

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНГИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ НА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ У ПАЦИЕНТОВ С СОСУДИСТЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

***Д. В. Васеев** – [ORCID: 0000-0002-9409-8410]

аспирант¹, врач по РЭДил²

А. А. Багавиев – [ORCID: 0000-0002-1593-7360]

врач по общей гигиене³

М. Ю. Володюхин – [ORCID: 0000-0001-8245-1996]

д.м.н., зав. отд. РХМДил², профессор кафедры⁴, доцент кафедры⁵

С. А. Рыжкин – [ORCID: 0000-0003-2595-353X]

д.м.н., доцент, профессор кафедры⁶, доцент кафедры⁷, зав. кафедрой⁸, ст. науч. сотр.⁹

М. К. Михайлов – [ORCID: 0000-0002-8431-7296]

д.м.н., профессор, зав. кафедрой¹

¹Казанская государственная медицинская академия - филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ
Кафедра лучевой диагностики

420012 Российская Федерация, г. Казань, ул. Бутлерова, 36

²ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр»

420101 Российская Федерация, г. Казань, ул. Карбышева, 12а

³ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)»

420061 Российская Федерация, г. Казань, ул. Сеченова, 13а

⁴Казанская государственная медицинская академия - филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ

Кафедра кардиологии, сердечно-сосудистой и рентгенэндоваскулярной хирургии

420012 Российская Федерация, г. Казань, ул. Бутлерова, 36

⁵ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет МЗ РФ

Кафедра сердечно-сосудистой и эндоваскулярной хирургии

420012 Российская Федерация, г. Казань, ул. Бутлерова, 49

⁶ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет МЗ РФ

Кафедра общей гигиены с курсом радиационной гигиены

420012 Российская Федерация, г. Казань, ул. Бутлерова, 49

⁷ФГАУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Кафедра медицинской физики

420008 Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

⁸ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ

Кафедра радиотерапии и радиологии им. акад. А.С. Павлова

125993 Российская Федерация, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1 стр. 1

⁹ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»

420075 Российская Федерация, г. Казань, Научный городок-2

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- лучевая нагрузка
- церебральная ангиография
- эмболизация аневризм внутренних сонных артерий
- ангиографическая проекция
- доза облучения оператора
- произведение дозы на площадь

АННОТАЦИЯ:

Цель: изучить влияние ангиографической проекции на дозы облучения пациента и рентгенохирурга при эндоваскулярных вмешательствах, направленных на диагностику и лечение сосудистых заболеваний головного мозга.

Материалы и методы: в эксперименте проведено изучение мощности дозы облучения фантомной модели (сГр×см²/с) и мощности эквивалентной дозы от рассеянного излучения (мЗв/ч), измеренной в зоне условного расположения оператора, при изменении угла наклона рентгеновской трубки в режимах дигитальной субтракционной ангиографии (ДСА) и рентгеноскопии. Проведена оценка мощности дозы облучения эндоваскулярного хирурга (мЗв/ч) при 12 процедурах церебральной ангиографии 15 нейроинтервенциях в основных ангиографических проекциях. Ретроспективно проанализированы значения произведения дозы на площадь (Гр×см²), времени рентгеноскопии (мин), дозы облучения оператора (мкЗв) при 87 процедурах рентгенэндоваскулярной окклюзии аневризмы кавернозного и супраклиноидного отделов внутренней сонной артерий (ВСА) для косвенной оценки влияния ангиографической проекции на дозы облучения пациента и рентгенохирурга. Вмешательства разделены на 2 группы в зависимости от локализации выявленной аневризмы. В 1-ю группу вошли 35 операций в бассейне правой ВСА, во 2-ю - 53 операции в бассейне левой ВСА.

Результаты: при экспериментальном исследовании наибольшие значения мощности дозы облучения фантомной модели выявлены в прямой проекции с краниальной ангиуляцией, наименьшие - в латеральных и косых проекциях; наибольшие средние значения мощности дозы от рассеянного излучения в зоне расположения оператора выявлены в левой боковой проекциях, наименьшие - в правой боковой проекции в режиме ДСА и в прямой и правой боковой проекции в режиме рентгеноскопии.

При исследовании доз рассеянного излучения во время проведения нейроинтервенционных процедур установлено, что 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 раз, при рентгеноскопии – до 2,4 раз. Мощность эквивалентной дозы в левой боковой проекции выше до 1,5 раз по сравнению с правой боковой проекцией. В левой кривой проекции наблюдается увеличение мощности дозы в до 2,3 раз по сравнению с правой кривой проекцией.

При сравнении показателей лучевой нагрузки при процедурах эмболизации аневризмы наблюдается значимое увеличение доз облучения оператора в группе вмешательств в бассейне левой ВСА.

Заключение: при проведении нейроинтервенционных процедур выбор оптимальных ангиографических проекций, с более низкими дозами облучения, позволяет добиться значимого снижения лучевой нагрузки на пациента и оператора без потери качества визуализации патологических изменений.

Для цитирования. Васеев Д.В., Багавиев А.А., Володюхин М.Ю., Рыжкин С.А., Михайлов М.К. «КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНГИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ НА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ У ПАЦИЕНТОВ С СОСУДИСТЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ГОЛОВНОГО МОЗГА» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2022; 16(3): 50–59.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ANGIOGRAPHIC PROJECTION ON RADIATION DOSES DURING DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC INTERVENTIONS IN PATIENTS WITH CEREBROVASCULAR DISEASES

*Vaseev D.V. – [ODCID: 0000-0002-9409-8410]

MD, postgraduate student^{1,2}

Bagaviev A.A. – [ODCID: 0000-0002-1593-7360]

MD³

Volodyukhin M.Yu. – [ODCID: 0000-0001-8245-1996]

MD, PhD, professor^{2,4,5}

Ryzhkin S.A. – [ODCID: 0000-0003-2595-353X]

MD, PhD, professor^{6,7,8,9}

Mikhailov M.K. – [ODCID: 0000-0002-8431-7296]

MD, PhD, Professor¹

¹Kazan State Medical Academy - branch of Russian Medical Academy of Postgraduate Education
Chair of Radiation Diagnostics

36, Butlerova str., Kazan, Russian Federation, 420012

²Interregional Clinical Diagnostic Center

12a, Karbysheva str., Kazan, Russian Federation, 420101

³Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan

13a, Sechenov str., Kazan, Russian Federation, 420061

⁴Kazan State Medical Academy - branch of Russian Medical Academy of Postgraduate Education

Chair of Cardiology, Cardiovascular and Endovascular Surgery

36, Butlerova str., Kazan, Russian Federation, 420012

⁵Kazan State Medical University

Chair of Cardiovascular and Endovascular Surgery

49, Butlerova str., Kazan, Russian Federation, 420012

⁶Kazan State Medical University

Chair of General Hygiene with a course of radiation hygiene

49, Butlerova str., Kazan, Russian Federation, 420012

⁷Kazan Federal (Volga Region) University

Chair of Medical Physics

18, Kremlin str., Kazan, Russian Federation, 420008

⁸Russian Medical Academy of Postgraduate Education

Chair of radiotherapy and radiology

2/1 build. 1, Barrikadnaya str., Moscow, Russian Federation, 125993

⁹FSBSI «FCRBS-ARRVI»

2, Nauchnyy gorodok str., Kazan, Russian Federation, 420075

KEY-WORDS:

- radiation exposure
- cerebral angiography
- embolization of aneurysms of internal carotid artery
- angiographic projection
- occupational exposure
- kerma-area product

ABSTRACT:

Aim: was to study the impact of angiographic projection on patient and operator radiation dose during endovascular interventions aimed at diagnosing and treating cerebrovascular diseases.

Materials and methods: in experiment, radiation dose rate of phantom model (cGy×cm²/s) and equivalent dose rate from scattered radiation (mSv/h) measured in the area of conditional location of operator were studied when the angle of the X-ray tube was changed in modes of digital subtraction angiography (DSA) and fluoroscopy. Radiation dose rate of endovascular surgeon (mSv/h) was assessed during 12 cerebral angiography procedures and 15 neuro-interventions in general angiographic projections. Values of the kerma-area product (Gy×cm²), fluoroscopy time (min), operator exposure dose (μSv) during 87 procedures of endovascular occlusion of aneurysm of cavernous and supraclinoid sections of internal carotid arteries (ICA) were retrospectively analyzed to indirectly assess the effect of angiographic projection on patient and surgeon occupational dose. Interven-

tions were divided into 2 groups depending on the location of detected aneurysm. The 1st group included 35 operations in the right ICA, the 2nd group included 53 operations in the left ICA.

Results: in experimental study, highest values of radiation dose rate of the phantom model were found in frontal projection with cranial angulation, lowest - in lateral and oblique projections; The highest average dose rates from scattered radiation in operator's area were found in left lateral projections whereas the smallest in right lateral projection in DSA mode and also in frontal and right lateral projections in fluoroscopy mode.

When studying doses of scattered radiation during neuro-interventional procedures, it was found that when the position of the X-ray tube changes from 0° in the direction of left lateral projection, an increase in the average dose rate of the operator in the DSA mode is up to 2,6 times, with fluoroscopy - up to 2,4 times. The equivalent dose rate in left lateral projection is up to 1.5 times higher than in right lateral projection. In left oblique projection, there is an increase in dose rate up to 2,3 times compared to right oblique projection. When comparing radiation exposure indicators during aneurysm embolization procedures, a significant increase in operator exposure doses is observed in group of interventions in the left ICA.

Conclusion: when performing neuro-interventional procedures, it is possible to achieve a significant reduction in radiation exposure to patient and operator without a significant loss in image quality along with maintaining optimal visualization of pathological changes by choosing angiographic projections with lower radiation doses.

Введение

Рентгенэндоваскулярные процедуры сопряжены с высокими дозами облучения пациента и оператора и рисками возникновения стохастических и детерминированных радиационных эффектов [1]. Известно, что при коронарной ангиографии и чрескожных коронарных вмешательствах на уровень лучевой нагрузки влияет изменение угла наклона рентгеновской трубки в разных плоскостях. Однако исследований по оценке влияния основных проекций, используемых для визуализации сосудов головы при процедурах церебральной ангиографии (ЦАГ) и эндоваскулярном лечении сосудов головного мозга, практически нет [2].

Цель исследования: изучить влияние ангиографической проекции на дозы облучения пациента и рентгенохирурга при эндоваскулярных вмешательствах, направленных на диагностику и лечение сосудистых заболеваний головного мозга.

Материалы и методы

Проведён проспективный и ретроспективный анализ показателей доз облучения пациента и оператора в различных проекциях, применяемых при катетерной церебральной ангиографии и нейроэндоваскулярных вмешательствах. Дозиметрические исследования проводились на фантоме, а также во время диагностических и лечебных вмешательств 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 (15 кадр/с) и цифровой субтракционной ангиографии (ДСА) с частотой кадров: 4 кадр/с (5 с) - 2 кадр/с (5 с) - 1 кадр/с (5 с).

Доступные изменения поля зрения 30 см - 20 см - 16 см - 12 см. Рентгеноперационная оснащена потолочным рентгенозащитным экраном и рентгенозащитой ширмой, расположенной под операционным столом (свинцовый эквивалент 0,5 мм).

Диагностическая церебральная ангиография и лечебные эндоваскулярные вмешательства у пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга выполнялись по общепринятой методике бедренным сосудистым доступом [3]. Визуализация сосудистых бассейнов головного мозга проводилась в стандартных проекциях [4].

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 выполняется всеми сотрудниками отделения. В качестве контрастного средства использовали «Омнипак», «Ультравист» с концентрацией йода 240 мг/мл, 350 мг/мл, 370 мг/мл.

Для сравнения влияния ангиографической проекции на уровень радиационного облучения проведено исследование с использованием водного фантома объёмом 5 л, имитирующего голову, шею и грудь 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 (ПДП, kerma-area product [KAP], сГр×см²) на консоли ангиографической системы. При выполнении церебральной ангиографии измерение проводилось в тех же проекциях, но в течение 5 секунд и не менее 3 раз. Мы получили значения мощности дозы ПДП/с, произведя расчет отношения полученных ПДП и времени экспозиции рентгеновского луча при режимах ДСА и рентгеноскопии. Для оценки доз облучения оператора проведена серия измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (мЗв/ч) в ангиографических проекциях дозиметром рентгеновского и гамма-излучения ДКС-1123 (зав. № 51120, свидетельство о поверке №С-БЯ/19-07-2021/79718817 до 17.07.2022 г.).

Дозиметр располагался в 4 точках на разной высоте от уровня пола в предполагаемом месте нахождения рентгенохирурга. Точки расположения дозиметра представлены в **таблице 1**. 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.

Вторым этапом проведено измерение мощности амбиентного эквивалента дозы в 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 15 лечебных нейроинтервенционных процедурах.

На 3-м этапе проведена ретроспективная оценка влияния ангиографической проекции на уровень лучевой нагрузки при 87 процедурах рентгенэндоваскулярной окклюзии (РЭО) аневризмы внутренней сонной артерии (ВСА).

Все процедуры разделены на 2 группы по принципу проведения РЭО аневризмы в бассейне правой ВСА (n=35) и левой ВСА (n=52). Нами учтены возраст (лет), пол пациентов, размер аневризм (мм), тип проведенных операций и анестезии, значения показателей ПДП ($\text{Гр}\times\text{см}^2$), время рентгеноскопии (мин), доза облучения оператора (мкЗв). Доза оператора измерялась с использованием персонального дозиметра рентгеновского и гамма-излучения ДКР-04М (зав. № 5766, свидетельство о поверке № С-ВАГ/23-09-2021). Оператор фиксировал дозиметр в области рентгенозащитного воротника с левой стороны.

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

Результаты

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 ($\text{мЗв}/\text{ч}$), воздействующей на оператора, в зависимости от направления пучка рентгеновского излучения в режимах ДСА и рентгеноскопии. Полученные результаты представлены в **таблице 2**.

Установлено, что в прямой проекции с краниальной ангуляцией определяется статистически значимое увеличение ($p < 0,001$) значений ПДП/с в режиме ДСА (в среднем $31,3 \text{ сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$) 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 ($17,33\pm 1,00 \text{ сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$ и $16,60\pm 0,82 \text{ сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$, соответственно), при рентгеноскопии - в боковых проекциях ($1,65\pm 0,03 \text{ сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$ и $1,66\pm 0,06 \text{ сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$, 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°).

Таблица 1. 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

Таблица 2. Средние значения ПДП/с в режимах ДСА и рентгеноскопии при основных ангиографических проекциях

Переменная	Ангиографическая проекция						p
	LAO 90°	LAO $30-45^\circ$	PA 0°	Cra $15-30^\circ$	RAO $30-45^\circ$	RAO 90°	
Средняя ПДП/с при ДСА, $\text{сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$, $M\pm SD$	$18,00\pm 0,82$	$16,60\pm 0,82$	$24,80\pm 0,84$	$31,33\pm 1,51$	$17,33\pm 1,00$	$18,60\pm 0,58$	
Средняя ПДП/с при рентгеноскопии, $\text{сГр}\times\text{см}^2/\text{с}$, $M\pm SD$	$1,65\pm 0,03$	$1,80\pm 0,03$	$2,00\pm 0,04$	$2,33\pm 0,06$	$1,86\pm 0,03$	$1,66\pm 0,06$	$< 0,001$

Примечание: LAO 90° - левая боковая проекция, LAO $30-45^\circ$ - левая косая проекция, PA 0° - прямая проекция, Cra $15-30^\circ$ - прямая проекция с головной ангуляцией, RAO $30-45^\circ$ - правая косая проекция, RAO 90° - правая боковая проекция. Данные представлены средним значением \pm стандартным отклонением.

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 градусов и 2,8 раз 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 2,6 раз по сравнению с проекцией RAO 90°.

Сравнение средних значений мощности эквивалентной дозы в основных ангиографических проекциях, полученных на фантомной модели, представлено на рисунке 1.

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 осу-

ществляется преимущественно за счёт длительного использования рентгеноскопии [5], на 2 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 виде диаграммы (рис. 2).

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 РЭО аневризмы церебральных 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 переменных мощности дозы рассеянного излучения во всех проекциях в рентгенографическом и рентгеноскопическом режимах выявлено статистически значимое повышение значений в проекциях LAO ($p > 0,05$).

Мы определили, что при изменении положения рентгеновской трубки в проекции LAO в диапазоне 45-90°

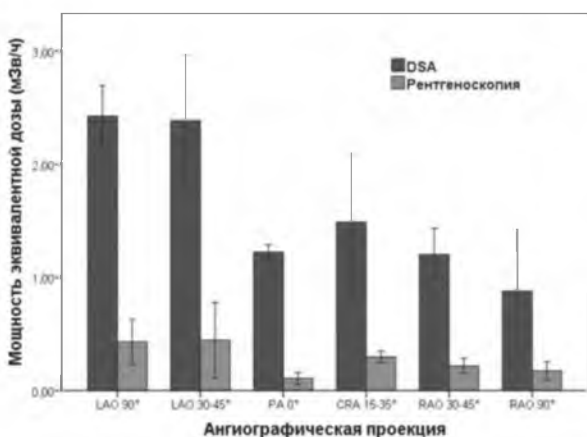


Рис. 1. Сравнение средних мощности эквивалентной дозы, воздействующей на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях при фантомном исследовании.

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

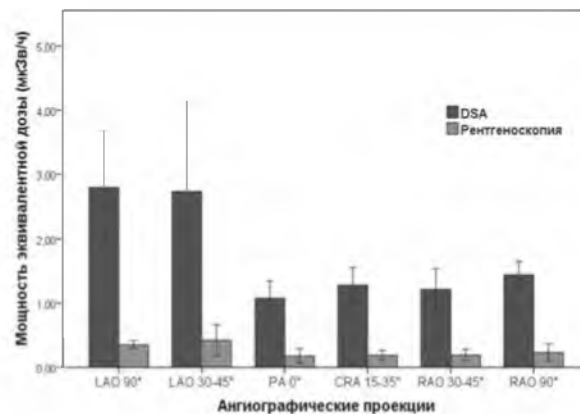


Рис. 2. Сравнение средних мощности эквивалентной дозы, воздействующих на оператора, в режиме ДСА и рентгеноскопии в основных ангиографических проекциях *in vivo* при РЭО аневризмы.

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

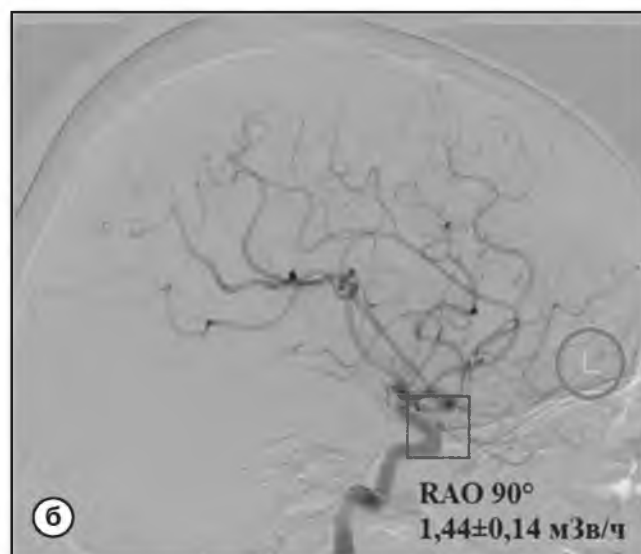
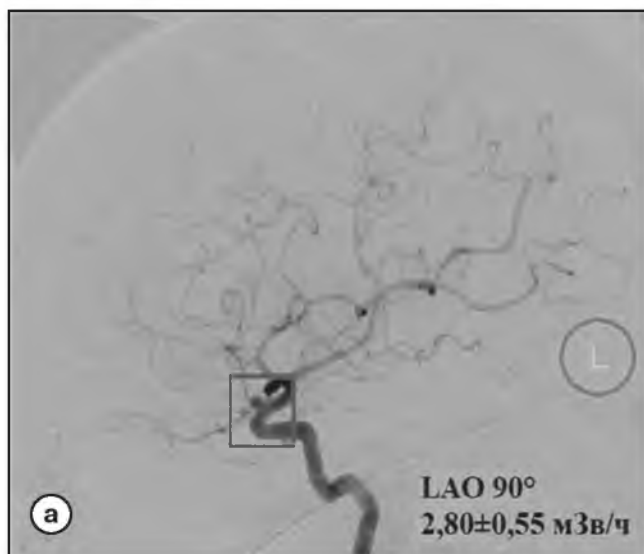


Рис. 3. а – ангиограмма левой внутренней сонной артерии в проекции LAO 90°.

б – ангиограмма левой внутренней сонной артерии в проекции RAO 90°.

Примечание: «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.

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 3** 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.

Сравнивая данные дозиметрии на фантоме, при проведении церебральной ангиографии и рентгенэндоваскулярной эмболизации аневризмы сосудов, нами было установлено, что во всех точках измерения мощность дозы значимо выше ($p < 0,05$) в левых боковой и косой ангиографических проекциях и может достигать значений до 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 проекциях вносят существенный вклад в увеличение уровня лучевой нагрузки на пациента и оператора. Исходя из вышеописанных выявленных закономерностей, на большом клиническом материале нами проведен 3 этап исследования, подтверждающий наши результаты.

Ретроспективно нами проанализированы значения ПДП ($\text{Гр} \times \text{см}^2$), времени рентгеноскопии (мин), 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. Характеристика пациентов представлена в **таблице 3**.

Между группами сравнения не было 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-перенаправляющих 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 между группами вмешательств на правой и левой ВСА. Однако доза, накопленная оператором, в группе РЭО аневризмы левой ВСА достоверно выше ($p = 0,04$) и в среднем составляет 40 мкЗв за процедуру (**рисунок 4**).

Таблица 3. Характеристика прооперированных пациентов

Переменная	Всего (n=87)	Правая ВСА (n=35)	Левая ВСА (n=52)	p
Возраст, M±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)	0,6
- 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-перенаправляющего 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 ² Me (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 Me (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 Me (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±SD - средняя ± стандартное отклонение, 95% ДИ - 95% доверительный интервал, Me - медиана, Q1-Q3 - интерквартильный размах.

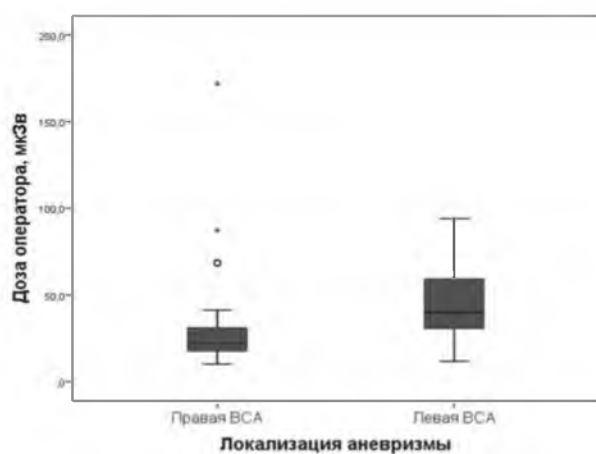


Рис. 4. Сравнение значений дозы облучения оператора при РЭО аневризмы правой и левой ВСА.

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 ($r_{xy}=0,702$; $p < 0,001$).

Обсуждение

Ранее опубликованные работы продемонстрировали, что при коронарной ангиографии и чрескожных коронарных вмешательствах на уровень лучевой нагрузки влияет изменение угла наклона рентгеновской трубки в разных плоскостях [6-8]. В нашей работе проведена комплексная оценка влияния основных проекций черепа, используемых для выполнения церебральной ангиографии и нейроинтервенций, на уровень облучения пациента и хирурга.

По данным Chun C.W. и соавт. [5], 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 черепа, что приводит к автоматическому изменению параметров ангиографической системы для обеспечения качественного изображения. Наши результаты согласуются с результатами Song Y. и соавтр. [2], 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° наблюдается статистически значимое снижение дозы облучения фантома на 10%, при изменении угла до 90° - на 17%. При рентгенографической съёмке достоверная разница между дозами облучения фантома в косой и боковой проекциях нами не обнаружена.

Сопоставляя данные доз профессионального облуче-

ния при использовании фантома и во время проведения церебральной ангиографии и нейроинтервенций, мы не обнаружили достоверных различий в средних значениях мощности эквивалентной дозы. При оценке рассеянного излучения от фантома и пациента, мы выявили что специалист по рентгенэндоваскулярной хирургии 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° градусов 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.

В исследовании Tarighatnia A. и соавтр., [9] при коронарной ангиографии проекции LAO так же ассоциировались с более высокой дозой облучения оператора, но при использовании трансрадиального доступа. В нашей работе все процедуры выполнены через бедренную артерию. При этом в той же работе сообщается, что наибольшая доза оператора определяется в краниальных проекциях, что так же не согласуется с результатами нашего исследования. Вероятнее всего, по нескольким причинам, связанным с особенностями проведения кардиологических инвазивных процедур, к примеру, использование других ангиуляций, зоны облучения, расположение оператора по отношению к рентгеновской трубке и другие.

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.

Уровни ПДП в группах выполненных операций на левой ВСА и правой ВСА не были статистически значимы, однако выявлены статистически значимые корреляционные связи дозы облучения оператора с ПДП, со 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 и уменьшения влияния ангиографической проекции на лучевую нагрузку.

Заключение

При проведении нейроинтервенционных процедур выбор оптимальных ангиографических проекций, с

более низкими дозами облучения, позволяет добиться значимого снижения лучевой нагрузки на пациента и оператора без потери качества визуализации патологических изменений. ■

Список литературы

1. Васеев Д.В., Рыжкин С.А., Шарафутдинов Б.М., и др. Современное состояние проблемы профессионального облучения медицинских работников, выполняющих вмешательства под контролем рентгеновского излучения. *Практическая медицина*. 2019; 17(7): 154-157.
<https://doi.org/10.32000/2072-1757-2019-7-154-157>
2. Song Y., Kim Y., Han S., et al. Estimated radiation dose according to the craniocaudal angle in cerebral digital subtraction angiography: Patient and phantom study. *J Neuroradiol*. 2019; 46(6): 345-350.
<https://doi.org/10.1016/j.neurad.2019.07.003>
3. Володюхин М.Ю., Алексеев А.Г., Данилов В.И. и др. Осложнения при эндоваскулярной окклюзии аневризм головного мозга в остром и холодном периодах субарахноидальных кровоизлияний. *Нейрохирургия*. 2013; (4): 53-57.
<https://doi.org/10.17650/1683-3295-2013-0-4-53-57>
4. Erskine B. Cerebral angiography. Reference article. Radiopaedia.org. 2016.
<https://doi.org/10.53347/rID-463494>
5. Chun C.W., Kim B.S., Lee C.H., et al. Patient radiation dose in diagnostic and interventional procedures for

- intracranial aneurysms: experience at a single center. *Korean J Radiol*. 2014; 15(6): 844-849.
<https://doi.org/10.3348/kjr.2014.15.6.844>
6. Kuon E., Dahm J.B., Empen K., et al. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2004; 44(7): 1420-1428.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.06.057>
7. Agarwal S., Parashar A., Bajaj N.S., et al. Relationship of beam angulation and radiation exposure in the cardiac catheterization laboratory. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014; 7(5): 558-566.
<https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.12.203>
8. Varghese A., Livingstone R.S., Varghese L., et al. Radiation doses and estimated risk from angiographic projections during coronary angiography performed using novel flat detector. *J Appl Clin Med Phys*. 2016; 17(3): 433-441.
<https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i3.5926>
9. Tarighatnia A., Mohammadalian A., Ghojzade M., et al. Beam projections and radiation exposure in transradial and transfemoral approaches during coronary angiography. *Anatol J Cardiol*. 2017; 18(4): 298-303.
<https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2017.7724>

References

1. Vaseev DV, Ryzhkin SA, Sharafutdinov BM, et al. Modern condition of the problem of occupational exposure of medical staff performing interventions under control of X-Ray. *Practical Medicine*. 2019; 17(7): 154-157 [In Russ].
<https://doi.org/10.32000/2072-1757-2019-7-154-157>
2. Song Y, Kim Y, Han S, et al. Estimated radiation dose according to the craniocaudal angle in cerebral digital subtraction angiography: Patient and phantom study. *J Neuro-radiol*. 2019; 46(6): 345-350.
<https://doi.org/10.1016/j.neurad.2019.07.003>
3. Volodiukhin MJ, Alekseev AG, Danilov VI, et al. The complications during endovascular treatment of cerebral aneurysms in acute and delayed period of subarachnoid hemorrhage. *Russian journal of neurosurgery*. 2013; (4): 53-57 [In Russ].
<https://doi.org/10.17650/1683-3295-2013-0-4-53-57>
4. Erskine B. Cerebral angiography. Reference article. Radiopaedia.org. 2016.
<https://doi.org/10.53347/rID-463494>
5. Chun CW, Kim BS, Lee CH, et al. Patient radiation dose in diagnostic and interventional procedures for

- intracranial aneurysms: experience at a single center. *Korean J Radiol*. 2014; 15(6): 844-849.
<https://doi.org/10.3348/kjr.2014.15.6.844>
6. Kuon E, Dahm JB, Empen K, et al. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2004; 44(7): 1420-1428.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.06.057>
7. Agarwal S, Parashar A, Bajaj NS, et al. Relationship of beam angulation and radiation exposure in the cardiac catheterization laboratory. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014; 7(5): 558-566.
<https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.12.203>
8. Varghese A, Livingstone RS, Varghese L, et al. Radiation doses and estimated risk from angiographic projections during coronary angiography performed using novel flat detector. *J Appl Clin Med Phys*. 2016; 17(3): 433-441.
<https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i3.5926>
9. Tarighatnia A, Mohammadalian A, Ghojzade M, et al. Beam projections and radiation exposure in transradial and transfemoral approaches during coronary angiography. *Anatol J Cardiol*. 2017; 18(4): 298-303.
<https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2017.7724>

Информация об авторах**ВАСЕЕВ ДМИТРИЙ ВАЛЬЕВИЧ** - [ODCID: 0000-0002-9409-8410]

аспирант кафедры лучевой диагностики, Казанская государственная медицинская академия - филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России;

врач по РЭДил, ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр»

БАГАВИЕВ АЙДАР АЛМАЗОВИЧ - [ODCID: 0000-0002-1593-7360]

врач по общей гигиене ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)»

ВОЛОДЮХИН МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ - [ODCID: 0000-0001-8245-1996]

д.м.н., зав. отд. РХМДил, ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр»; профессор кафедры кардиологии, сердечно-сосудистой и рентгенэндоваскулярной хирургии, Казанская государственная медицинская академия - филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО

Минздрава России;

доцент кафедры сердечно-сосудистой и эндоваскулярной хирургии ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России

РЫЖКИН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ - [ODCID: 0000-0003-2595-353X]

д.м.н., доцент, профессор кафедры общей гигиены с курсом радиационной гигиены, ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России;

доцент кафедры медицинской физики ФГАОУ ВО

«Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

заведующий кафедрой радиотерапии и радиологии им. акад. А.С. Павлова

ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России;

старший научный сотрудник ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»

МИХАЙЛОВ МАРС КОНСТАНТИНОВИЧ - [ODCID: 0000-0002-8431-7296]

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики, Казанская государственная медицинская академия - филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России;

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Публикация подготовлена в рамках под-держанного Правительством Республики Татарстан научного проекта № 09-55-юг.

Работа выполнена на базе отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения
ГАУЗ МКДЦ (г. Казань).