

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)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Казань - 2024

Работа выполнена в Казанской государственной медицинской академии – филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства Здравоохранения Российской Федерации

Научные руководители:

Рыжкин Сергей Александрович – доктор медицинских наук, доцент

Володюхин Михаил Юрьевич – доктор медицинских наук, доцент

Официальные оппоненты:

Вишнякова Мария Валентиновна – д.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики факультета усовершенствования врачей ГБУЗ МО МОНКИ им. М.Ф. Владимирского;

Боломатов Николай Владимирович – д.м.н., профессор, профессор кафедры грудной и сердечно-сосудистой хирургии с курсами рентгенэндоваскулярной хирургии, хирургической аритмологии и хирургических инфекций Института усовершенствования врачей ФГБУ «НМХЦ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2024 г. на заседании диссертационного совета 21.1.044.02 на базе ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России (117997, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, д.27).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России (117997, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, д.27) и на сайте www.vishnevskogo.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат медицинских наук

Е.В. Кондратьев

Актуальность темы исследования

Цереброваскулярные заболевания являются одной из ведущих причин смерти и развития постоянного неврологического дефицита взрослых в России и мире [Захарова Е.М., 2010; Скворцова В.И. и др., 2018; Леменев В.Л., Лукьянчиков В.А., Беляев А.А., 2019]. Ежегодно наблюдается около 450 тыс. новых случаев острого нарушения мозгового кровообращения с летальностью в острый период в 35% случаев, к первому году от момента развития заболевания умирают до 50% больных [Захарова Е.М., 2010, Леменев В.Л., Лукьянчиков В.А., Беляев А.А., 2019; Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танашян М.М., 2019].

Совершенствование диагностики, лечения и профилактики сосудистых заболеваний головного мозга (ГМ) является одной из актуальных медико-социальных задач [Захарова Е.М., 2010; Леменев В.Л., Лукьянчиков В.А., Беляев А.А., 2019].

Несмотря на активное развитие и широкое внедрение неинвазивных методов медицинской визуализации, таких как ультразвуковая доплерография, магнитно-резонансная томография и компьютерная томография, дигитальная субтракционная ангиография (ДСА) остается «золотым стандартом» в диагностике многих цереброваскулярных нарушений, в частности церебральных аневризм и сосудистых мальформаций [Боломатов Н.В., Германович В.В., Виллер А.Г. и др., 2013; Боломатов Н.В., 2014; Sailer A.M.H., Grutters J.P., Wildberger J.E. et al., 2013; Pearl M.S., Torok C., Wang J. et al., 2015]. Эндоваскулярные операции являются эффективными и малоинвазивными способами лечения сосудистой патологии [Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Боломатов Н.В. и др., 2014; Molyneux A., Kerr R., Stratton I. et al., 2002; Saver J.L., Goyal M., Bonafe A. et al., 2015].

Данные процедуры выполняются под контролем рентгеновского излучения и ассоциированы с вероятностью развития детерминированных и стохастических биологических эффектов рентгеновского излучения у пациента и у операционной бригады [Мозерова Е.Я., 2012; М.А. Галстян, Н.М. Надежина, 2012; М.А. Галстян Н.М. Надежина, Н.М. Борисов, 2014; Zielinski J.M., Garner M.J., Band P. R. et al, 2010; Linet

M.S., Kim K.P., Miller D.L. et al., 2010; Sailer A.M.H., Grutters J.P., Wildberger J.E. et al., 2013].

Эндоваскулярные лечебные вмешательства подвергают пациентов большим дозам радиации, диагностические исследования также могут привести к неожиданно высоким уровням облучения [Pearl M., Torok C., Wang J. et al., 2015].

Согласно современным рекомендациям, для целей постоянного совершенствования хирургических навыков, минимальный объем вмешательств на одного 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 механических тромбэкстракций (МТЭ) из церебральных артерий у пациентов с острым ишемическим инсультом (Shams T., Zaidat O., Yavagal D. et al, 2016). На практике ежегодный объем вмешательств на брахиоцефальных и церебральных сосудах, выполняемых одним врачом по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению (РЭДиЛ), может значительно превышать рекомендуемое количество процедур. Данный факт вызывает беспокойство по поводу профессионального долголетия медицинских работников в связи с необходимостью их регулярного взаимодействия с источником ионизирующего излучения в течение всей профессиональной деятельности [Hassan A.E., Amelot S., 2017; Murphy K., Thakore A., Lacasse M.C. et. al, 2017].

Степень разработанности темы диссертационной работы

За последнее время российскими и зарубежными авторами проведены работы по изучению лучевых нагрузок на пациентов 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 появлением и активным развитием новых медицинских технологий и операционных техник [Наркевич Б.Я., Долгушин Б.И., 2009; Алексахин Р.М., 2009; Голивец Т.П., Коваленко Б.С., Волков Д.В., 2012; Jaschke W., Schmuth M., Trianni A. et al.,

2020]. Однако до сих пор не определены уровни радиационного воздействия на пациента и эндоваскулярного хирурга при современных подходах к проведению 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 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 путем 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

Настоящая работа является первым научным исследованием, обобщающим опыт изучения лучевой нагрузки при рентгенхирургических вмешательствах у пациентов с сосудистыми заболеваниями ГМ. На основании измерения произведения доза-площадь (ПДП), кумулятивной дозы (КД), времени рентгеноскопии и количества кадров рентгенографической съемки впервые определены уровни радиационного воздействия на пациентов при рентгенэндоваскулярной окклюзии (РЭО) интракраниальной артериальной аневризмы (ИАА) внутренней сонной артерии с использованием современных операционных техник, при стентировании брахиоцефальных артерий, при эндоваскулярном лечении острого ишемического инсульта (ОИИ) и артерио-венозных мальформаций (АВМ) головного мозга. Впервые установлено влияние мужского пола пациента, размера и локализации ИАА, отсутствие влияния выбранной методики РЭО аневризмы ГМ 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

Определены ангиографические проекции с наибольшим и наименьшим уровнями лучевой нагрузки. Выявлены факторы, оказывающие влияние на лучевую нагрузку на пациента и рентгенхирурга при РЭО ИАА. Определено влияние сосудистого доступа на дозы облучения пациента и врача по РЭДиЛ при проведении ЦАГ. По результатам диссертационного исследования установлены и внедрены в клиническую практику референтные диагностические уровни (РДУ) при проведении РЭО ИАА с использованием современных операционных техник, при стентировании брахиоцефальных артерий, при эндоваскулярных методах лечения ОИИ и АВМ.

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 рентгенхирурга в эндоваскулярной хирургии менее 4 лет являются факторами, способствующими увеличению лучевой нагрузки.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

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».

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 вмешательств у 266 больных с сосудистыми заболеваниями ГМ.

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

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 г. 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 от 21 декабря 2023 г., протокол № 1/12.

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.

Основные положения 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, Конгресс Российского общества

рентгенологов и радиологов, г. Москва, 8–10 ноября 2021 года; II Международный Эмболизационный форум «СФЕРА», г. Грозный, 18-19 сентября 2021 года.

Внедрение результатов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования применяются в практической работе отделения рентгенхирургических 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.).

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.

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).

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 источника (89 отечественных и 105 зарубежных), списка сокращений. Работа иллюстрирована 31 рисунком, 26 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Работа проведена на базе отделения РХМДЛ ГАУЗ МКДЦ г. Казани и являлась многоэтапным исследованием, включающим 266 пациентов, которым выполнялись диагностические и лечебные рентгенэндоваскулярные вмешательства в период 2019–2021 гг.

В рамках работы выполнены 266 рентгенэндоваскулярных процедур: 115 диагностических церебральных ангиографий, 87 эмболизаций интракраниальных артериальных аневризм, 5 эмболизаций артерио-венозных мальформаций, 12 тромбэмболектомий при остром ишемическом инсульте, 36 стентирований внутренних сонных артерий (ВСА), 11 стентирований позвоночных артерий (ПзВА).

Средний возраст пациентов при данных процедурах составил $57,39 \pm 14,71$ лет. Лица мужского пола составили 50,75%; лица женского пола – 49,25%.

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 (мГр), количество кадров рентгенографической съёмки (ед.). На основании полученных значений установлены доля рентгенхирургических операций,

превышающих порог возникновения детерминированных эффектов, и референтные диагностические уровни (РДУ) при 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 ($\text{сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$, 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 (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 **четвертом этапе** проведена сравнительная оценка дозиметрических величин при выполнении 115 процедур церебральной ангиографии трансфеморальным (ТФД) и трансрадиальным (ТРД) сосудистыми доступами. Сравнивались длительность процедуры (мин), время рентгеноскопии (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 рентгенхирургом 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; в среднем каждым специалистом выполняется 283 ± 46 процедур в год.

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

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных результатов выполнялась с помощью пакета компьютерных прикладных программ MS Excel и SPSS Statistics 23.0.

Продолжение таблицы 2

ПДП, Гр×см ²	47,97	31,75-73,90	39,15	26,37-55,80	53,60	36,26-89,37	<0,001*
КД, мГр	707	407-1271	461,5	399-667	895	605-1541	<0,05*
Время рентгено- скопии, мин	9,30	5,30-15,44	5,53	3,59-8,10	13,28	9,29-20,16	<0,001*
Количество кад- ров, ед.	269	164-533	197	154-345	324	185-595	0,151

* - различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$), 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×см²; 18,45 мин) и эмболизации артерио-венозных мальформаций (127,37 Гр×см²; 24,50 мин). Наименьшие значения данных параметров определены при диагностической ЦАГ (39,15 Гр×см²; 5,53 мин) и каротидном стентировании (39,86 Гр×см²; 9,08 мин).

На основании проведенного исследования доз облучения пациентов установлены РДУ при диагностических и лечебных нейроинтервенционных процедурах (таблица 3). В качестве РДУ использован 75-ый перцентиль (третий квартиль, Q3) основных дозиметрических величин.

Таблица 3. Референтные диагностические уровни значений ПДП и времени рентгеноскопии при в эндоваскулярных процедурах на сосудах головного мозга

Дозиметрическая величина	ЦАГ	РЭО ане- вризмы	МТЭ	РЭО АВМ	Стент ВСА	Стент ПзВА
ПДП, Гр×см ²	55,80	93,47	172,45	209,17	61,90	68,44
Время рентгено- скопии, мин	8,10	25,45	30,40	46,25	13,16	13,22

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 ($\text{сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$) (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 4.

Таблица 4. 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, $\text{сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$, $M \pm SD$	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, $\text{сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$, $M \pm SD$	1,65±0,03	1,80±0,03	2,00±0,04	2,33±0,06	1,86±0,03	1,66±0,06	

В прямой проекции с краниальной ангуляцией определяется статистически значимое увеличение ($p < 0,001$) значений ПДП/с в режиме ДСА (в среднем $31,3 \text{ сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$) и в режиме рентгеноскопии (в среднем $2,33 \text{ сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$) по сравнению с задне-передней (ДСА – $24,80 \pm 0,84 \text{ сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$, рентгеноскопия – $2,00 \pm 0,04 \text{ сГр} \times \text{см}^2/\text{с}$)

и другими проекциями. Наименьшее значение при ДСА – в правой и левой косых проекциях ($17,33 \pm 1,00$ сГр \times см²/с и $16,60 \pm 0,82$ сГр \times см²/с, соответственно), при рентгеноскопии – в боковых проекциях ($1,65 \pm 0,03$ сГр \times см²/с и $1,66 \pm 0,06$ сГр \times см²/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, обнаружено достоверное увеличение ($p=0,004$) уровня ПДП/с при изменении угла наклона рентгеновской трубки в направлении от латеральной проекции (90°) к прямой (0°).

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 ($2,8$ 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 дозы от рассеянного излучения увеличивалась в 2 раза при изменении ангиографической проекции в LAO 90° по сравнению с прямой проекцией в положении рентгеновской трубки 0° в и 2,8 раза по сравнению с проекцией RAO 90° .

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 раза по сравнению с проекцией RAO 90° .

Результаты сравнения средних значений мощности эквивалентной дозы, воздействующей на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных

ангиографических проекциях при фантомном исследовании представлены на рисунке 1.

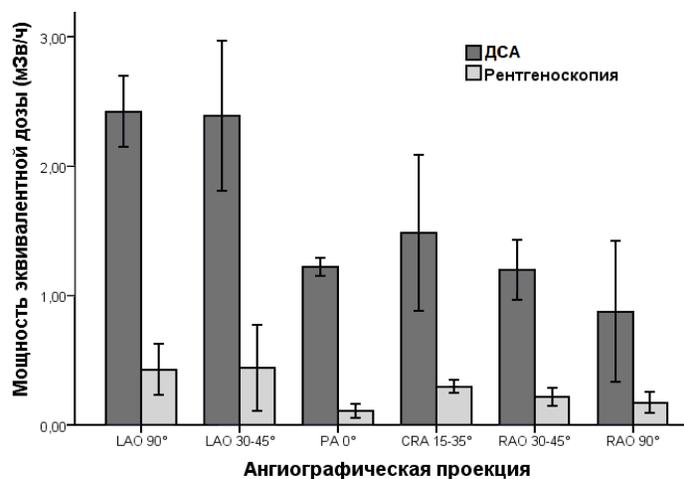


Рисунок 1. Сравнение средних значений мощности эквивалентной дозы, воздействующей на оператора, в режимах ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях при фантомном исследовании.

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 ГМ для оценки влияния ангиографической проекции на уровень радиационного облучения оператора. Результаты дозиметрического исследования в режиме ДСА и рентгеноскопии представлены в виде диаграммы (Рисунок 2).

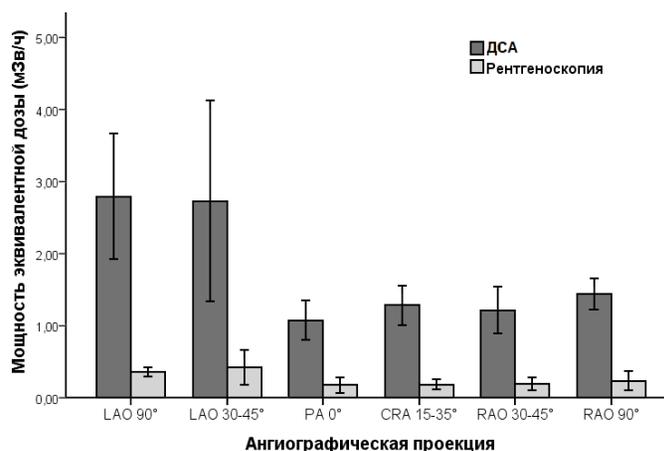


Рисунок 2. Сравнение средних значений мощности эквивалентной дозы, воздействующих на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях in vivo при РЭО аневризмы.

При изменении положения рентгеновской трубки от 0° в направлении левой боковой проекции наблюдается увеличение средней мощности дозы облучения оператора в режиме ДСА до 2,6 раза, при рентгеноскопии – до 2,4 раза. Мощность эквива-

лентной дозы в левой боковой проекции до 1,5 раза выше по сравнению с правой боковой проекцией. В левой косой проекции наблюдается увеличение мощности дозы до 2,3 раза по сравнению с правой косой проекцией.

При сопоставлении данных дозиметрии на фантоме, при проведении ЦАГ и эндоваскулярных операций не обнаружено значимых различий в мощности дозы ($p > 0,05$).

В режиме ДСА 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). Наибольшие значения мощности дозы в рентгеноскопическом режиме при РЭО ИАА выявлены в левой косой проекции на уровне гонад (0,55 мЗв/ч) и нижних конечностей оператора (0,55 мЗв/ч). При сравнительном анализе средних значений мощности эквивалентной дозы во всех проекциях в рентгенографическом и рентгеноскопическом режимах выявлено статистически значимое повышение значений в проекциях LAO ($p > 0,05$).

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

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), эквивалентной дозы облучения оператора (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.

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

При сравнении полученных средних значений ПДП и времени рентгеноскопии не установлено значимых различий между группами вмешательств на правой и левой ВСА ($p>0,05$). Доза, накопленная оператором, в группе РЭО ИАА левой ВСА достоверно выше ($p=0,04$) и в среднем составляет 40 мкЗв за процедуру.

Для сравнения уровня лучевой нагрузки при эмболизации аневризмы в зависимости от размера интракраниальной аневризмы все процедуры 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 ($p<0,05$).

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

При оценке уровня лучевой нагрузки в зависимости от использованной операционной техники РЭО аневризмы методом Краскелла-Уоллиса не выявлено значимых различий для значений ПДП ($p=0,179$), времени рентгеноскопии ($p=0,064$) и дозы облучения оператора ($p=0,058$).

На основании полученных результатов установлены РДУ радиационных доз пациента для разных техник эндоваскулярного лечения интракраниальных аневризм на основании 3 квартиля значений ПДП и времени рентгеноскопии.

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

Проведено сравнение уровней лучевой нагрузки при процедурах ЦАГ, выполненных трансрадиальным и трансфеморальным сосудистыми доступами, у 115 пациентов. Процедуры разделены на 2 группы: ТФД использован у 87 пациентов в возрасте 33–73 ($50,2 \pm 3,91$) лет, ТРД – у 33 пациентов в возрасте 26–67 ($53,11 \pm 4,67$) лет.

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

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 (таблица 6).

Таблица 6. Сравнение лучевой нагрузки при выполнении ЦАГ трансфemorальным и трансрадиальным доступами

Переменная	ЦАГ				p
	ТФД (n=82)		ТРД (n=33)		
	Me	Q1-Q3	Me	Q1-Q3	
ПДП, Гр×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*

При сравнении доз облучения пациентов мы установили, что ПДП и воздушная керма значимо выше в группе ТРД по сравнению с ТФД (73,20 Гр×см² против 47,07 Гр×см²; p=0,001), (697 мГр против 325 мГр; p<0,001).

Доза облучения оператора так же была значимо выше в группе ТРД и в среднем составила 70 мкЗв по сравнению с группой ТФД, где доза облучения в среднем составила 32,1 (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.

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 < 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 > 10 лет.

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

ПДП, кумулятивная доза и доза облучения оператора значимо 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, проведенных операторами со стажем более 5 лет и более ($p>0,05$).

Наименьшая длительность рентгеноскопии была в группе процедур, выполняемых наиболее опытными специалистами и в среднем 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

В данной работе проведен анализ уровней лучевой нагрузки при рентгенэндоваскулярных вмешательствах, выполняемых на сосудах головного мозга. Мы исследовали влияние факторов, связанных с особенностями проведения эндоваскулярных вмешательств и анатомическими особенностями сосудистых поражений головного мозга, на лучевую нагрузку, а также сравнили процедуры ЦАГ, выполненные трансрадиальным и трансфemorальным сосудистыми доступами, выполнили оценку влияния стажа работы рентгенхирурга на уровень лучевой нагрузки. Определены ангиографические проекции с наибольшим и наименьшим значениями мощности дозы. Выявлены факторы, оказывающие влияние на лучевую нагрузку на пациента и врача по РЭДиЛ при выполнении РЭО ИАА. Определено влияние сосудистого доступа на дозы облучения пациента и врача по РЭДиЛ при проведении ЦАГ. По результатам диссертационного исследования установлены и внедрены в клиническую практику РДУ при проведении РЭО ИАА с использованием современных операционных техник, при стентировании БЦА, при эндоваскулярных методах лечения ОИИ и АВМ ГМ.

ВЫВОДЫ

1. Референтный диагностический уровень произведения дозы на площадь для церебральной ангиографии составил 55,80 Гр×см²; для эмболизации интракраниальной аневризмы внутренней сонной артерии – 93,47 Гр×см²; для механической тромбэкстракции из церебральных артерий – 172,45 Гр×см²; для эмболизации артерио-венозной мальформации – 209,17 Гр×см²; для стентирования сонных артерий – 61,90 Гр×см²; для стентирования позвоночных артерий – 68,44 Гр×см². Доля рентгенэндовазкулярных 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, эндовазкулярная эмболизация аневризмы в бассейне левой внутренней сонной артерии и размером более 11 мм, стаж рентгенхирурга ≤ 4 лет являются факторами, способствующими увеличению лучевой нагрузки ($p < 0,05$).

3. При выполнении церебральной ангиографии трансрадиальным доступом наблюдается увеличение лучевой нагрузки на рентгенхирурга 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 рентгенхирурга ($p = 0,058$), 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 рентггенхирурга 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 проводить через бедренный артериальный доступ.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Васеев Д.В. Оценка доз облучения пациентов при цереброваскулярных вмешательствах, проводимых под контролем рентгеновского излучения / Д.В. Васеев, С.А. Рыжкин, М.Ю. Володюхин, М.К. Михайлов // Эндоваскулярная хирургия. – 2021. – Т. 8. – № 2. – С. 169-175.

2. Васеев Д.В. Применение блокаторов гликопротеиновых рецепторов у пациентов с острым ишемическим инсультом в каротидном бассейне / М.Ю. Володюхин, Т.В. Демин, Р.Р. Шарипов, Д.В. Васеев // Эндоваскулярная хирургия. – 2022. – Т. 9. – № 2. – С. 119-124.

3. Васеев Д.В. Комплексная оценка влияния ангиографической проекции на дозы облучения при диагностических и лечебных вмешательствах у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга / Д.В. Васеев, А.А. Багавиев, М.Ю. Володюхин, С.А. Рыжкин, М.К. Михайлов // Диагностическая и интервенционная радиология. – 2022. – Т. 16. – № 3. – С. 50-59.

4. Васеев Д.В. Сравнительная оценка лучевой нагрузки при проведении церебральной ангиографии трансрадиальным и трансфеморальным сосудистыми доступами операторами с различным опытом. / Д.В. Васеев, М.Ю. Володюхин, С.А. Рыжкин, М.К. Михайлов, М.Н. Насруллаев // Эндоваскулярная хирургия. – 2023. – Т. 10. – № 1. – С. 54-60.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВМ – артерио-венозная мальформация

ВСА – внутренняя сонная артерия

ГМ – головной мозг

МТЭ – механическая тромбоэкстракция

ИАА – интракраниальная артериальная аневризма

ОИИ – острый ишемический инсульт

ПДП – произведение дозы на площадь

ПзВА – позвоночная артерия

РДУ – референтный диагностический уровень

РЭДиЛ – рентгенэндоваскулярные диагностика и лечение

РЭО – рентгенэндоваскулярная окклюзия

ТРД – трансрадиальный доступ

ТФД – трансфеморальный доступ

ЦАГ – церебральная ангиография

Сга – краниальная ангиуляция

LAO – левая косая проекция

RAO – правая косая проекция