

© Коллектив авторов, 2021

УДК 616.8-073.75

## Оценка доз облучения пациентов при цереброваскулярных вмешательствах, проводимых под контролем рентгеновского излучения

*Д.В. Васеев<sup>1, 2</sup>, С.А. Рыжкин<sup>1, 3, 4</sup>, М.Ю. Володюхин<sup>1, 2, 3</sup>, М.К. Михайлов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Муштари, 11, Казань, 420012, Российская Федерация

<sup>2</sup> ГАУЗ «Межрегиональный клинико-диагностический центр», ул. Карбышева, 12а, Казань, 420101, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Бутлерова, 49, Казань, 420012, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ул. Кремлёвская, 18, Казань, 420008, Российская Федерация

Васеев Дмитрий Валерьевич, аспирант, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению; [orcid.org/0000-0002-9409-8410](http://orcid.org/0000-0002-9409-8410)

Рыжкин Сергей Александрович, доктор мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики, доцент кафедры общей гигиены с курсом радиационной гигиены; доцент кафедры медицинской физики; [orcid.org/0000-0003-2595-353X](http://orcid.org/0000-0003-2595-353X)

Володюхин Михаил Юрьевич, доктор мед. наук, профессор кафедры кардиологии, рентгенэндоваскулярной и сердечно-сосудистой хирургии, доцент кафедры сердечно-сосудистой и эндоваскулярной хирургии, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения; [orcid.org/0000-0001-8245-1996](http://orcid.org/0000-0001-8245-1996)

Михайлов Марс Константинович, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики; [orcid.org/0000-0002-8431-7296](http://orcid.org/0000-0002-8431-7296)

**Цель исследования** – определение уровней лучевой нагрузки на пациента при различных типах эндоваскулярных вмешательств, выполняемых на сосудах головного мозга под контролем рентгеновского излучения.

**Материал и методы.** Проведен ретроспективный анализ 199 рентгенэндоваскулярных процедур, включающих 82 диагностические церебральные ангиографии и 117 терапевтических вмешательств на сосудах головного мозга, выполненных в период с октября 2019 г. по март 2020 г.

**Результаты.** При церебральной ангиографии медианы произведения дозы на площадь ( $\text{ПДП}$ ,  $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), кумулятивной дозы ( $\text{мГр}$ ), времени рентгеноскопии (мин) и количества кадров рентгенографической съемки (ед) составили: 39,15  $\text{Гр} \times \text{см}^2$  (26,37–55,80  $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), 461,5 мГр (399–667 мГр), 5,53 мин (3,59–8,10 мин) и 197 ед (154–345 ед). При оперативных вмешательствах – 53,60  $\text{Гр} \times \text{см}^2$  (36,26–89,37  $\text{Гр} \times \text{см}^2$ ), 895 мГр (605–1541 мГр), 13,28 мин (9,29–20,16 мин) и 324 ед (185–595 ед).

**Заключение.** Наибольшие медианы ПДП и времени рентгеноскопии наблюдались при выполнении механической тромбоэкстракции и эмболизации артериовенозных fistул и мальформаций, наименьшие средние значения этих показателей были зарегистрированы при стентировании брахиоцефальных артерий. Необходимо дальнейшее изучение факторов, влияющих на лучевую нагрузку, для поисков путей её оптимизации.

**Ключевые слова:** дозовая нагрузка, эндоваскулярные вмешательства, церебральная ангиография, произведение дозы на площадь, радиационная безопасность, интервенционная нейрорадиология.

**Для цитирования:** Васеев Д.В., Рыжкин С.А., Володюхин М.Ю., Михайлов М.К. Оценка доз облучения пациентов при цереброваскулярных вмешательствах, проводимых под контролем рентгеновского излучения. Эндоваскулярная хирургия. 2021; 8 (2): 169–75. DOI: [10.24183/2409-4080-2021-8-2-169-175](https://doi.org/10.24183/2409-4080-2021-8-2-169-175)

**Для корреспонденции:** Васеев Дмитрий Валерьевич, e-mail: dvaseew@mail.ru

**Финансирование.** Публикация подготовлена в рамках поддержанного Правительством Республики Татарстан научного проекта № 09-35-ЭГ.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 19.04.2021  
Принята к печати 23.04.2021

## Assessment of patient radiation doses during interventional neuroradiology procedures performed under the control of X-ray

*D.V. Vaseev<sup>1, 2</sup>, S.A. Ryzhkin<sup>1, 3, 4</sup>, M.Yu. Volodyukhin<sup>1, 2, 3</sup>, M.K. Mikhaylov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Kazan State Medical Academy – branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, 420012, Russian Federation

<sup>2</sup>Interregional Clinical Diagnostic Center, Kazan, 420101, Russian Federation

<sup>3</sup>Kazan State Medical University, Kazan, 420012, Russian Federation

<sup>4</sup>Kazan Federal (Volga Region) University, Kazan, 420008, Russian Federation

Dmitriy V. Vaseev, Postgraduate, Endovascular Surgeon; orcid.org/0000-0002-9409-8410

Sergey A. Ryzhkin, Dr. Med. Sc., Associate Professor of Chair of Radiation Diagnostics, Associate Professor of General Hygiene Chair with the Course of Radiation Hygiene, Associate Professor of Chair of Medical Physics; orcid.org/0000-0003-2595-353X

Mikhail Yu. Volodyukhin, Dr. Med. Sc., Professor of Chair of Cardiology, X-ray Endovascular and Cardiovascular Surgery, Associate Professor of Chair of Cardiovascular and Endovascular Surgery, Head of Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment; orcid.org/0000-0001-8245-1996

Mars K. Mikhaylov, Dr. Med. Sc., Professor, Head of Chair of Radiation Diagnostics; orcid.org/0000-0002-8431-7296

**Objective.** To determine the levels of the patient dose load for various types of endovascular interventions performed on the vessels of the brain under the control of X-ray radiation.

**Material and methods.** A retrospective analysis of 199 X-ray endovascular procedures, including 82 diagnostic cerebral angiography and 117 therapeutic interventions on the cerebral vessels, performed from October 2019 to March 2020 were carried out.

**Results.** In cerebral angiography, the median kerma-area product (KAP, Gy×cm<sup>2</sup>), cumulative dose (mGy), fluoroscopy time (min) and the number of frames were 39.15 Gy×cm<sup>2</sup> (26.37–55.80 Gy×cm<sup>2</sup>), 461.5 mGy (399–667 mGy), 5.53 min (3.59–8.10 min) and 197 (154–345). In surgical interventions, the median kerma-area product, cumulative dose, fluoroscopy time and the number of frames were 53.60 Gy×cm<sup>2</sup> (36.26–89.37 Gy×cm<sup>2</sup>), 895 mGy (605–1,541 mGy), 13.28 min (9.29–20.16 min) and 324 (185–595).

**Conclusion.** The highest median KAP and fluoroscopy time were observed during mechanical thromboextraction and embolization of arteriovenous fistulas and malformations; the lowest mean values of KAP and fluoroscopy time were recorded during stenting of the brachiocephalic arteries. Further study of the factors influencing the radiation exposure is essential in order to search for new ways to optimize it.

**Keywords:** dose loading, endovascular interventions, cerebral angiography, kerma-area product, radiation safety, interventional neuroradiology.

**For citation:** Vaseev D.V., Ryzhkin S.A., Volodyukhin M.Yu., Mikhaylov M.K. Assessment of patient radiation doses during interventional neuroradiology procedures performed under the control of X-ray. *Russian Journal of Endovascular Surgery*. 2021; 8 (2): 169–75 (in Russ.). DOI: 10.24183/2409-4080-2021-8-2-169-175

**For correspondence:** Dmitriy V. Vaseev, e-mail: dvaseev@mail.ru

**Funding.** The publication was prepared within the framework of the scientific project No. 09-35-eG supported by the Government of the Republic of Tatarstan.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Received April 19, 2021

Accepted April 23, 2021

## Введение

Дигитальная субтракционная ангиография остается «золотым стандартом» для оценки многих цереброваскулярных нарушений [1]. Нейроинтервенционные процедуры становятся наиболее распространенными методами лечения сосудистой патологии головного мозга в связи с их высокой эффективностью и малой инвазивностью [2, 3].

На сегодняшний день в зарубежной и отечественной литературе опубликовано недостаточное количество данных об уровнях лучевой нагрузки при проведении рентгенохирургических вмешательств [4]. Учитывая увеличение частоты выполнения таких вмешательств, актуальным является изучение доз облучения и рисков радиационного воздействия.

Целью нашего исследования стало определение уровней дозовой нагрузки на пациента

при различных типах рентгенэндоваскулярных вмешательств, выполняемых на сосудах головного мозга.

## Материал и методы

В период с октября 2019 г. по март 2020 г. были собраны и изучены данные о 199 интервенционных нейрорадиологических процедурах (82 церебральные ангиографии, 117 оперативных вмешательств). Оценивались время рентгеноскопии (fluoroscopy time (FT), мин), производение дозы на площадь (ПДП, kerma-area product (KAP), Гр×см<sup>2</sup>), кумулятивная поглощенная доза (cumulative air kerma (CAK), мГр), количество кадров рентгенографической съемки (ед.).

Все рентгенохирургические процедуры были проведены операторами, ежегодно выполняющими более 30 лечебных вмешательств при сосудистой патологии головного мозга. Диагностические и лечебные вмешательства выполнялись

на ангиографической системе Innova 3100 IQ (GE Healthcare) с плоскопанельным детектором, со стандартным протоколом рентгеноскопии и дигитальной субтракционной ангиографии. Диагностические и лечебные процедуры проводились трансфеморальным или трансррадиальным доступом в зависимости от типа эндоваскулярного вмешательства и предпочтений оператора.

Статистический анализ данных осуществлялся с использованием программного пакета SPSS Statistics (IBM). Обработка данных основывалась на описательных статистических методах. Распределение всех количественных переменных оценивали с помощью теста Шапиро–Уилка на нормальность. Количественные переменные были описаны с использованием среднего значения, стандартного отклонения, диапазона – для нормально распределенных данных и дополнены медианным и межквартильным размахом – для ненормально распределенных данных. Для сравнительного анализа средних значений при нормальном распределении применялся критерий Стьюдента, при неизвестном – критерии Манна–Уитни и Краскела–Уоллиса. Для всех статистических расчетов использовался уровень достоверности 95%, а значение  $p \leq 0,05$  считалось значимым.

## Результаты

Основные характеристики пациентов, включенных в исследование, представлены в табли-

це 1. Достоверной разницы по возрасту и полу среди пациентов, перенесших церебральную ангиографию ( $p = 0,74$ ) и интервенционные процедуры ( $p = 0,54$ ), не выявлено. В группе больных мужского пола наблюдалось достоверное увеличение уровня ПДП ( $p = 0,02$ ).

Полученные данные о дозах облучения не имеют нормального распределения. На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы ПДП при церебральной ангиографии и основных типах оперативных вмешательств.

В ходе сравнительного анализа параметров лучевой нагрузки отмечена статистически значимая разница ( $p < 0,05$ ) между медианами ПДП, кумулятивной дозы и времени рентгеноскопии при диагностической церебральной ангиографии и эндоваскулярными терапевтическими вмешательствами (табл. 2).

В таблице 3 представлены медианы исследуемых параметров при различных лечебных вмешательствах.

При сравнении параметров дозовой нагрузки (метод Краскела–Уоллиса) наибольшие медианы ПДП, времени рентгеноскопии наблюдались при выполнении механической тромбоэкстракции ( $112,69 \text{ Гр} \times \text{см}^2$ , 18,45 мин) и эмболизации артериовенозных fistул и мальформаций ( $127,37 \text{ Гр} \times \text{см}^2$ , 24,50 мин) (табл. 4, 5, рис. 3, 4). Наименьшие значения данных параметров были зарегистрированы при стентировании брахиоцефальных сосудов.

Таблица 1  
Демографические показатели пациентов

Тип процедуры	Количество процедур, <i>n</i>	Пол, <i>n</i> (%)		Средний возраст, $M \pm m$ (95% ДИ), лет
		мужской	женский	
Церебральная диагностическая ангиография	82	37 (45,12)	45 (54,88)	$53,17 \pm 14,71$ (49,26–56,40)
Церебральные терапевтические вмешательства	117	62 (52,99)	55 (47,01)	$60,38 \pm 14,02$ (57,80–62,96)
эмболизация аневризмы	53	20 (37,74)	33 (62,26)	$52,74 \pm 14,06$ (48,86–56,61)
эмболизация АВМ/АВФ	5	3 (60)	2 (40)	$49 \pm 11,75$ (30,31–67,69)
механическая тромбоэкстракция	12	8 (67)	4 (33)	$72,08 \pm 8,7$ (66,55–77,61)
каротидное стентирование	36	23 (63,9)	13 (36,1)	$67,80 \pm 9,53$ (64,53–71,07)
стентирование позвоночных артерий	11	8 (72,72)	3 (27,28)	$67,73 \pm 6,99$ (59,03–68,42)
Всего	199	99 (49,75)	100 (50,25)	$57,39 \pm 14,71$ (55,33–59,46)

Примечание. АВМ – артериовенозная мальформация; АВФ – артериовенозная fistula.

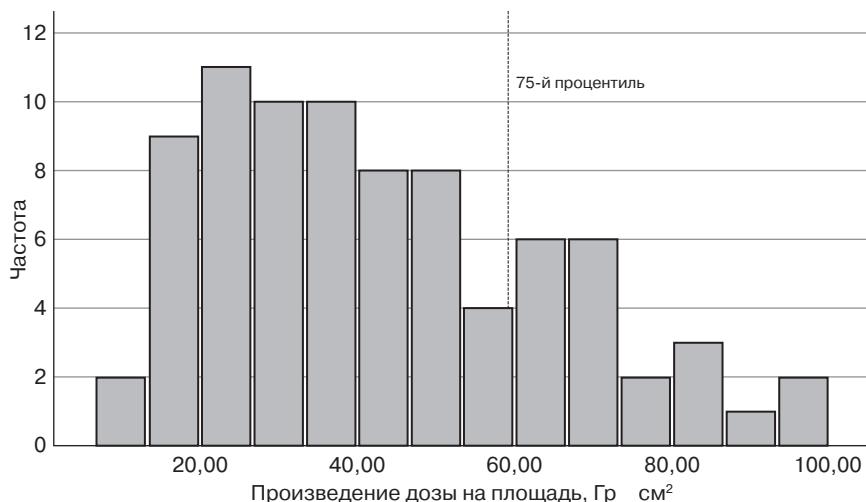


Рис. 1. Распределение показателя ПДП при церебральной ангиографии. Пунктирной линией отмечен 75-й процентиль

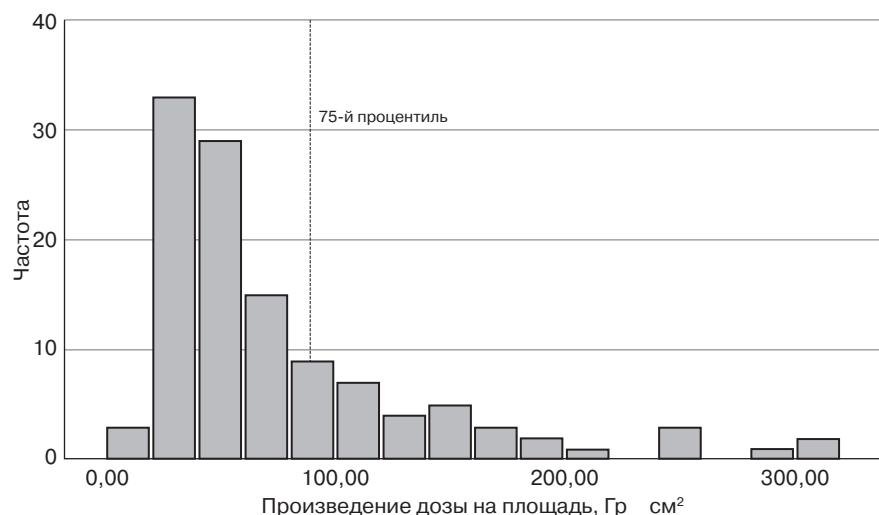


Рис. 2. Распределение показателя ПДП при нейроинтервенционных процедурах. Пунктирной линией отмечен 75-й процентиль

Таблица 2

Средние значения параметров дозовой нагрузки при церебральной ангиографии и церебральных терапевтических вмешательствах

Показатель	Всего		Церебральная диагностическая ангиография (n=82)		Церебральные терапевтические вмешательства (n=117)		p
	Ме	Q1–Q3	Ме	Q1–Q3	Ме	Q1–Q3	
КАР, Гр·см <sup>2</sup>	47,97	31,75–73,90	39,15	26,37–55,80	53,60	36,26–89,37	<0,001
САК, мГр	707	407–1271	461,5	399–667	895*	605–1541	<0,05
FT, 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

\*С учетом отсутствия данных о параметрах лучевой нагрузки при эмболизации артериовенозных мальформаций и fistул.

## Обсуждение

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 опти-

мизации лучевой нагрузки и оптимального контроля радиационного облучения пациентов. Мировые литературные данные, посвященные вопросам изучения радиационных доз при эндоваскулярных вмешательствах, выполняемых на церебральных сосудах, крайне ограниченны. В нашем исследовании проведен анализ уровней лучевой нагрузки как при диагностической

Таблица 3

**Результаты дозиметрического исследования при основных типах церебральных оперативных вмешательств**

Показатель	РЭО аневризмы	МТЭ	РЭО АВФ/АВМ	Каротидное стентирование	Стентирование ПА
Количество процедур	53	12	5	36	11
KAP, Me (Q1–Q3), Гр×см <sup>2</sup>	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)
FT, Me (Q1–Q3), мин	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)
Кумулятивная доза, Me (Q1–Q3), мГр	1449 (895–1993)	2334 (1541–3127)	—	369,5 (339–400)	656 (440,5–739)
Количество кадров, Me (Q1–Q3), ед	511 (273–1175)	1756 (541–2972)	—	149 (132–166)	174 (140–255)

Примечание. РЭО – рентгенэндоваскулярная окклюзия; МТЭ – механическая тромбоэкстракция; ПА – позвоночная артерия.

Таблица 4

**Значение p-value для сравнения медиан ПДП при основных типах вмешательств**

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

\*p < 0,05.

Таблица 5

**Значение p-value для сравнения медиан времени рентгеноскопии при основных типах вмешательств**

Тип оперативного вмешательства	Эмболизация аневризмы	РЭО АВФ/АВМ	МТЭ	Каротидное стентирование	Стентирование ПА
Эмболизация аневризмы	—	—	—	—	—
Эмболизация АВФ/АВМ	0,265	—	—	—	—
МТЭ	0,326	0,648	—	—	—
Каротидное стентирование	<0,001*	0,006*	<0,001*	—	—
Стентирование ПА	0,006*	0,011*	0,004*	0,894	—

\*p < 0,05.

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 [5–7]. В нашей работе в качестве референтных диагностических уровней мы использовали 75-й процентиль (третий quartile, Q3) основных дозиметрических величин – произведение дозы на площадь, суммарное время рентгеноскопии, количество кадров рентгеновской съёмки (см. табл. 2, 3).

Полученные нами медианные значения ПДП, кумулятивной дозы, времени рентгеноскопии и количества кадров при проведении церебральной ангиографии составили 39,15 Гр×см<sup>2</sup>

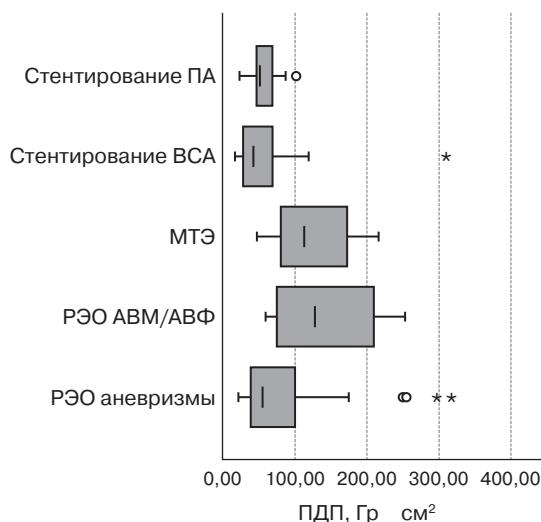


Рис. 3. Значения ПДП при основных нейроинтервенционных процедурах

(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 Y.K. Ihn et al. данные параметры были значимо выше и составляли 106,2±66,4 Гр·см<sup>2</sup>, 697,1±473,7 мГр, 9,7±6,5 мин, 241,5±116,6 кадров [8]. В работах других авторов также наблюдаются более высокие показатели ПДП, однако время рентгеноскопии – ниже [4, 9]. Стоит отметить, что в этих работах рентгенохирургические 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 других авторов, мы отметили в нашей работе более высокие показатели дозы облучения пациентов и времени рентгеноскопии [10, 11]. 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.

Представленная нами работа – pilotный проект по оценке лучевой нагрузки при нейроинтервенционных процедурах, и малое количество наблюдений является недостатком этого исследования. Из-за большой индивидуальной вариабельности значений параметров лучевой нагрузки для получения достоверных показателей необходимо производить измерения при

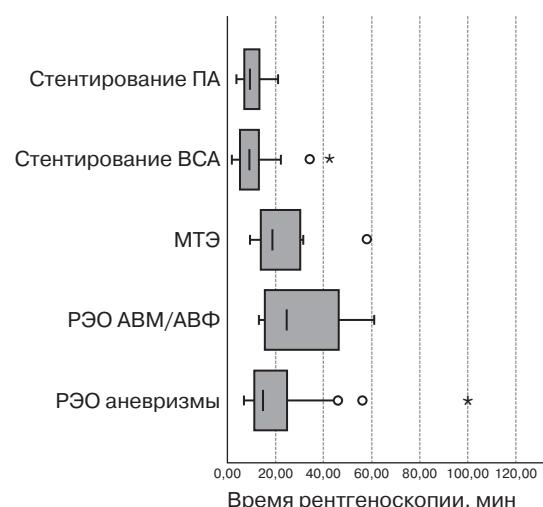


Рис. 4. Значения времени рентгеноскопии при основных нейроинтервенционных процедурах

10 и более процедурах одного типа для определения средних значений дозы [5]. По данным других авторов, для достижения достоверных результатов требуется сравнение показателей лучевой нагрузки при 50 и более процедурах одного типа в одном лечебном учреждении [8, 12]. В нашем исследовании наименьшее количество наблюдений было зафиксировано при процедурах эмболизации артериовенозных fistул и мальформаций, и параметры дозы были наибольшими, что существенно снижает качество интерпретации результатов при данном виде вмешательств и усложняет поиски путей оптимизации лучевой нагрузки. Для получения более достоверных данных о лучевой нагрузке при проведении нейроинтервенционных процедур требуется совместное исследование нескольких медицинских учреждений, выполняющих больший объем подобных вмешательств.

## Заключение

Наибольшие медианы ПДП и времени рентгеноскопии наблюдались при выполнении механической тромбоэкстракции и эмболизации артериовенозных fistул и мальформаций, наименьшие средние значения этих показателей были зарегистрированы при стентировании брахиоцефальных артерий. Необходимо дальнейшее изучение факторов, влияющих на лучевую нагрузку, для поисков путей её оптимизации.

## Литература/References

- Pearl M.S., Torok C., Wang J., Wyse E., Mahesh M., Gailloud P. Practical techniques for reducing radiation exposure

- during cerebral angiography procedures. *J. Neurointerv. Surg.* 2015; 7 (2): 141–5. DOI: 10.1136/neurintsurg-2013-010982
2. Brinjikji W., Rabinstein A.A., Lanzino G., Kallmes D.F., Cloft H.J. 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. *Am. J. Neuroradiol.* 2011; 32 (6): 1065–70. DOI: 10.3174/ajnr.A2446
  3. Berkhemer O.A., Fransen P.S., Beumer D., van den Berg L.A., Lingsma H.F., Yoo A.J. et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N. Engl. J. Med.* 2015; 372 (1): 11–20. DOI: 10.1056/NEJMoa1411587
  4. Hassan A.E., Amelot S. Radiation exposure during neurointerventional procedures in modern biplane angiographic systems: a single-site experience. *Interv. Neurol.* 2017; 6 (3–4): 105–16. DOI: 10.1159/000456622
  5. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP publication 135. *Ann. ICRP.* 2017; 46: 1–71.
  6. Establishing guidance levels in X-ray guided medical interventional procedures: a pilot study. Safety Report Series 59. Vienna: IAEA; 2009: 1–147.
  7. Chun C.W., Kim B.S., Lee C.H., Ihn Y.K., Shin Y.S. Patient radiation dose in diagnostic and interventional procedures for intracranial aneurysms: experience at a single center. *Korean J. Radiol.* 2014; 15 (6): 844–9. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.6.844
  8. Ihn Y.K., Kim B.S., Byun J.S., Suh S.H., Won Y.D., Lee D.H. et al. Patient radiation exposure during diagnostic and therapeutic procedures for intracranial aneurysms: a multicenter study. *Neurointervention.* 2016; 11 (2): 78–85. DOI: 10.5469/neuroint.2016.11.2.78
  9. Lukić S., Rasulić L., Kovačević V., Vitošević F., Savić A., Mijailović M. Radiation exposure during neurointerventional procedures in modern angiographic systems: a single center experience. *Vojnosanit. Pregl.* 2020; 77 (9): 962–6. DOI: 10.2298/VSP180112024L
  10. Klepanec A., Salat D., Harsany J., Hoferica M., Krastev G., Haring J. et al. Neurointerventionalist and patient radiation doses in endovascular treatment of acute ischemic stroke. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 2020; 43 (4): 604–12. DOI: 10.1007/s00270-020-02412-w
  11. Farah J., Rouchaud A., Henry T., Regen C., Mihalea C., Moret J. et al. Dose reference levels and clinical determinants in stroke neuroradiology interventions. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (2): 645–53. DOI: 10.1007/s00330-018-5593-x
  12. Vano E., Järvinen H., Kosunen A., Bly R., Malone J., Dowling A. et al. Patient dose in interventional radiology: a European survey. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2008; 129 (1–3): 39–45. DOI: 10.1093/rpd/ncn024