *Anatol J Cardiol*. – 2017. – Vol. 18 - № 4. - P. 298–303.

178. Teunen D. The European Directive on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposures (97/43/EURATOM) / D. Teunen // *Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection*. – 1998. – Vol. 18. – № 2. – P. 133-137.

179. Tonetti D. A. Validation of an extrinsic compression and early ambulation protocol after diagnostic transfemoral cerebral angiography: a 5-year prospective series / D. A. Tonetti, C. Ferari, J. Perez [et al.]. // *Journal of Neurointerventional Surgery*. – 2019. – Vol. 11. – № 8. – P. 837-840.
180. Tsapaki V. Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: Current issues and future perspectives / V. Tsapaki // *Physica Medica: European Journal of Medical Physics*. – 2020. – T. 79. – C. 16-21.
181. Vance A.Z. Fluoroscopic Sentinel Events in Neuroendovascular Procedures: How to Screen, Prevent, and Address Occurrence / A. Z. Vance, B. D. Weinberg, G. M. Arbique [et al.]. // *AJNR: American Journal of Neuroradiology*. – 2013. – Vol. 34. – Fluoroscopic Sentinel Events in Neuroendovascular Procedures. – № 8. – P. 1513-1515.
182. Vañó E. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology / E. Vañó, L. Arranz, J. M. Sastre [et al.]. // *The British Journal of Radiology*. – 1998. – Vol. 71. – № 845. – P. 510-516.
183. Vano E. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging / Vano E., Miller D.L., Martin C.J. [et al.]. // *SAGE Journals*. – 2017. – Vol. 46. – №1. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0146645317717209> (дата обращения: 21.04.2022).
184. Vano E. Patient dose in interventional radiology: a European survey / E. Vano, H. Järvinen, A. Kosunen [et al.]. // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2008. – Vol. 129. – Patient dose in interventional radiology. – № 1-3. – P. 39-45.
185. Vano E. Patient Radiation Dose Management in the Follow-Up of Potential Skin Injuries in Neuroradiology / E. Vano, J. M. Fernandez, R. M. Sanchez [et al.]. // *AJNR: American Journal of Neuroradiology*. – 2013. – Vol. 34. – № 2. – P. 277-282.
186. Vano E. Radiation cataract risk in interventional cardiology personell / E. Vano, N.J. Kleiman, A. Duran [et al.]. // *Radiat. Res.* – 2010. – V. 174. –N 4. – P. 490-495.
187. Varghese A. Radiation doses and estimated risk from angiographic projections during coronary angiography performed using novel flat detector / A. Varghese, R.S.

Livingstone, L. Varghese [et al.]. // *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. – 2016. – Vol. 17. – № 3. – P. 433-441.

188. Wagner L.K. Potential biological effects following high X-ray dose interventional procedures / L.K. Wagner, P.J. Eifel, R.A. Geise // *Journal of vascular and interventional radiology: JVIR*. – 1994. – Vol. 5. – № 1. – P. 71-84.

189. Wang Z. Transradial versus transfemoral approach for cerebral angiography: A prospective comparison / Z. Wang, J. Xia, W. Wang [et al.]. // *Journal of Interventional Medicine*. – 2019. – Vol. 2. – № 1. – P. 31-34.

190. Weyland C.S. Radiation exposure per thrombectomy attempt in modern endovascular stroke treatment in the anterior circulation / C.S. Weyland, F. Seker, A. Potreck [et al.]. // *European Radiology*. – 2020. – Vol. 30. – № 9. – P. 5039-5047.

191. Wong K.S. Prevalence of asymptomatic intracranial atherosclerosis in high-risk patients / K.S. Wong, P.W. Ng, A. Tang [et al.]. // *Neurology*. – 2007. – Vol. 68. – № 23. – P. 2035-2038.

192. Woo P. Clinical and Angiographic Risk Factors for Recurrent Intracranial Aneurysms Treated by Primary Endovascular Coil Embolisation: a Multi-Center Retrospective Study in HongKong / P. Woo. – 2010. – 171 p.

193. Zaidat O.O. Recommendations on Angiographic Revascularization Grading Standards for Acute Ischemic Stroke / O.O. Zaidat, A.J. Yoo, P. Khatri [et al.]. // *Stroke: a journal of cerebral circulation*. – 2013. – Vol. 44. – № 9. – P. 2650-2663.

194. Zielinski J.M. Health outcomes of low-dose ionizing radiation exposure among medical workers: a cohort study of the Canadian national dose registry of radiation workers / J.M. Zielinski, M.J. Garner, P.R. Band [et al.]. // *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. – 2009. – Vol. 22. – № 2. – P. 149-156.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АВМ – артерио-венозная мальформация
- БЦА – брахиоцефальный ствол
- ВББ – вертебро-базилярный бассейн
- ВСА – внутренняя сонная артерия
- ГМ – головной мозг
- ДСА – дигитальная субтракционная ангиография
- ЗСА – задняя соединительная артерия
- КД (САК) – кумулятивная доза (cumulative air kerma)
- ЛА – лучевая артерия
- НСА – наружная сонная артерия
- МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
- МКРЗ – Международная комиссия по радиационной защите
- МТЭ – механическая тромбэкстракция
- ОНМК – острое нарушение мозгового кровообращения
- ПДП (DAP) – произведение дозы на площадь (dose area product)
- ПМА – передняя мозговая артерия
- ПСА – передняя соединительная артерия
- ПзВА – позвоночная артерия.
- РДУ – референтный диагностический уровень
- РХМДЛ – рентгенхирургические методы диагностики и лечения
- РЭДиЛ – рентгенэндоваскулярные диагностика и лечение
- РЭВ – рентгенэндоваскулярные вмешательства
- РЭО – рентгенэндоваскулярная окклюзия
- СМА – средняя мозговая артерия
- ТИА – транзиторная ишемическая атака
- ТРД – трансрадиальный доступ

ТФД – трансфеморальный доступ

ЦАГ – церебральная ангиография

ЦВЗ – цереброваскулярные заболевания

СРА – краниальная ангиография

LAO – левая косая проекция

RAO – правая косая проекция