



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья  
УДК 616.137, 616.135  
<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-2-10-26>

# Оптимизация лучевой нагрузки при обследовании пациентов с патологией краниовертебральной области

Александра Дмитриевна Гукова<sup>1</sup>, Виктория Васильевна Петровская<sup>2</sup>,  
Яков Александрович Лубашев<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Медицинское частное учреждение «Отраслевой клинико-диагностический центр ПАО «Газпром»» (ОКДЦ ПАО «Газпром»), Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации НОИ стоматологии им. А. И. Евдокимова, Москва, Россия

<sup>1</sup> p-aleksa-93@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1768-5192>

<sup>2</sup> VVPetrovskay@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9913>

<sup>3</sup> lubayaka@medgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4792-7529>

Автор, ответственный за переписку: Александра Дмитриевна Гукова,  
p-aleksa-93@yandex.ru

### Резюме

В основу диагностики заложен принцип получения информативных и качественных изображений при минимальной лучевой нагрузке методов лучевой диагностики: традиционной рентгенографии, мультиспиральной и конусно-лучевой компьютерной томографии. При проведении рентгенологических исследований основными факторами снижения риска облучения являются применение высокочувствительных цифровых приемников диагностического изображения, минимальное время экспозиции, минимальное количество снимков за исследование. Меньшее значение тока и высокие показатели анодного напряжения, минимальный размер фокусного пятна, расположение трубки как можно дальше от пациента, а приемника изображения как можно ближе к пациенту, коллимация пучка излучения, предпочтение режиму низкой мощности дозы излучения также являются факторами снижения риска облучения.

Визуализация краниовертебральной области с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии предлагает возможность подробной оценки структуры костной ткани данной области с равной или меньшей эффективной дозой для пациента.

**Ключевые слова:** лучевая нагрузка, краниовертебральная область, конусно-лучевая компьютерная томография, мультиспиральная компьютерная томография, стандартная рентгенография

© Гукова А. Д., Петровская В. В., Лубашев Я. А., 2024

**Для цитирования:** Гукова А. Д., Петровская В. В., Лубашев Я. А. Оптимизация лучевой нагрузки при обследовании пациентов с патологией краниовертебральной области // Радиология – практика. 2024;2:10-26. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-2-10-26>

#### **Источники финансирования**

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

#### **Соответствие принципам этики**

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

## **ORIGINAL RESEARCH**

Original research

# **Optimization of Radiation Exposure when Examining Patients with Pathology of the Craniovertebral Region**

**Aleksandra D. Gukova<sup>1</sup>, Victoriya V. Petrovskay<sup>2</sup>, Yakov A. Lubashev<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Department of ICDC of PAO «Gazprom», Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Russian University of Medicine», Ministry of Healthcare of Russia, Moscow, Russia

<sup>1</sup> p-aleksa-93@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1768-5192>

<sup>2</sup> VVPetrovskay@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9913>

<sup>3</sup> lubayaka@medgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4792-7529>

Corresponding author: Aleksandra D. Gukova, p-aleksa-93@yandex.ru

#### **Abstract**

The diagnostics are based on the principle of obtaining informative and high-quality images with minimal radiation exposure using radiation diagnostic methods: traditional radiography, multislice and cone-beam computed tomography.

When conducting X-ray examinations, the main factors in reducing the risk of radiation exposure are the use of highly sensitive digital diagnostic image receivers, minimal exposure time, and a minimum number of images per examination. A lower current value and high anode voltage values, a minimum focal spot size, the placement of the tube as far as possible from the patient

and the image receiver as close to the patient as possible, collimation of the radiation beam, and preference for a low radiation dose rate mode are also factors in reducing the risk of radiation exposure.

Imaging of the craniovertebral region using cone beam computed tomography offers the opportunity to evaluate the bone structure of the region in detail, with an equal or less effective dose to the patient.

**Keywords:** Radiation Exposure, Craniovertebral Region, Cone Beam Computed Tomography, Multislice Computed Tomography, Standard Radiography

**For citation:** Gukova A. D., Petrovskaya V. V., Lubashev Ya. A. Optimization of Radiation Exposure when Examining Patients with Pathology of the Craniovertebral Region. *Radiology – Practice*. 2024;2:10-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-2-10-26>

### Funding

The study was not funded by any sources.

### Conflicts of Interest

The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

### Compliance with Ethical Standards

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

---

## Актуальность

Вопрос состояния дозиметрии краниовертебральной области методом конусно-лучевой компьютерной томографии в отечественной литературе остается малоизученным в связи с тем, что большинство работ направлены на оценку данной области методами традиционной рентгенографии и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) [2, 3, 9–11].

При сравнении дозовой нагрузки при рентгенографии и конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) предпочтительным методом диагностики является КЛКТ. Изображения, полученные при КЛКТ, отличаются высоким пространственным разрешением, возможностью построения мультипланар-

ных реконструкций в отличие от метода рентгенографии при относительно низкой дозе облучения [1, 12–15].

Необходимость оценки лучевой нагрузки краниовертебральной области (КВО) обусловлена отсутствием в отечественной и зарубежной литературе точных данных о достоверно зафиксированной дозе облучения при использовании различных рентгенологических методов. Так как метод рентгенологического исследования следует выбирать с учетом минимизации лучевой нагрузки на пациента и на основе принципа «максимально низкая доза для достижения результата», то сравнение дозовой нагрузки, полученной при проведении традиционной рентгенографии, МСКТ и КЛКТ, становится наиболее актуальным [6–8, 10, 11].

**Цель:** установить оптимальную методику при обследовании краниовертебральной области путем оценки индивидуальной и популяционной лучевой нагрузки на пациента.

## Материалы и методы

Обследование пациентов с патологическими изменениями КВО проводилось в амбулаторных условиях в подразделениях клинично-диагностического центра ведомственной принадлежности. Всего было диагностировано 170 пациентов в группах до и старше 18 лет.

Все пациенты или их законные представители подписывали информированное добровольное согласие на проведение лучевых исследований. Традиционную рентгенографию проводили на аппарате CLINODIGIT (Italray, Италия), МСКТ – на аппарате TOSHIBA «Aquilion One 640», КЛКТ – на аппарате «Gendex CB 500» (производство США). Для ретроспективного и проспективного анализа использовались медицинская информационная система (HIS) и система архивации медицинских изображений (PACS, Sidexis, Gendex) с пакетами прикладных программ для анализа медицинских изображений.

Эффективную эквивалентную дозу по традиционной рентгенографии использовали из таблиц, полученных расчетным методом. Среднюю эффективную эквивалентную дозу оценивали из всей выборки данных по возрастным группам.

Эффективную дозу облучения пациентов методом КЛКТ определяли на основании нормативных документов: МР от 12.12.2007 № 0100/12883-07-34 п. 5.3 и п. 5.7, а также МУ 2.6.1.2944-11 [4, 5]. В процессе дозиметрии использовался дозиметр универсальный «Piranha R F/M 657» с погрешностью измерения  $\pm 5\%$ .

Анализ эффективной дозы облучения МСКТ КВО, как индивидуальной, так и популяционной, проводился из данных

обследования МСКТ головного мозга и шейного отдела позвоночника, при котором в зону сканирования попадала интересующая нас область. Эффективную дозу облучения пациентов методом МСКТ определяли в соответствии с п. 4.3 Методических указаний (МУ) 2.6.1. 2944–11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» [4]. В данной работе у всех пациентов, которым проводилось МСКТ-исследование КВО, оценивались CTDI (CT Dose Index), DLP (Dose Length Product) и протяженность сканирования (Scan Range). CTDI служит мерой поглощенной дозы облучения (единица измерения мГр) и является непосредственно измеряемым дозиметрическим параметром. DLP – поглощенная доза за все КТ-исследование с учетом протяженности области сканирования и количества повторных сканирований. Исходя из показателей DLP у обследуемого пациента рассчитывалась эффективная доза облучения (E).

Рассчитывается E с учетом взвешивающих коэффициентов для видов излучения, характеризующих их проникающую способность (для рентгеновских лучей этот коэффициент равен 1), и взвешивающих коэффициентов, характеризующих радиочувствительность конкретных тканей и органов.

В данной статье E рассчитывалась из DLP с использованием коэффициента пересчета:

$$E = DLP \times Edlp$$

где E (эффективная доза) – мЗв, DLP (Dose Length Product) – поглощенная доза излучения за все КТ-исследования с учетом длины сканируемой области и количества сканирований.

## Результаты

Обследовано 170 пациентов, с лучевой нагрузкой выполнено 472 исследования. Традиционная рентгенография шейного отдела позвоночника (ШОП) была выполнена 53 (31,1 %) пациентам,

рентгенография ШОП с функциональными пробами (ФП) использовалась у 78 (45,8 %) обследуемых, трансоральная рентгенография у 55 (32,3 %) пациентов, КЛКТ у 170 пациентов (100 %), дополнительно с ФП у 15 пациентов (8,8%), МСКТ выполнено в 48,2 % случаев только взрослым.

На рис. 1 представлено распределение лучевых исследований в группах пациентов до и старше 18 лет.

Расчетные значения эффективных доз при проведении рентгенодиагностических исследований у пациентов в возрасте до 9 лет, полученные нами в результате дозиметрического контроля, представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, эффективная доза при стандартной цифровой рентгенографии в возрастной категории обследуемых пациентов до 9 лет колебалась в пределах 0,015–0,036 мЗв в зависи-

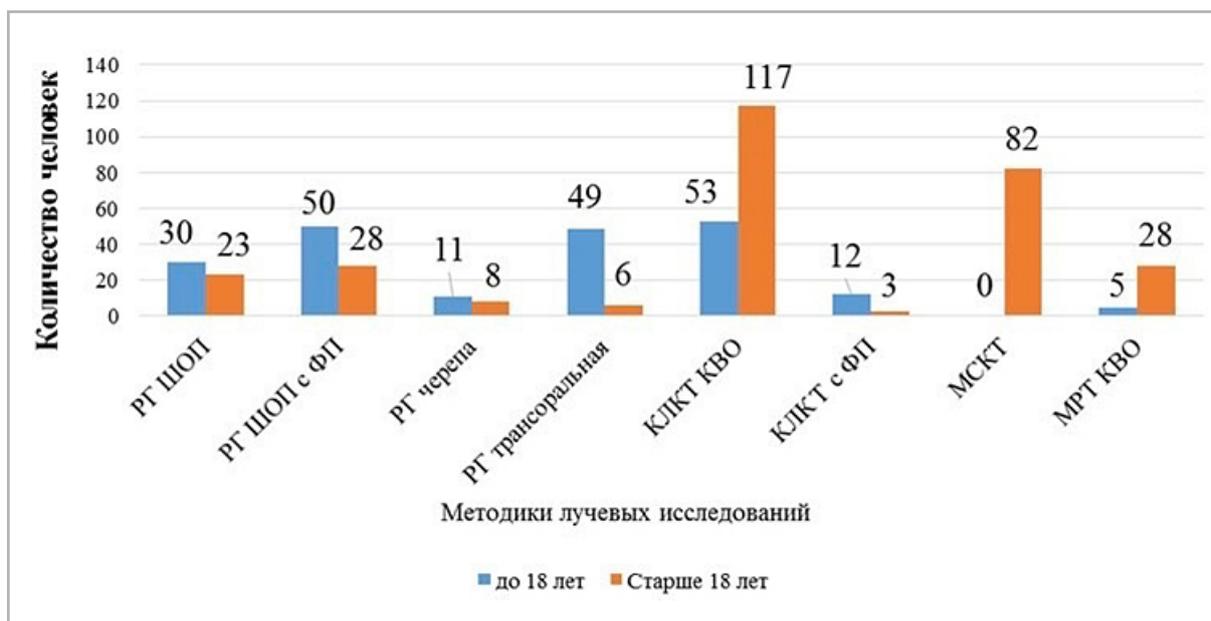


Рис. 1. Диаграмма распределения лучевых исследований в группах пациентов до и старше 18 лет

Таблица 1

**Расчетные значения эффективных доз при проведении традиционных рентгенологических исследований в возрасте до 9 лет**

Область исследования и размер матрицы	Проекция	Параметры, кв/мАс	Эффективная доза, Е (мЗв)
Череп, 24 × 30 см	Боковая	65/32	0,036
Рентгенография трансоральная, 18 × 24 см	Передне-задняя	57/25	0,018
Шейный отдел позвоночника, 18 × 24 см	Передне-задняя	57/25	0,018
	Боковая	57/25	0,015
	Сгибание	57/25	0,015
	Разгибание	57/25	0,015

мости от исследуемой области. Максимальная доза отмечалась в наиболее информативной плоскости для расчета линейно-угловых показателей — в боковой проекции черепа. В исследованиях трансоральной рентгенографии и шейного отдела позвоночника эффективная доза чередовалась от 0,015 до 0,018 мЗв. Среднее значение эффективной дозы

при проведении традиционных рентгенологических исследований в возрасте до 9 лет составило 0,019 мЗв.

Расчетные значения эффективных доз при проведении рентгенодиагностических исследований у пациентов в возрасте от 9 до 18 лет, полученные нами в результате дозиметрического контроля в кабинете, представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетные значения эффективных доз при проведении традиционных рентгенологических исследований в возрасте от 9 до 18 лет**

Область исследования и размер матрицы	Проекция	Параметры, кв/мАс	Эффективная доза, Е (мЗв)
Череп, 24 × 30 см	Боковая	70/32	0,024
Рентгенография трансоральная, 18 × 24 см	Передне-задняя	60/32	0,039
Шейный отдел позвоночника, 18 × 24 см	Передне-задняя	60/32	0,039
	Боковая	60/32	0,024
	Сгибание	60/32	0,024
	Разгибание	60/32	0,024

В представленной табл. 2 эффективная доза при стандартной цифровой рентгенографии в возрастной категории от 9 до 18 лет находилась в диапазоне 0,024–0,039 мЗв. Максимальные показатели эффективной эквивалентной дозы отмечались при выполнении рентгенографии через открытый рот, где оцениваются линейные изменения в фасеточных суставах и Крювелье. Значительный вклад в популяционную лучевую нагрузку в данной возрастной категории вносили рентгенография шейного отдела позвоночника в прямой проекции и рентгенография С1–С2 позвонков через открытый рот (0,039 мЗв). Среднее значение эффективной дозы при проведении традиционных рентгенологических исследований в возрасте от 9 до 18 лет составило 0,029 мЗв.

Расчетные значения эффективных доз при проведении рентгенодиагностических исследований у взрослых пациентов в возрастном диапазоне старше 18 лет, полученные нами в результате дозиметрического контроля в кабинете, представлены в табл. 3.

При анализе табл. 3 эффективная эквивалентная доза (Е, мЗв) при стандартной цифровой рентгенографии у взрослых пациентов находилась в диапазоне от 0,02 до 0,161 мЗв. Максимальный вклад в популяционную лучевую нагрузку внесла рентгенография шейного отдела позвоночника с функциональными пробами и составила 0,372 мЗв. Среднее значение эффективной дозы при проведении традиционных рентгенологических исследований в возрасте старше 18 лет составило 0,075 мЗв.

Таблица 3

**Расчетные значения эффективных доз при проведении рентгенологических исследований пациентов старше 18 лет**

Область исследования и размер матрицы	Проекция	Параметры, кв/мАс	Эффективная доза, Е (мЗв)
Череп, 24 × 30 см	Боковая	70/32	0,03
Рентгенография трансоральная, 18 × 24 см	Передне-задняя	70/32	0,05
Шейный отдел позвоночника, 18 × 24 см	Передне-задняя	70/32	0,02
	Боковая	75/40	0,03
	Сгибание	75/40	0,161
	Разгибание	75/40	0,161

Среди 170 пациентов традиционная рентгенография черепа в возрасте до 9 лет выполнялась 3 пациентам, в группах 9–18 лет и старше 18 лет — 8 обследуемым. Рентгенография шейного отдела позвоночника в возрасте до 9 лет проводилась 8 пациентам, 9–18 лет — 22 обследуемым, старше 18 лет — 23 пациентам. Рентгенография шейного отдела позвоночника с функциональными пробами в возрастной группе до 9 лет проводилась 9 пациентам, 9–18 лет — 41 обследуемому, старше 18 лет — 28 пациентам. Трансоральная рентгенография в возрасте до 9 лет выполнялась 7 пациентам, 9–18 лет — 41 обследуемому, старше 18 лет — 28 пациентам.

Результаты популяционной лучевой нагрузки при традиционной рентгенографии представлены на рис. 2.

При анализе диаграммы установлено, что значительную популяционную нагрузку вносит рентгенография шейного отдела позвоночника с функциональными пробами в возрастной группе старше 18 лет (10,416 мЗв). Популяционная лучевая нагрузка методом рентгенографии в нашем исследовании составила 22,911 мЗв, что составило 5,5 % от общей популяционной нагрузки всех лучевых методов исследования.

Метод МСКТ до установки нозологической формы патологических изменений КВО был выполнен 82 пациентам

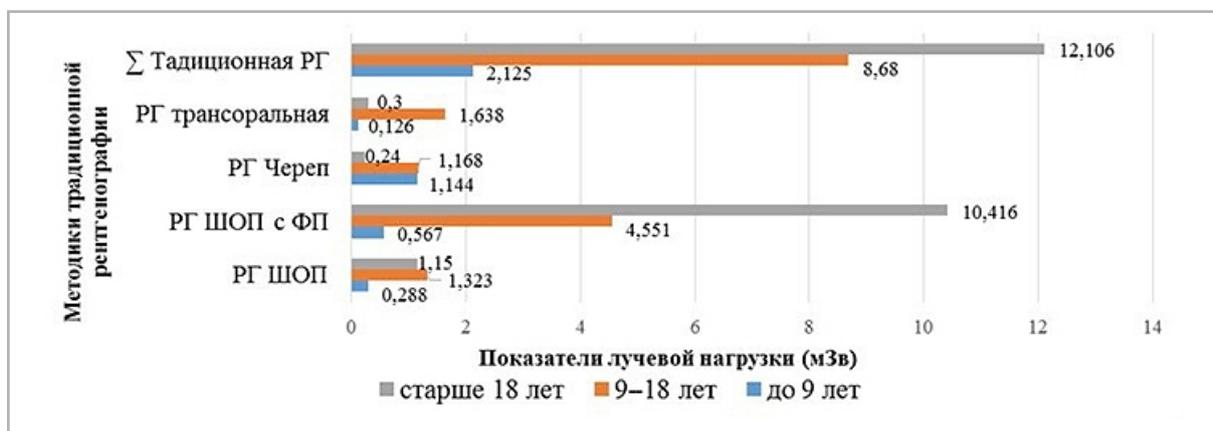


Рис. 2. Диаграмма распределения показателей популяционной лучевой нагрузки при обследовании методом традиционной рентгенографии (мЗв)

старше 18 лет, что составило 48,2 % от общего количества пациентов.

В табл. 4 приведены расчеты лучевой нагрузки при МСКТ, где основным критерием определения лучевой нагрузки является DLP, который получается из протокола сканирования МСКТ.

В табл. 4 максимальный дозовый коэффициент представлен при обследовании шейного отдела позвоночника. В диагностике изменений краниовертебральной зоны эффективная эквивалентная доза отличается при обследовании головы и шеи на 14,2 % соответственно. Эффективная доза при МСКТ у взрослых варьировала от  $4,144 \pm 0,239$  мЗв при обследовании головы, до  $4,832 \pm 0,279$  мЗв при обследовании шейного отдела позвоночника.

В табл. 5 продемонстрировано распределение популяционной лучевой нагрузки при обследовании пациентов методом МСКТ.

Как видно из табл. 5, МСКТ головного мозга в категории обследуемых

старше 18 лет было выполнено 14 пациентам, что составило 10,7 % от общего числа пациентов, среднее значение лучевой нагрузки – 4,14 мЗв, суммарная популяционная лучевая нагрузка составила 57,96 мЗв. МСКТ шейного отдела позвоночника была проведена 68 пациентам (52 %), среднее значение лучевой нагрузки – 4,83 мЗв. Итоговая популяционная лучевая нагрузка методом МСКТ в нашем исследовании составила 386,4 мЗв.

КЛКТ была выполнена 170 пациентам (100 %), в том числе с функциональными пробами 15 пациентам (3,0 %).

Расчетные значения эффективных доз при проведении КЛКТ краниовертебральной области у пациентов различных возрастных групп не отличались и представлены в табл. 6.

По данным табл. 6, среднее значение эффективной дозы при КЛКТ КВО в стандартном исследовании, которое проводилось всем 170 пациентам, находилась в диапазоне от  $0,01 \pm 0,002$  до

Таблица 4

**Значения эффективных доз при проведении МСКТ с учетом технических параметров**

Область исследования	U, кВ	I, мА	T, мм	K, мм	t <sub>0</sub> , с	p	S, см	CTDI <sub>vol/w</sub> , мГр	Кст, мЗв* мГр <sup>-1*</sup> см <sup>-1</sup>	E, мЗв
Голова	120	340	0,5	16	0,75	0,66	20	90,1 ± 4,5	0,0023	4,144 ± 0,239
Шейный отдел позвоночника	120	220	0,5	32	0,5	0,64	15	59,7 ± 3,0	0,0054	4,832 ± 0,279

Таблица 5

**Распределение популяционной лучевой дозовой нагрузки при проведении МСКТ**

Область исследования	Количество человек	E, мЗв	Σ, мЗв
ГМ	14	4,14	57,96
ШОП	68	4,83	328,44
Итого:	82	4,71	386,4

Таблица 6

**Расчетные значения эффективных доз при проведении КЛКТ КВО**

Вид и область исследования, размер матрицы	Параметры		Эффективная доза, Е (мЗв)
	U, кВ	I, мА	
КЛКТ КВО (стандартное исследование), 14 × 8,5 см (высокое разрешение)	120	30,89	0,041 ± 0,003
КЛКТ КВО (стандартное исследование), 14 × 8,5 см (низкодозное исследование)	120	16,89	0,023 ± 0,002
КЛКТ КВО (с ФП), 14 × 8,5 см (низкодозное исследование)	120	16,89	0,069 ± 0,002
КЛКТ КВО (стандартное исследование), 8,5 × 8,5 см (исследование с малым полем)	120	8,92	0,01 ± 0,002
КЛКТ КВО (с ФП), 8,5 × 8,5 см (исследование с малым полем)	120	8,92	0,03 ± 0,002

0,023 ± 0,002 мЗв, что связано с размером поля сканирования. Эффективная эквивалентная доза при КЛКТ краниовертебральной зоны с высоким разрешением (ВР) составляла 0,041 ± 0,003 мЗв.

Исследование КВО с ФП дополнительно проводилось 15 пациентам с техническими параметрами низкодозового исследования или исследования с малым полем сканирования. Среднее значение эффективной дозы при КЛКТ КВО в режиме низкодозного исследования с ФП (которое включало в себя проведение стандартного исследования, а также дополнительно в положении максимального сгибания и разгибания) варьировалась в диапазоне 0,069 ± 0,002 мЗв, при сканировании исследования с малым полем находилась в пределах 0,03 ± 0,002 мЗв.

Показатели эффективной эквивалентной дозы в популяции напрямую связаны с конституциональными особенностями пациента, вне зависимости от возраста, и опытом рентгенолаборанта, выполняющего исследование. В оптимальных условиях, когда анализ КЛКТ-томограмм краниовертебральной области проводится во время обследования совместно с врачом-клиницистом, назначившим исследование, проведение функциональных проб для

подтверждения выявленной патологии необходимо выполнить сразу, что снизит индивидуальную лучевую нагрузку.

На рис. 3 представлены КЛКТ-изображения КВО в сагиттальной (а, б) и корональной (в, г) реконструкции, выполненные с различными режимами сканирования.

На рис. 3 представлены результаты MPR-реконструкций КЛКТ с различными режимами сканирования, позволяющие выполнить линейно-угловые расчеты показателей, необходимых для постановки и уточнения состояния краниовертебральной области вне зависимости от параметров сканирования (оценку которых произвели в 1-й части статьи). Применение данного приема позволяет снизить индивидуальную лучевую нагрузку по расчетным показателям на 56 %.

Результаты популяционной лучевой нагрузки при выполнении КЛКТ представлены в табл. 7.

КЛКТ краниовертебральной области в стандартной укладке в возрасте до 9 лет было выполнено 69 пациентам (40 %) со средним значением лучевой нагрузки в 0,01 мЗв, также 6 пациентам (3,5 %) этого возрастного диапазона было дополнительно проведено КЛКТ-исследование КВО с функцио-

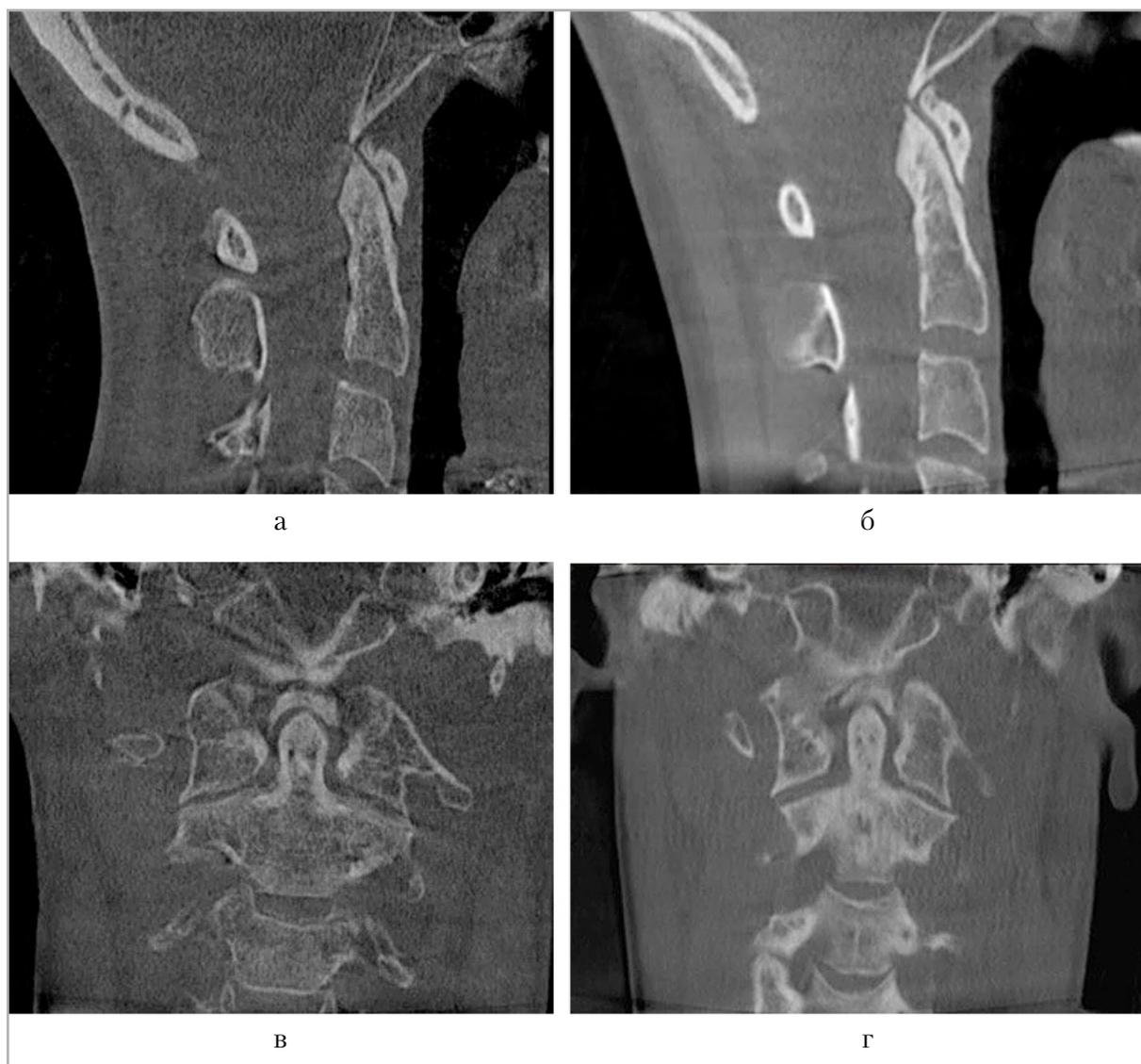


Рис. 3. Конусно-лучевые компьютерные томограммы, МРR-реконструкция в сагиттальной (а, б) и корональной плоскостях (в, г), область сканирования 14 × 8,5 см; а, в — режимы сканирования 120 кV, 30,89 мAc; б, г — режимы сканирования 120 кV, 16,89 мAc

Таблица 7

**Результаты итоговой популяционной лучевой нагрузки  
краниовертебральной области при выполнении КЛКТ**

Область исследования	Возрастной диапазон	Количество человек	Е, мЗв	Σ, мЗв
КЛКТ КВО (стандартное исследование)	до 9 лет	69	0,01	0,69
	от 9 до 18 лет	56	0,02	1,28
	старше 18 лет	45	0,04	1,84
Итого:		170	0,02	3,40
КЛКТ КВО с ФП	до 9 лет	6	0,03	0,18
	от 9 до 18 лет	6	0,06	0,41
	старше 18 лет	3	0,12	0,36
Итого:		15	0,07	1,05
Итого (КЛКТ КВО стандартное исследование + с ФП)				4,45

нальными пробами для уточнения характера выявленных изменений во время стандартной КЛКТ. Стандартное КЛКТ-исследование КВО в возрасте 9–18 лет отсканировано 56 пациентам (32,9 %), а также 6 пациентам (3,5 %) КЛКТ с функциональными пробами. Пациентам в возрастном диапазоне старше 18 лет стандартную КЛКТ КВО выполняли 45 пациентам (26,4 %), дообследование в виде проведения функциональных проб — 3 пациентам (1,7 %). Итоговая популяционная лучевая нагрузка при КЛКТ-исследовании, как при стандартном исследовании, так и при проведении функциональных проб, составила 4,45 мЗв, что составило 1,1 % от общей популяционной нагрузки.

Нами проанализировано распределение индивидуальной лучевой нагрузки в сравнении с методиками традиционной рентгенографии и КЛКТ, которое представлено на рис. 4.

На рис. 4 представлены средние значения лучевой нагрузки, полученные пациентами всех возрастных групп методами традиционной рентгенографии и КЛКТ. На представленной диаграмме наибольшее среднее значение лучевой нагрузки приходилось на пол-

ное обследование пациентов методом стандартной рентгенографии от 0,15 мЗв в возрастной категории до 9 лет и до 0,502 мЗв в популяционной группе старше 18 лет.

Наименьшее среднее значение лучевой нагрузки при традиционной рентгенографии С1–С2 (0,018 мЗв) в возрасте до 9 лет увеличивалось до 0,039 мЗв в популяции от 9 до 18 лет и более 0,05 мЗв в возрастной категории старше 18 лет при сравнении с низкодозовой КЛКТ (0,01 мЗв), где только в данном примере лучевая нагрузка отличается от стандартной КЛКТ на 55,6 % и выше.

На рис. 5 и 6 представлено математическое распределение средней ошибки дозы, достоверности разности дозы и доверительные границы при традиционной рентгенографии и КЛКТ у пациентов детского возраста и взрослых.

Установлено с вероятностью безошибочного прогноза 95 %, что средний уровень полученной дозы при рентгенографии у детей находится в пределах от 0,050 до 0,061 мЗв, у взрослых — от 0,093 до 0,206 мЗв, МСКТ КВО — у взрослых 2,0 мЗв без доверительных границ, КЛКТ КВО — у детей в пределах от 0,018 до 0,034 мЗв, у взрослых — 0,04 мЗв без доверительных границ.

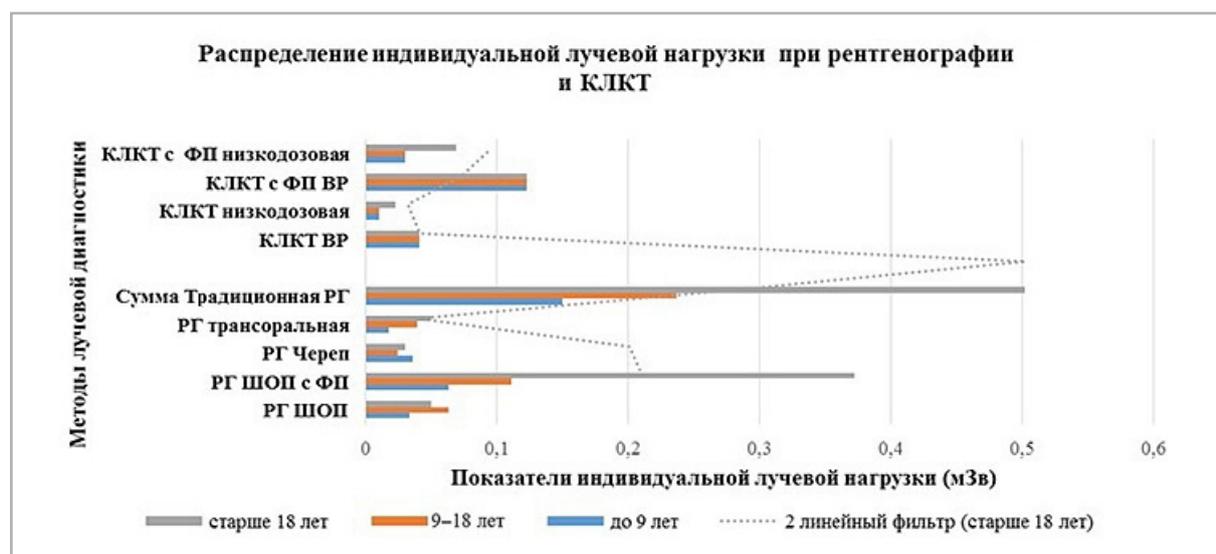


Рис. 4. Диаграмма распределения показателей индивидуальной лучевой нагрузки при рентгенографии и КЛКТ

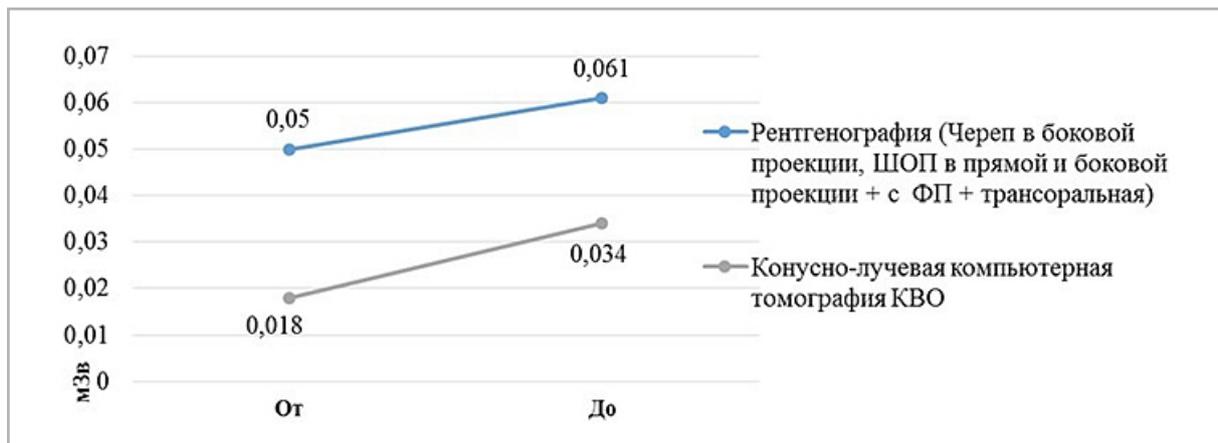


Рис. 5. Диаграмма математического распределения средней ошибки дозы, достоверности разности дозы и доверительные границы (Е, мЗв) при традиционной рентгенографии и КЛКТ у пациентов детского возраста

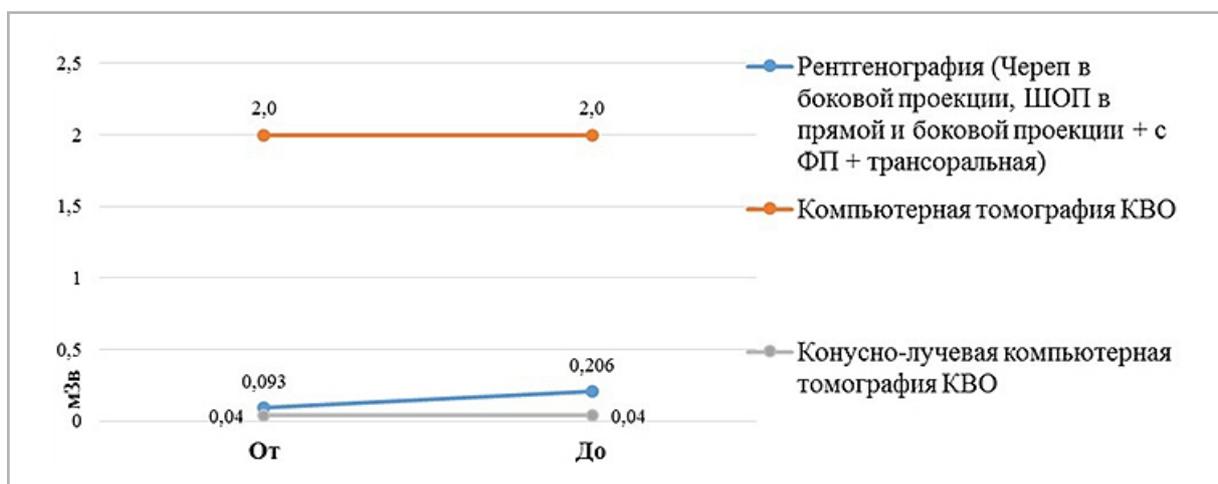


Рис. 6. Диаграмма математического распределения средней ошибки дозы, достоверности разности дозы и доверительные границы (Е, мЗв) при традиционной рентгенографии КЛКТ и МСКТ у пациентов старше 18 лет

При определении средней ошибки средних показателей полученной дозы при различных видах исследований выявлено, что средние показатели более чем в 2 раза превышают свои средние ошибки, что говорит о достоверности полученных средних величин.

## Обсуждение

На основе проведенного анализа установлено, что значительная разница эффективных доз облучения при исследовании краниовертебральной области была связана с использованием традиционного рентгенологического протоко-

ла диагностики КВО. Замена протокола традиционного рентгенографического обследования КВО на КЛКТ снижает индивидуальную лучевую нагрузку на пациента от 55,6 % и выше. Нами доказано, что лучевая нагрузка при КЛКТ ниже, чем при полном обследовании КВО методиками традиционной рентгенографии и МСКТ.

Дозовые лучевые нагрузки при рентгенографии и КЛКТ были ниже от 9,7 до 21 раза, чем при исследовании КВО методом МСКТ, что делает эти методики исследования более предпочтительными при диагностике патологиче-

ских состояний КВО, в том числе и для исследования детей.

Американские ученые в своих работах [14–16] сообщают о выборке факторов дозы пациента, которые подчеркивают общее снижение риска для пациента, когда КЛКТ используется для визуализации КВО как приоритетный метод диагностики, что является сопоставимым предположением с нашими данными, описанными в данной статье.

При сравнении дозовой нагрузки при рентгенографии и КЛКТ предпочтительным методом диагностики является КЛКТ. Изображения, полученные при КЛКТ, обладают высоким пространственным разрешением, возможностью построения мультипланарных реконструкций, в отличие от метода полипозиционной рентгенографии при относительно низкой дозе облучения.

Помимо избирательного, взвешенного подхода к назначению исследований существует целый ряд других методологических подходов к снижению нагрузки. Один из них — оптимизация протокола исследования. Для каждого конкретного протокола в условиях конкретного учреждения необходимо разработать низкодозовые протоколы с учетом возможностей имеющегося оборудования, специфики контингента, возможности архивации медицинских изображений и их последующий проспективный и ретроспективный анализ.

Выбор оптимальных параметров сканирования — важный этап снижения лучевой нагрузки при выполнении исследований, так как количество цифрового шума на изображении, которое зависит от этих параметров, во многом определяет качество исследования.

## Выводы

Проведенный в данной статье анализ эффективных доз лучевой нагрузки краниовертебральной зоны с помощью методов традиционной рентгенографии, МСКТ и КЛКТ с учетом информатив-

ности методов позволит оптимизировать алгоритм лучевого обследования пациентов с подозрением на патологические изменения краниовертебральной области в условиях ведомственного учреждения, снизить лучевую нагрузку без потери качества получаемых изображений, ускорить процесс постановки диагноза и назначения лечения а также проведения динамического наблюдения.

## Список источников

1. Гузино П. В., Пестюк Е. Л. О проблеме снижения лучевых нагрузок на пациентов при медицинском облучении и путях ее решения // Актуальные вопросы радиационной и экологической медицины, лучевой диагностики и лучевой терапии. Гродно. 2022. С. 101–104. URL: [http://www.grsmu.by/files/file/science/konferencija/sbornik/sbornik\\_rad\\_med\\_2022.pdf#page=101](http://www.grsmu.by/files/file/science/konferencija/sbornik/sbornik_rad_med_2022.pdf#page=101)
2. Калинина М. В., Жукова Ж. В. Методические аспекты обоснования контрольных диагностических уровней облучения пациентов при медицинских рентгенодиагностических исследованиях // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 123–130. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-123-130>
3. Краснов А. С., Кабанов Д. О., Терещенко Г. В. Основы дозиметрии и оптимизации дозовой нагрузки при проведении мультиспиральной компьютерной томографии // Вопросы гематологии, онкологии и иммунопатологии в педиатрии. 2018. Т. 17, № 3. С. 127–132. <https://doi.org/10.24287/1726-1708-2018-17-3-127-132>
4. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: Методические указания 2.6.1.2 944-11. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 38 с.
5. Определение радиационного выхода рентгеновских излучателей медицинских рентгенодиагностических аппара-

- ратов: Методические рекомендации 0100/12883-07:34. М.: Минздрав России, 2007.
6. Ненахова Е. В., Ивайловская Ю. И. Вклад ионизирующего излучения рентгенорадиологических диагностических процедур в общую лучевую нагрузку населения Иркутской области // *Окружающая среда и здоровье*. Иркутск, 2020. С. 97–103. URL: [https://disk.yandex.ru/i/AVMeF6CF\\_a2g-Q](https://disk.yandex.ru/i/AVMeF6CF_a2g-Q)
  7. Осипов М. В., Сокольников М. Э., Фомин Е. П. Перспективы использования медико-дозиметрического регистра компьютерной томографии для оценки вклада медицинского диагностического облучения в радиогенный риск // *Вопросы радиационной безопасности*. 2018. № 1. С. 67–73. URL: [https://disk.yandex.ru/i/88VTkf\\_flaeVQ](https://disk.yandex.ru/i/88VTkf_flaeVQ)
  8. Охрименко С. Е., Ильин Л. А., Коренков И. П., Морозов С. П., Бирюков А. П., Гомболевский В. А., Прохоров Н. И., Лантух З. А., Рыжов С. А., Солдатов И. В., Фомин А. А. Оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике // *Гигиена и санитария*. 2019; 98 (12): 1331-1337. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1331-1337>
  9. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А. Сравнительный анализ дозовых лучевых нагрузок при рентгенологических исследованиях краниовертебральной зоны // *Научное издание «104 конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов»*. Сб. тезисов. 9–11.11.2020. СПб., 2020. С. 151–152.
  10. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А., Севрюкова Е. В., Васильев А. Ю. Свидетельство о регистрации электронного ресурса «База данных традиционной рентгенографии, мультиспиральной, конусно-лучевой и магнитно-резонансной компьютерной томографии пациентов, обследованных по поводу патологических изменений краниовертебральной области» № 24461 от 06 февраля 2020 г., Общественный фонд электронных ресурсов «Наука и образование», ФГБУН «Институт программных систем им. А. К. Айламазяна» РАН.
  11. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Севрюкова Е. В. Сравнительный анализ методов традиционной рентгенографии и конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике аномалии Киммерле // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. № 1 (S). С. 145.
  12. Янова Э. У., Юлдашев Р. А., Мардиева Г. М. Лучевая диагностика краниовертебрального кровообращения при аномалии Киммерле // *Вопросы науки и образования*. 2019. № 27 (76). С. 94–99. URL: <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1117/1032>
  13. Brower C., Rehani M. M. Radiation Risk Issues in Recurrent Imaging. *The Brit. J. of Radiol.* 2021. Vol. 94. No. P.1126. <https://doi.org/doi:10.1259/bjr.20210389>.
  14. DeNunzio G., Evans T., Beebe M. E. Cranio-cervical Junction Visualization and Radiation Dose Consideration Utilizing Cone Beam Computed Tomography for Upper Cervical Chiropractic Clinical Application a Literature Review. 2023. No. 2. P. 1–8. <https://doi.org/doi:10.1177/15593258221107515>
  15. Vano E., Frija G., Loose R. et al. Dosimetric Quantities and Effective Dose in Medical Imaging: a Summary for Medical Doctors. *Insights into Imaging*. 2021. No. 12. P. 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01041-2>
  16. Metaxas V. I., Messaris G. A., Lekatou A. N. et al. Patient Doses in Common Diagnostic X-ray Examinations // *Radiation Protection Dosimetry*. 2019. Vol. 184. No. 1. P. 12–27. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy169>

## References

1. Guzino P. V., Pesty'uk E. L. On the Problem of Reducing Radiation Exposure to Patients with Medical Exposure and

- Ways to Solve it. Aktual'nyye voprosy radiatsionnoy i ekologicheskoy meditsiny, luchevoy diagnostiki i luchevoy terapii. Grodno, 2022. P. 101–104. (In Russ.). [http://www.grsmu.by/files/file/science/konferencija/sbornik/sbornik\\_rad\\_med\\_2022.pdf#page=101](http://www.grsmu.by/files/file/science/konferencija/sbornik/sbornik_rad_med_2022.pdf#page=101)
2. Kalinina M. V., Zhukova Zh. V. Methodological Aspects of Substantiation of Control Diagnostic Levels of Patient Exposure During Medical X-ray Diagnostic Studies. *Radiatsionnaya gigiyena*. 2020. 13(3):123-130. (In Russ.). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-123-130>
  3. Krasnov A. S., Kabanov D. O., Tereschenko G. V. Dosimetry Basics and Dose Optimization Strategies for CT Examinations. *Pediatric Hematol., Oncol. and Immunopathol.* 2018;17(3):127-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.24287/1726-1708-2018-17-3-127-132>
  4. Control of Effective Radiation Doses to Patients During Medical X-ray Examinations: Guidelines 2.6.1.2944-11. Federal'nyy tsentr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2011. 38 p. (In Russ.).
  5. Determination of the Radiation Output of X-ray Emitters of Medical X-ray Diagnostic Devices. Metodicheskiye rekomendatsii 0100/12883-07:34. M.: Minzdrav Rossii, 2007. (In Russ.).
  6. Nenakhova E. V., Ivailovskaya Yu. I. The Contribution of Ionizing Radiation from X-ray Diagnostic Procedures to the Total Radiation Exposure of the Population of the Irkutsk region. Okruzhayushchaya sreda i zdorov'ye. Irkutsk, 2020. P. 97–103. (In Russ.). URL: [https://disk.yandex.ru/i/AVMeF6CF\\_a2g-Q](https://disk.yandex.ru/i/AVMeF6CF_a2g-Q).
  7. Osipov M. V., Sokol'nikov M. E., Fomin E. P. Prospects for Using the Medical Dosimetric Register of Computed Tomography to Assess the Contribution of Medical Diagnostic Exposure to Radiogenic Risk. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 2018. No. 1. 67–73. (In Russ.). URL: [https://disk.yandex.ru/i/88VTkf\\_-flaeVQ](https://disk.yandex.ru/i/88VTkf_-flaeVQ)
  8. Okhrimenko S. E., Korenkov I. P., Morozov S. P., Biryukov A. P., Gombolevskiy V. A., Prokhorov N. I., Lantukh Z. A., Ridzhov S. A., Soldatov I. V. Optimization of Radiation Doses to Patients in X-ray Diagnostics. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian J.)* 2019; 98(12):1331-1337. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1331-1337>
  9. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A. Comparative Analysis of Radiation Exposure During Radiographic Studies of the Craniovertebral Zone. Nauchnoye izdaniye «104 kongress rossiyskogo obshchestva rentgenologov i radiologov» Sbornik tezisov 9–11.11.2020. SPb., 2020. P. 151–152. (In Russ.).
  10. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A., Sevryukova E. V., Vasiliyev A. Yu. Certificate of Registration of the Electronic Resource «Database of Traditional Radiography, Multislice, Cone-beam and Magnetic Resonance Computed Tomography of Patients Examined for Pathological Changes in the Craniovertebral Region. Ob»yedinenny fond elektronnykh resursov «Nauka i obrazovaniye», FGBUN «Institut programnykh sistem im. A. K. Aylamazyan» RAN. (In Russ.).
  11. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Sevryukova E. V. Comparative Analysis of Traditional Radiography and Cone-beam Computed Tomography in the Diagnosis of Kimmerle Anomaly. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2020;1:145. (In Russ.).
  12. Yanova E. U., Yuldashev R. A., Mardieva G. M. Radiation Diagnostics of Craniovertebral Circulation in Kimmerle Anomaly. *Voprosy nauki i obrazovaniya*. 2019; 27(76):94–99. (In Russ.). URL: <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/CAJMNS/article/view/1117/1032>
  13. Brower C., Rehani M. M. Radiation Risk Issues in Recurrent Imaging. *The Brit. J. of Radiol.* 2021. Vol. 94 (1). P. 1126. <https://doi.org/doi:10.1259/bjr.20210389>.
  14. DeNunzio G., Evans T., Beebe M. E. Cranio-cervical Junction Visualization and Radiation Dose Consideration Utilizing

- Cone Beam Computed Tomography for Upper Cervical Chiropractic. *Clinical Application a Literature Review*. 2023. No. 2. P. 1–8. <https://doi.org/doi:10.1177/15593258221107515>
15. Vano E., Frija G., Loose R. et al. Dosimetric Quantities and Effective Dose in Medical Imaging: a Summary for Medical Doctors. *Insights into imaging*. 2021; 12:1-9. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01041-2>
16. Metaxas V. I., Messaris G. A., Lekatou A. N. et al. Patient Doses in Common Diagnostic X-ray Examinations. *Radiation protection dosimetry*. 2019;184(1): 12-27. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy169>

---

## Сведения об авторах / Information about the authors

**Гукова Александра Дмитриевна**, врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии поликлиники № 3 ОКДЦ ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия.  
195271, г. Санкт-Петербург, Калининский р-н, ул. Брюсовская, д. 6-52.  
+7 (953) 163-57-21

Вклад автора: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, интерпретация результатов, написание текста рукописи.

**Gukova Aleksandra Dmitrievna**, Radiologist in the Office of Magnetic Resonance Imaging clinic No. 3 ICDC of PАО «Gazprom», Saint Petersburg, Russia.  
6-52, Bryusovskaya st., Kalininsky district, Saint Petersburg, 195271, Russia.  
+7 (953) 163-57-21

Author's contribution: study design development, data acquisition for analysis, results interpretation, manuscript writing.

**Петровская Виктория Васильевна**, доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации НОИ стоматологии им. А. И. Евдокимова, Москва, Россия.  
127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.  
+7 (495) 611-01-77

Вклад автора: обобщение и интерпретация результатов исследования.

**Petrovskaya Victoriya Vasilyevna**, M. D. Med., Associate Professor, Department of Radiology, «Russian University of Medicine», Ministry of Healthcare of Russia, Moscow, Russia.  
9a, st. Vucheticha, Moscow, 127206, Russia.  
+7 (495) 611-01-77

Author's contribution: generalization and interpretation of research results.

**Лубашев Яков Александрович**, доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ, начальник отдела лучевой диагностики МЧУ ОКДЦ ПАО «Газпром», профессор кафедры «Клиническая медицина» частного учреждения образовательной организации высшего образования медицинского университета «Реавиз», профессор кафедры «Рентгенология и УЗИ» Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия.

117420, г. Москва, ул. Наметкина, д. 16, к. 4.

+7 (919) 970-45-05

Вклад автора: обобщение, интерпретация результатов и формулировка выводов исследований.

**Lubashev Yakov Aleksandrovich**, M. D. Med, Honored Doctor of the Russian Federation, Head of the Department of Radiation Diagnostics of Medical Private Institution Clinical Diagnostic Center of PJSC Gazprom, Professor of the Department of Clinical Medicine of the private institution of the education organization of the Medical University «Reaviz», Professor of the Department of Radiology and Ultrasound, Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medicalbiological agency, Moscow, Russia.

16/4, st. Nametkina, Moscow, 117420, Russia.  
+7 (903) 502-90-27

Author's contribution: generalization and interpretation of research results and formulation of research conclusions.

Статья поступила в редакцию 02.09.2023;  
одобрена после рецензирования 09.12.2023;  
принята к публикации 10.12.2023.

The article was submitted 02.09.2023;  
approved after reviewing 09.12.2023;  
accepted for publication 10.12.2023.