

# МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

## MEDICAL INSTRUMENT ENGINEERING AND RADIATION SAFETY

### ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ДИСПЛАЗИИ У НЕДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ МИКРОФУКУСНОГО РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. В. Алхазышвили, А. С. Мисюрин, Ю. Н. Потрахов,  
Н. Н. Потрахов, Л. Г. Константинова, А. Ю. Скрипник,  
Г. Е. Труфанов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Россия

Использование микрофокусного рентгенодиагностического комплекса у новорожденных с проявлениями бронхолегочной дисплазии позволило подтвердить преимущества методики — достичь высокого качества визуализации и снизить лучевую нагрузку на пациента. Разработанные методические рекомендации определяют особенности проведения рентгенодиагностических исследований.

### FEATURES OF IMAGING PREMATURE NEWBORNS LUNGS WITH BPD BY MICROFOCUS RADIOGRAPHY

Aleksander V. Alkhazishvili, Aleksander S. Misyurin,  
Yuriy N. Potrakhov, Nikolay N. Potrakhov, Larisa G. Konstantinova,  
Aleksey Yu. Skripnik, Gennadiy E. Trufanov  
FSBI «National Almazov Medical Research Centre» of the Ministry of  
Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia  
St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg,  
Russia

Use a microfocus X-ray machine in case of BPD newborns, allow to identify the advantages of the technique — achieve the high quality of visualization and reduce an effective dose of the patient. New guidelines determine the features of X-ray diagnostic studies.

**Цель исследования:** определить особенности сканирования картины при заданных физико-технических особенностях методики прямого увеличения рентгеновского изображения у недоношенных новорожденных с проявлениями бронхолегочной дисплазии.

**Материалы и методы.** После рождения на раннем гестационном сроке недоношенные новорожденные находятся в стационаре, при манифестации клинических проявлений бронхолегочной дисплазии назначаются рентгенологические исследования с целью определения изменений со стороны легочной паренхимы, а также оценки их динамики в последующем. Микрофокусный рентгенодиагностический комплекс обладает высоким качеством изображений, хорошими резкостью и контрастностью, а также возможностью применять методику прямого увеличения. Проведено обследование 78 недоношенных новорожденных в условиях прямого увеличения. При использовании точечного фокусного пятна микронных размеров становится возможным пренебречь геометрической нерезкостью, что соответственно позволяет увеличить расстояние между детектором рентгеновского излучения и объектом съемки при минимально возможном кожно-фокусном расстоянии, то есть получить первично увеличенное рентгеновское изображение. Как известно, что уменьшение фокусного расстояния позволяет снизить необходимую мощность рентгеновского аппарата и соответственно, интенсивность первичного пучка излучения на поверхности объекта исследования.

**Результаты.** Использование методики микрофокусной рентгенографии в условиях прямого увеличения позволило получить резкие и контрастные рентгеновские изображения с отчетливой визуализацией усиления легочного рисунка, с наличием мелко- и среднекистозных просветлений, симптома «воздушной бронхографии» различной интенсивности проявлений в зависимости от стадии развития процесса. Использование микрофокусного рентгенодиагностического комплекса позволяет сохранить информативность метода с достаточными резкостью и контрастностью и снизить лучевую нагрузку при обследовании новорожденных с бронхолегочной дисплазией, что особенно важно при неоднократном проведении рентгенологических исследований.

**Заключение.** Таким образом, микрофокусная рентгенография в условиях прямого увеличения может использоваться как самостоятельная методика в неонатологии, успешно определять диагностические паттерны у новорожденных с бронхолегочной дисплазией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Потрахов Н.Н., Труфанов Г.Е., Васильев А.Ю. и др. *Микрофокусная рентгенография в клинической практике: учебное пособие*. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2012. 80 с. [Potrakhov N., Trufanov G., Vasil'ev A. et al. *Low-dose microfocus radiography in clinical practice: study guide*. St. Petersburg: YELBI-SPB, 2012, 80 p. (In Russ.).]
2. Костюченко М.В. Возможности рентгенодиагностики при острых воспалительных заболеваниях лёгких у детей / М. В. Костюченко // *Земский врач*. 2012. № 13. С. 11–14. [Kostyuchenko M. Possibilities of x-ray diagnostic in acute respiratory diseases. *Zemskiy vrach*, 2012, No. 13, pp. 11–14 (In Russ.).]
3. Zewdu M., Kadir E., Berhane M. Assessment of Pediatrics Radiation Dose from Routine X-Ray Examination at Jimma University Hospital, Southwest Ethiopia // *Ethiopian Journal of Health Science*. 2017. No 27 (5). P. 481–490.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 31.01.2021 г.  
Контакт/Contact: Алхазышвили Александр Владимирович,  
alkhazishvilialex@gmail.com

### Сведения об авторах:

Алхазышвили Александр Владимирович — федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;  
Мисюрин Александр Сергеевич — федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;  
Потрахов Юрий Николаевич — кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;  
Потрахов Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;  
Константинова Лариса Геннадиевна — кандидат медицинских наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;  
Скрипник Алексей Юрьевич — заведующий отделением, врач-рентгенолог, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения

ния Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;  
*Труфанов Геннадий Евгеньевич* — доктор медицинских наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО ИСТОЧНИКА АППАРАТА HDR-БРАХИТЕРАПИИ

*Р. И. Ахунова, Е. Ю. Ломтева, А. А. Заручевский, М. В. Беляева,  
 О. Ю. Гаин, Т. А. Овсянникова*

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

ГБУЗ «Ленинградская областная клиническая больница», Санкт-Петербург, Россия

В работе рассмотрены прямая абсолютная дозиметрия и проверка точности позиционирования источника облучения аппарата внутрисполостной радиотерапии высокой мощности дозы (HDR). Подтверждена необходимость проведения этих процедур для обеспечения гарантии качества брахитерапии.

### QUALITY ASSURANCE OF HDR BRACHYTHERAPY WITH AFTERLOADER

*Regina I. Akhunova, Elena Yu. Lomteva, Aleksei A. Zaruchevskii,  
 Maria V. Beliaeva, Olga Yu. Gain, Tamara A. Ovsiannikova*  
 FSBEI HE «North-Western State Medical University named after  
 I. I. Mechnikov» of the Ministry of Health of the Russian Federation,  
 St. Petersburg, Russia

SBIN «Leningrad Regional Clinical Hospital», St. Petersburg, Russia

The study considers direct absolute dosimetry and verification of the positioning accuracy of the radiation source of a high dose rate intracavitary radiotherapy (HDR) apparatus. The need for these procedures has been confirmed to ensure quality assurance of brachytherapy.

**Цель исследования:** обеспечение гарантии качества брахитерапии с помощью процедур прямой клинической дозиметрии радиоактивного источника и проверки точности позиционирования данного источника.

**Материалы и методы.** Текущая активность источника используется системой планирования для расчета поглощенной дозы. Новый источник поставляется с сертификатом, в котором указана измеренная производителем активность. Эти данные можно проверить, измерив активность самостоятельно. В ходе исследования были проведены измерения мощности воздушной кермы от источника иридий-192 с использованием универсального дозиметра и ионизационной камеры колодезного типа, проведены расчеты активности с учетом поправочных коэффициентов. На качество брахитерапии также влияет корректное позиционирование источника. Было произведено экспонирование радиохромных пленок с помощью прибора для автордиографического контроля с введением источника через 18 каналов аппарата. Используемые в приборе свинцовые пластины позволяют определить точность позиционирования источника.

**Результаты.** Полученное значение активности источника отличается от заявленной в сертификате производителя менее, чем на 5%, что является допустимым показателем. Облучение пленки в приборе для автордиографического контроля показало корректность позиций источника (18 каналов, в каждом 25 позиций).

**Заключение.** Для обеспечения гарантии качества HDR-брахитерапии должны быть использованы проведение абсолютной дозиметрии с использованием ионизационной камеры колодезного типа и верификация положения источника с помощью прибора для автордиографического контроля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Кузнецов М.А., Козлов О.В., Федянина А.А. Первичная калибровка источников фотонного излучения для HDR-брахитерапии в соответствии с между-

народными рекомендациями // *Медицинская физика*. 2017 № 2. РОНЦ имени Н.Н. Блохина. [Kuznetsov M.A., Kozlov O.V., Fedyanina A.A. Primary calibration of photon radiation sources for HDR brachytherapy in accordance with international recommendations. *Medical Physics*, 2017, No 2, RONTs named after N.N. Blokhin (In Russ.)].

2. Тарутин И.Г., Пышняк В.Л. *Измерение мощности воздушной кермы и вычисления дозы и мощности дозы от радиоактивных источников, применяемых в аппаратах контактной лучевой терапии*. Методические рекомендации. Минск, 1999. 36 с. [Tarutin I.G., Pyshnyak V.L. *Measurement of air kerma rate and calculation of dose and dose rate from radioactive sources used in devices for contact radiation therapy*. Guidelines. Minsk, 1999, 36 p. (In Russ.)].
3. *Code of practice for quality Assurance of brachytherapy with Ir-192 Afterloaders: Report 30 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry*, 2018.
4. AAPM Report 21. *Specification of Brachytherapy Source Strength*. American Association of Physicist in Medicine. Task Group No. 32. NY, 1987.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 15.01.2021 г.

Контакт/Contact: *Заручевский Алексей Александрович,*  
*reggi1997@yandex.ru*

Сведения об авторах:

Ахунова Регина Ильдаровна — эксперт-физик, государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница»; 194291, Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Луначарского, д. 45–49; e-mail: oblmed.spb.ru;

Ломтева Елена Юрьевна — кандидат медицинских наук, ассистент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул, д. 41; e-mail: rectorat@szgmu.ru;

Заручевский Алексей Александрович — инженер-электроник, государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница»; 194291, Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Луначарского, д. 45–49; e-mail: oblmed.spb.ru;

Беляева Мария Владимировна — эксперт-физик, государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница»; 194291, Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Луначарского, д. 45–49; e-mail: oblmed.spb.ru;

Гаин Ольга Юрьевна — инженер-электроник, государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница»; 194291, Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Луначарского, д. 45–49; e-mail: oblmed.spb.ru;

Овсянникова Тамара Александровна — эксперт-физик, государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница»; 194291, Санкт-Петербург, Выборгский район, пр. Луначарского, д. 45–49; e-mail: oblmed.spb.ru.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2021 года.

Подписные индексы:

ООО «Агентство „Книга-Сервис“» **E42177**

### ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ДОЗ ПАЦИЕНТОВ В ТРАВМАТОЛОГИИ

3. *Я. Вагидова, И. К. Романович, С. С. Сарычева, А. В. Водоватов*  
 ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени проф. П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время в травматологии наблюдается значительный рост числа исследований, проводимых под рентгеноскопическим контролем на аппаратах типа С-дуга. Особенности данных видов исследований являются большая вариативность протоколов проведения исследований и их высокая продолжительность, что существенно затрудняет достоверную оценку эффективных доз пациентов. В работе рассмотрены особенности дозиметрии пациентов при проведении данного вида исследований.

## FEATURES OF PATIENT DOSE ACCOUNTING IN TRAUMATOLOGY

Zumrud Ya. Vagidova, Ivan K. Romanovich, Svetlana S. Sarycheva, Aleksandr V. Vodovатов

FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

Currently, in traumatology, there is a significant increase in the number of studies conducted under X-ray control on devices of the C-arm. The features of these types of studies are the large variability of the protocols of research and their high duration, which complicates the reliable assessment of effective doses of patients. The paper considers the features of dosimetry of patients during this type of research.

**Цель исследования:** анализ возможных подходов для оценки доз облучения пациентов при проведении рентгенохирургических исследований в травматологии.

**Материалы и методы.** В работе проанализированы существующие отечественные и зарубежные подходы к дозиметрии пациентов при проведении рентгенохирургических исследований в травматологии. Для оценки применимости различных методов дозиметрии выполнен сбор данных по структуре и методикам выполнения отдельных исследований на базе крупного многопрофильного диагностического центра.

**Результаты.** В зарубежной практике общепринятым является использование непосредственно измеряемых дозовых величин — произведения дозы на площадь (ПДП) или входной поверхностной дозы. Однако крайне незначительная часть рентгеновских аппаратов в Российской Федерации оснащена клиническими дозиметрами, что ограничивает применимость данного метода. В Российской Федерации основной величиной радиационной защиты пациентов при медицинском облучении является эффективная доза, рассчитываемая в соответствии с МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944–11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Расчет эффективных доз (ЭД) проводится с использованием коэффициентов перехода от ПДП или радиационного выхода рентгеновского излучателя (для аппаратов, не оснащенных измерителем произведения дозы на площадь). Однако в действующих указаниях специфических коэффициентов перехода для травматологических исследований не представлено. Анализ сведений из формы 3-ДОЗ, а также результаты сбора данных в отдельных медицинских организациях показывает, что дозиметрия индивидуальных пациентов при использовании С-дуг практически не ведется; для заполнения формы 3-ДОЗ используются типовые табличные дозы.

**Заключение.** Для совершенствования дозиметрии пациентов при проведении рентгенохирургических исследований необходима разработка специальных моделей облучения, специфических для каждого вида/методики травматологического исследования. Данные модели должны учитывать геометрию облучения пациента, облучаемые радиочувствительные органы и ткани и все основные дозообразующие физико-технические параметры исследований. Расчет органичных и эффективных доз с использованием таких моделей позволит разработать наборы коэффициентов перехода от измеряемых дозовых величин для использования в повседневной практике.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department. ICRP Publication 117, Ann. ICRP 40 (6).
2. Miller D.L. et al. Clinical radiation management for fluoroscopically guided interventional procedures // *Radiology*. 2010. Vol. 257, No 2. P. 321–332.
3. Walsh D.F. et al. Radiation safety education as a component of orthopedic training // *Orthopedic reviews*. 2019. Vol. 11, No 1.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 01.02.2021 г.

Контакт/Contact: Вагидова Зумруд Якубовна, zumrudvagidova@gmail.com

#### Сведения об авторах:

Вагидова Зумруд Якубовна — младший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu; Романович Иван Константинович — доктор медицинских наук, директор федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-

исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu;

Сарычева Светлана Сергеевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu;

Водоватов Александр Валерьевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu.

## ОРГАННЫЕ ДОЗЫ ПАЦИЕНТОВ ПРИ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ $^{223}\text{Ra}$ -ДИХЛОРИДОМ

А. Е. Петрова, Л. А. Чипига, А. В. Водоватов, А. А. Станжевский

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени проф. П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени акад. А. М. Гранова», Санкт-Петербург, Россия  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время для лечения костных метастазов пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы применяют радионуклидную терапию с использованием  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида, однако на сегодняшний день отсутствуют достоверные данные по распределению радионуклида в организме. При планировании курса радионуклидной терапии необходимо разработать методику оценки поглощенных доз в органах и тканях пациентов на основании моделей биораспределения  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида в организме.

## ORGAN DOSES OF PATIENTS DURING RADIONUCLIDE THERAPY WITH $^{223}\text{Ra}$ -DICHLORIDE

Anna E. Petrova, Larisa A. Chipiga, Aleksandr V. Vodovатов, Andrey A. Stanzhevskiy

FSBI «N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology» of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

FSBI «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia  
FSAEI HE «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University», St. Petersburg, Russia

FSBI «National Almazov Medical Research Centre» of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

FSBEI HE «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Radionuclide therapy with  $^{223}\text{Ra}$ -dichloride is used to treat bone metastases in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer, but there are

currently no reliable data on the biodistribution of the radiopharmaceutical. It is necessary to develop a methodology for the absorbed organ doses assessment based on models of  $^{223}\text{Ra}$ -dichloride biodistribution for planning a course of radionuclide therapy.

**Цель исследования:** оценка поглощенных доз в органах и тканях пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (МКРРПЖ) при радонуклидной терапии  $^{223}\text{Ra}$ -дихлоридом.

**Материалы и методы.** Для оценки поглощенных доз использовали камерную модель распределения  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида для пациентов с МКРРПЖ [1, 2], состоящую из восьми камер. На основании этой модели определили кривых накопления и выведения и накопленные активности в камерах. Для оценки накопления  $^{223}\text{Ra}$  в камерах данной модели использовали программное обеспечение SAAM II v2.3. В качестве периода накопления взяли 33 месяца от момента введения  $^{223}\text{Ra}$  в организм пациента (максимальный период дожития) [3]. Расчет поглощенных доз в органах и тканях производился в программе IDAC-Dose2.1 для фантома взрослого мужчины.

Результаты. Поглощенные дозы были рассчитаны на единицу вводимой активности (1 МБк), за терапевтическую процедуру (3,5 МБк) и курс лечения из 6 процедур (21 МБк). Наибольшие поглощенные дозы от альфа-излучения были определены для поверхности кости и красного костного мозга за серию из шести процедур с введением  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида и составили примерно 1 и 0,14 Гр, соответственно. Дозы в надпочечниках, почках, печени, поджелудочной железе, селезенке, желудке, легких находились в диапазоне от 0,005 до 0,006 Гр. Наименьшую дозу получили дыхательная система и лимфатические узлы, доза в этих органах составила 0,003 Гр. Вклад в дозу от гамма и бета-излучения составил меньше 0,1% от общей дозы.

**Заключение.** Изучение и моделирование биораспределения альфа-излучающих радионуклидов в организме пациентов является одним из основных направлений в радонуклидной терапии. На данный момент модели биораспределения  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида прогнозируют неравномерное распределение поглощенных доз в костной ткани с более высокими дозами в поверхности кости. Неточности данной модели могут привести к большим погрешностям, как при планировании радонуклидной терапии, так и при оценке поглощенных доз в органах и тканях. И поэтому необходимо дальнейшее совершенствование методов оценки биораспределения  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида в организме, в частности оценки накопления препарата костными метастазами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Taprogge J., Murray I., Gear J., Chittenden S.J. et al. Compartmental model for  $^{223}\text{Ra}$ -Dichloride in patients with metastatic bone disease from castration-resistant prostate cancer // *Int. J. Radiation. Oncol. Biol. Phys.* 2019. Vol. P. 1–9.
2. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрова А.Е., Станжевский А.А. Анализ моделей биораспределения  $^{223}\text{Ra}$ -дихлорида для оценки доз внутреннего облучения // *Формулы фармации.* 2020. Т. 2, № 1. С. 54–69. [Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Petrova A.E., Stanzhevsky A.A. Analysis of  $^{223}\text{Ra}$ -dichloride biodistribution models for assessing internal exposure doses. *Formulas of Pharmacy*, 2020, Vol. 2, No 1, pp. 54–69 (In Russ.).]
3. Scher H., Morris M., Stadler W. et al. Trial design and objectives for castration-resistant prostate cancer: updated recommendations from the prostate cancer clinical trials working group 3 // *J. Clin Oncol.* 2016. Vol. 34, No. 12. P. 1402–1418.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 01.02.2021 г.

Контакт/Contact: *Петрова Анна Евгеньевна, anyapetrova2797@gmail.com*  
**Сведения об авторах:**

*Петрова Анна Сергеевна* — медицинский физик, федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н.Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 68; федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29;

*Чипига Лариса Александровна* — кандидат технических наук, научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул.

Мира, д. 8; e-mail: IRN@EK6663.spb.edu; федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М.Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 70; e-mail: info@tcrst.ru; федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;

*Водоватов Александр Валерьевич* — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRN@EK6663.spb.edu; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2;

*Станжевский Андрей Алексеевич* — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М.Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, д. 70; e-mail: info@tcrst.ru.

#### ПОРТАТИВНЫЙ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕОНАТОЛОГИИ И ПЕДИАТРИИ

*Ю. Н. Потрахов, А. В. Алхазивили, Н. Н. Потрахов, Г. Е. Труфанов*

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия  
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Россия

Количество недоношенных новорожденных в нашей стране неуклонно увеличивается. Такой ребенок уже при рождении может иметь ателектатические или воспалительные изменения в организме. Основой инструментальной диагностики подобных патологических процессов является рентгенография легких. Разработана методика и действующий макет рентгенодиагностического комплекса для неонатологии и педиатрии. Исследовательские испытания макета подтвердили перспективу его использования в неспециализированных условиях.

#### PORTABLE X-RAY DIAGNOSTIC COMPLEX FOR NEONATOLOGY AND PEDIATRICS

*Yuriy N. Potrakhov, Aleksander V. Alkhazishvili, Nikolay N. Potrakhov, Gennadiy E. Trufanov*

FSBI «National Almazov Medical Research Centre» of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia  
 St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

The number of premature newborns in our country is steadily increasing. Such a child may already have atelectatic or inflammatory changes in the body at birth. The basis of instrumental diagnostics of such pathological processes is currently lung radiography. A methodology and a working model of an X-ray diagnostic complex for neonatology and pediatrics have been developed. Research tests of the model confirmed the prospect of its use in non-specialized conditions.

**Цель исследования:** разработка методики проведения рентгенодиагностических исследований в неонатологии и педиатрии в неспециализированных условиях.

**Материалы и методы.** На основании анализа условий проведения рентгенодиагностических исследований в неонатологии и педиатрии, а

также характеристик современных технических средств для их реализации сформулированы основные требования к рентгенодиагностическому комплексу, предназначенному для проведения рентгенографии вне специализированных условиях. В качестве направления исследований выбрана методика микрофокусной рентгенографии, позволяющая обеспечить получение информативных рентгеновских изображений при проведении рентгеновской съемки с уменьшенного кожно-фокусного расстояния и сниженной экспозиционной дозе рентгеновского излучения.

**Результаты.** На основании схематических, конструкторских и технологических решений в области микрофокусной рентгенографии, апробированных при создании методики рентгеновской съемки в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, разработан действующий макет рентгенодиагностического комплекса для неонатологии и педиатрии. В состав комплекса входят моноблочный рентгеновский аппарат в портативном исполнении и цифровой плоскостельный приемник рентгеновского изображения. Конструкция аппарата позволяет, в случае необходимости, проводить рентгенодиагностические исследования без использования традиционного штативного. Рентгенлаборант выполняет рентгеновскую съемку, удерживая аппарат в руках. В ходе апробации макета определены режимы рентгеновской съемки по напряжению и току рентгеновской трубки, а также времени экспозиции и величине кожно-фокусного расстояния, оценена эффективная доза пациента.

**Заключение.** Разработан действующий макет рентгенодиагностического комплекса для неонатологии и педиатрии. Исследовательские испытания макета подтвердили перспективу его использования в неспециализированных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Потрахов Н.Н., Труфанов Г.Е., Васильев А.Ю. и др. Микрофокусная рентгенография в клинической практике: учебное пособие. СПб.: ЛБ-СПб, 2012. 80 с. [Potrakhov N.N., Trufanov G.E., Vasiliev A.Yu. et al. *Microfocus radiography in clinical practice*: Textbook. SPb.: LB-SPb, 2012, 80 p. (In Russ.)].
2. Мазуров А.И., Потрахов Н.Н., Потрахов Ю.Н. Современные технические средства рентгенодиагностики в неонатологии // *Медицинская техника*. 2019. № 1. С. 48–51. [Mazurov A.I., Potrakhov N.N., Potrakhov Y.N. Current X-Ray Diagnosis Technology in Neonatology. *Biomedical Engineering*, 2019, Vol. 53, Issue 1, 15 May, pp. 66–70 (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 28.01.2021 г.

Контакт/Contact: *Потрахов Николай Николаевич, kzhamova@gmail.com*

#### Сведения об авторах:

*Потрахов Юрий Николаевич* — федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;

*Алхазивили Александр Владимирович* — федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;

*Потрахов Николай Николаевич* — доктор технических наук, профессор федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;

*Труфанов Геннадий Евгеньевич* — доктор медицинских наук, профессор федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2.

## ОЦЕНКА ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ РЕАКЦИЙ В КОЖЕ ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОЦЕДУРАХ ХИМИОЭМБОЛИЗАЦИИ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ ПОД РЕНТГЕНОВСКИМ КОНТРОЛЕМ

*С. С. Сарычева, З. Я. Вагидова*

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени проф. П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для оценки возможности возникновения кожных реакций при процедурах интервенционной радиологии, в качестве пороговой величины международные организации CIRSE и МАГАТЭ рекомендуют использовать значение кумулятивной дозы в референсной точке (КД) равное 5 Гр, соответствующее значению максимальной поглощенной дозы в коже (МПДК) равное 3 Гр [1, 2]. В данной работе изучены особенности применения данного подхода для процедур с преимущественно статичным положением рентгеновской трубки в ходе исследования.

## ESTIMATION OF DETERMINISTIC SKIN EFFECTS IN PATIENTS UNDERGOING ABDOMINAL INTERVENTIONAL RADIOLOGY UNDER FLUOROSCOPY GUIDANCE

*Svetlana S. Sarycheva, Zumrud Ya. Vagidova*

FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

To assess the possibility of skin reactions during interventional radiology procedures, the international organizations CIRSE and IAEA recommend using as a threshold the value of the cumulative dose at the reference point (CD) of 5 Gy, corresponding to the value of the maximum skin dose (MSD) of 3 Gy [1, 2]. The possibility of using this approach for procedures with a predominantly static position of the X-ray tube has been studied.

**Цель исследования:** оценить взаимосвязь значений МПДК и КД, используемых для оценки вероятности возникновения лучевых поражений кожи, для процедур химиоэмболизации органов брюшной полости.

**Материалы и методы.** На базе двух клиник города Санкт-Петербурга была изучена методика проведения интервенционных процедур химиоэмболизации органов брюшной полости с точки зрения использования рентгеновского излучения. Для данного вида исследований были изучены: статистика используемых проекций, распределение поглощенной дозы по поверхности кожи пациента и соотношение МПДК и КД. Учтены собственные измерения распределения кожных доз с помощью радиохромных пленок Gafchromic XR-RV3 [3].

**Результаты.** Величина КД — накопленное значение поглощенной дозы в опорной точке (в месте, «репрезентативном» для кожи пациента — на расстоянии 15 см от изоцентра в направлении источника), введена для исследований, характеризующихся динамическим полем облучения, с широким распределением дозы по поверхности кожи пациента, где оценка МПДК без дополнительных измерений затруднительна [4]. Согласно полученным в работе результатам, для большинства процедур химиоэмболизации органов брюшной полости характерно преимущественно статичное положение рентгеновской трубки с обязательным перекрытием полей. В случае стандартной геометрии (высота процедурного стола совпадает с положением референсной точки) итоговое значение МПДК равняется значению КД с учетом коэффициента обратного рассеяния, которое в зависимости от характеристик качества излучения аппарата составляет 1,3–1,5 отн. ед. [5].

**Заключение.** Использование величины КД 5 Гр в качестве контрольного значения для интервенционных процедур с преимущественно статичным полем облучения может привести к недооценке вероятности и тяжести детерминированных эффектов в коже пациентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Stecker M.S., Balter S., Towbin R.B., Miller D.L., Vañó E., Bartal G., Angle J.F., Chao C.P., Cohen A.M., Dixon R.G., Gross K., Hartnell G.G., Schueler B., Statler J.D., de Baère T., Cardella J.F. SIR Safety and Health Committee. CIRSE

Открыта подписка на 2-е полугодие 2021 года.

Подписные индексы:

ООО «Агентство „Книга-Сервис“» **Е42177**

- Standards of Practice Committee. Guidelines for patient radiation dose management 2009 // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2009. Vol. 20 (7 Suppl). P. 263–273.
2. <https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/databases-and-learning-systems/safrad>.
3. Сарычева С.С. Измерение поглощенной дозы в коже пациентов, подвергающихся интервенционным исследованиям, с помощью радиохромных пленок Gafchromic XR-RV3 // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12 (4). С. 89–95. [Sarycheva S.S. Patients skin dose measurements during interventional radiological examinations using Gafchromic XR-RV3 FILM. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12 (4), pp. 89–95. (In Russ.).]
4. Balter S. et al. Techniques to estimate radiation dose to skin during fluoroscopically guided procedures // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2001. Vol. 13. P. 391–397.
5. Балонов М.И. *Научные основы радиационной защиты в современной медицине*. Т. 1. Лучевая диагностика / М.И.Балонов, В.Ю.Голоиков, А.В.Водоватов, Л.А.Чипига, И.А.Звонова, С.А.Кальницкий, С.С.Сарычева, И.Г.Шацкий / под ред. профессора М.И. Балонova. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. С. 1–320. [Balonov M.I. *Scientific foundation of radiation protection in modern medicine*. Vol. 1. Radiation diagnostic / M.I.Balonov, V.Y.Golikov, A.V.Vodovатов, L.A.Chipiga, I.A.Zvonova, S.A.Kalnitskiy, S.S.Sarycheva, I.G.Shatskiy / edited by M.I.Balonov. SPb: Research Institute of Radiation Hygiene after P.V.Ramzaev, 2019, pp. 1–320 (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 24.01.2021 г.

Контакт/Contact: Сарычева Светлана Сергеевна, svetlana2003@mail.ru

#### Сведения об авторах:

*Сарычева Светлана Сергеевна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu;

*Вагидова Зумруд Якубовна* — младший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu.

### КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНТЕРВЕНЦИОННОЙ РАДИОЛОГИИ

С. С. Сарычева, З. Я. Вагидова

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени проф. П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Количество выполняемых интервенционных исследований увеличивается во всем мире. Дозы облучения пациентов и персонала могут достигать пороговых значений для возникновения детерминированных эффектов. В рамках работы были выделены ключевые моменты отечественного и международного опыта в решении данной проблемы.

### KEY POINTS OF ENSURING RADIATION SAFETY IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY

Svetlana S. Sarycheva, Zhumrud Ya. Vagidova

FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

The number of interventional radiological examinations is constantly increasing. Doses to patients and staff can be quite high, up to levels of deterministic effects occurrence. During this work the key points of national and international experience in solving this problem were highlighted.

**Цель исследования:** освещение основных вопросов радиационной безопасности пациентов и персонала при проведении интервенционных рентгенологических исследований (ИРЛИ) с учетом отечественных и международных подходов.

**Материалы и методы.** Проведен анализ современной отечественной и зарубежной литературы по вопросу радиационной безопасности пациентов и персонала при ИРЛИ. Согласно литературным данным и собственным исследованиям, разброс средних значений доз облучения пациентов в рамках одного типа процедур для разных клиник может достигать нескольких раз [1, 2, 3], похожая ситуация наблюдается и при дозиметрии медицинского персонала [4]. Основные причины различий — технические характеристики и возможности оборудования и различия в методиках проведения исследований. Существенное влияние оказывает осведомленность медицинского персонала об основных принципах и методиках радиационной защиты [3].

**Результаты.** Основные способы снижения уровней облучения пациентов и персонала широко описаны в международных документах [1, 3, 4] и отечественных методических рекомендациях [МР 2.6.1.0097-15]. Одним из наиболее эффективных подходов по оптимизации радиационной защиты пациентов является установление референтных диагностических уровней (РДУ), позволяющих наглядно продемонстрировать врачам, какими должны быть уровни облучения пациентов при хорошей практике (их концепция подробно рассмотрена в МР 2.6.1.0097-15). Важным вопросом радиационной безопасности персонала при проведении ИРЛИ является вопрос облучения хрусталика глаза. Согласно исследованию ORAMED [4] наибольшую защиту хрусталика обеспечивает использование подвесных защитных экранов, они позволяют достичь уровня снижения дозы облучения в 2–5 раз [4]. Второй по степени важности способ защиты — использование автоматического инжектора с целью покидания операционной на момент проведения серийной рентгеновской [4]. Согласно тому же исследованию, основные проблемы радиационной защиты — это нерегулярное использование персоналом средств защиты и непостоянное или некорректное ношение персональных дозиметров.

**Заключение.** Согласно 105 публикации МКРЗ при большинстве интервенционных процедур под рентгеноскопическим контролем, если персонал имеет соответствующее образование и подготовку, нет необходимости приближаться к порогам детерминированных эффектов. Обучение радиационной защите должно быть неотъемлемой частью образования тех, кто непосредственно использует рентгеновское излучение в медицинских целях [3].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

- ICRP, 2018. Occupational radiological protection in interventional procedures // *ICRP Publication 139. Ann. ICRP 47 (2)*.
- Голоиков В.Ю., Балонов М.И., Кальницкий С.А., Братилова А.А., Сарычева С.С., Шацкий И.Г., Водоватов А.В. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // *Радиационная гигиена*. 2011. Т. 4 (1). С. 5–13. [Golikov V.Yu., Balonov M.I., Kalnitskiy S.A., BratiloVA A.A., Sarycheva S.S., Shatzkiy I.G., Vodovатов A.V. Exposure levels of patients during radiological examinations in St. Petersburg and the Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, Vol. 4 (1), pp. 5–13. (In Russ.).]
- ICRP. Publication 105. Radiological protection in medicine // *Ann. ICRP*. Vienna: Pergamon Press, 2007. Vol. 37, № 1. 64 p.
- ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: EURADOS Report 2012–02. Braunschweig, April 2012.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 24.01.2021 г.

Контакт/Contact: Сарычева Светлана Сергеевна, Svetlana2003@mail.ru

#### Сведения об авторах:

*Сарычева Светлана Сергеевна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu;

*Вагидова Зумруд Якубовна* — младший научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; IRH@EK6663.spb.edu.

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТА И РЕЗКОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Н. Е. Староверов, И. Г. Камышанская, А. Ю. Грязнов, Е. Д. Холопова*  
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия  
 ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия  
 СПб ГБУЗ «Городская Марининская больница», Санкт-Петербург, Россия

Описан метод цифровой обработки рентгеновских снимков, основанный на высокочастотной фильтрации и морфологической обработке изображения, повышающий контраст деталей рентгенограммы. Метод был апробирован на серии рентгенограмм органов грудной клетки с различной патологией, где продемонстрировал возможность повышать информативность медицинских рентгеновских снимков.

## METHOD FOR ENHANCING THE CONTRAST AND SHARPNESS OF X-RAY IMAGES

*Nikolay E. Staroverov, Irina G. Kamyshanskaya, Artem Yu. Gryaznov, Ekaterina B. Kholopova*  
 Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

A method of digital processing of X-ray images is described, based on high-frequency filtration and morphological image processing, which increases the contrast of the X-ray details. The method was tested on a series of chest X-rays with various pathologies, where it demonstrated the ability to increase the information content of medical X-rays.

**Цель исследования:** Разработка и апробация метода, повышающего контраст и резкость деталей медицинских рентгеновских изображений, полученных на традиционных цифровых рентгеновских аппаратах.

**Материалы и методы.** Рентгеновское изображение содержит достаточно большое количество информации об исследуемом органе. Повысить информативность рентгенограмм можно с помощью цифровой обработки изображений [1]. Предложенный нами метод использован ранее в микрофокусной рентгенографии [2–5]. В алгоритме повышения контраста были использованы фильтрация в частотной области и морфологическая обработка изображения (операция дилатации). Основная идея метода заключалась в усилении резкости рентгенограммы путем увеличения перепада яркостей на границах элементов изображения без увеличения шума. Осуществить подобную операцию было возможно путём прибавления к изображению результата высокочастотной фильтрации и одновременного вычитания результата дилатации. Изменение Фурье-образа, в предложенном нами алгоритме, выполнялось путём его умножения на функцию высокочастотного фильтра Гаусса. Следующим шагом алгоритма было морфологическое наращивание (дилатация) изображения, полученного высокочастотной фильтрацией. После выполнения данной операции толщина всех объектов на изображении увеличивалась. Далее из изображения, полученного путём умножения высокочастотной фильтрацией на коэффициент, зависящий от параметров изображения, вычиталось изображение, созданное морфологическим наращиванием.

**Результаты.** На результирующем изображении все объекты обрета-ли двойные контуры. Внутренний контур имел пиксели большей яркости, чем пиксели объекта. Наоборот, внешний контур обрета-л пиксели меньшей яркости, чем пиксели объекта. Метод был апробирован в постобработке 50 рентгенограмм органов грудной клетки (ОГК) пациентов с разнообразной патологией. Рентгенограммы были выполнены в городской Марининской больнице СПб на цифровых стационарных и передвижных рентгеновских аппаратах. На серии рентгенограмм с синдромом обширного неоднородного затенения обеих лёгких цифровая обработка данным методом позволила локализовать и выделить: ограниченные участки повышенной прозрачности; неравномерность утолщения деформированного лёгочного рисунка за счет интерстициального компонента; неоднородность инфильтрации лёгочной ткани; границы плеврального выпота. На серии рентгенограмм с синдромом очагового поражения лёгких, метод позволил четко визуализировать границы малоинтенсивных очагов, выявив в них едва заметные участки деструкции. На рентгенограммах ОГК пациентов с ковид-пнев-

монией постобработка улучшила контраст и границы полисегментарных, разнокалиберных очагов и зон инфильтрации. На рентгенограммах пациентов с травматическим повреждением ОГК метод позволит обозначить едва уловимые признаки перелома рёбер, пневмомедиа-стинума и плащевидного пневмоторакса.

**Заключение.** Таким образом, метод постобработки, основанный на усилении резкости и контрастности, показал свою эффективность в улучшении качества диагностического рентгеновского изображения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера, 2006. 1104 с. [Gonzalez R., Woods R. *Digital image processing*. Moscow: Tekhnosfera, 2006, 1104 p.]
2. Staroverov N.E. et al. Development of digital processing method of microfocus X-ray images // *Journal of Physics*. 2017.
3. Потрахов Н.Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // *Вестник новых медицинских технологий*. 2007. № 3 С.167–169. [Potrakhov N.N. Method and features of shadow X-ray image formation by microfocus radiation sources. *Bulletin of new medical technologies*, 2007, No. 3, pp. 167–169 (In Russ.)].
4. Потрахов Н.Н. *Исследование и разработка методов микрофокусной рентгенографии в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии*. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2008. 217 с. [Potrakhov N.N. *Research and development of methods of microfocus radiography in dentistry and maxillofacial surgery*. St. Petersburg, St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI» 2008. 217 p. (In Russ.)].
5. Грязнов А.Ю. *Методы и системы микрофокусной фазово-контрастной медицинской рентгенодиагностики*. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2010. 25 с. [Gryaznov A.Yu. *Methods and systems for microfocus phase-contrast medical X-ray diagnostics*. St. Petersburg, Publishing house of ETU «LETI» 2010. 25 p. (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 27.01.2021 г.

Контакт/Contact: Староверов Николай Евгеньевич, [nik0205st@mail.ru](mailto:nik0205st@mail.ru)  
 Сведения об авторах:

*Староверов Николай Евгеньевич* — аспирант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина); 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; e-mail: [info@etu.ru](mailto:info@etu.ru);  
*Камышанская Ирина Григорьевна* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: [spbu@spbu.ru](mailto:spbu@spbu.ru);  
*Грязнов Артем Юрьевич* — доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина); 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; e-mail: [info@etu.ru](mailto:info@etu.ru);  
*Холопова Екатерина Дмитриевна* — аспирант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина); 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; e-mail: [info@etu.ru](mailto:info@etu.ru).

## РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ДЕТЕЙ С COVID-19: СВЯЗЬ РАДИАЦИОННОГО РИСКА И ТЯЖЕСТИ ЗАБОЛЕВАНИЯ

*И. Г. Шацкий, Д. О. Иванов, В. А. Резник, А. В. Поздняков, К. К. Панунцева, А. С. Набиева, С. Л. Баннова, Ю. Н. Капырина*  
 ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени проф. П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия  
 ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

При проведении рентгенографических исследований для женщин составляет от  $12,73 \times 10^{-6}$  до  $27,62 \times 10^{-6}$ , для мужчин от  $2,5 \times 10^{-6}$  до  $5,52 \times 10^{-6}$ . Минимум соответствует возрастной группе 10–14 лет, а максимум — 0–

4 года. Для КТ риск увеличивается с возрастом от  $425,97 \times 10^{-6}$  для группы 5–9 лет до  $434,37 \times 10^{-6}$  для 15–19 лет. Настоящее исследование не получило достаточных оснований утверждать, что тяжесть течения заболевания связана с радиационными рисками от проведенных КТ исследований.

### CHEST X-RAY EXAMINATIONS OF CHILDREN WITH COVID-19: RELATIONSHIP BETWEEN RADIATION RISK AND DISEASE SEVERITY

*Iliya Shatskiy G., Dmitriy O. Ivanov, Vitaliy A. Reznik, Aleksander V. Pozdnyakov, Karine K. Panuntseva, Anna S. Nabieva, Svetlana L. Bannova, Yulia N. Kapryrina*  
 FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

Radiation risk for X-ray studies for women ranges from  $12,73 \times 10^{-6}$  to  $27,62 \times 10^{-6}$ , for men from  $2,5 \times 10^{-6}$  to  $5,52 \times 10^{-6}$ . The minimum corresponds to the age group 10–14 years old, and the maximum — to the group 0–4. For CT, the risk increases with age from  $425,97 \times 10^{-6}$  for the 5–9-year group to  $434,37 \times 10^{-6}$  for 15–19 years. The current study has not received sufficient grounds to assert that the severity of the course of the disease is associated with radiation risks from the performed CT examinations.

**Цель исследования:** оценка эффективных доз и радиационных рисков детей при рентгенографических и КТ исследованиях в ходе диагностики и лечения COVID-19, а также анализ зависимости числа исследований и суммарного радиационного риска для одного пациента от тяжести течения заболевания.

**Материалы и методы.** В работе были использованы данные рентгенологических исследований 71 ребенка, поступившего в клинику ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России с подозрениями на COVID-19, из которых 58 детям были сделаны 104 рентгенограммы, а 22 ребенка — 30 КТ. Все пациенты были разделены на пять возрастных групп детей: новорожденные (<0,5), 0,5–2, 3–7, 8–12 и 13–18 лет — со средним возрастом, соответственно, 0, 1, 5, 10 и 15 лет. Поглощенные дозы в органах и эффективные дозы были рассчитаны для рентгенографических аппаратов с помощью программы РСХМС для каждого пациента, и для КТ с помощью NCICT 3.0 для типовых параметров проведения исследований. Последующий расчет пожизненных атрибутивных рисков по модели, приведенной в Публикации 103 МКРЗ, осуществлялся в соответствии с методикой, опубликованной в статье Иванов и соавт. [1]. Подробно методика и условия расчета доз и радиационных рисков приведены в предыдущих публикациях [2, 3].

**Результаты.** Медианы значений эффективной дозы при рентгенографических исследованиях органов грудной клетки для всех возрастных групп находятся в диапазоне 0,09–0,13 мЗв. Наибольшие значения наблюдаются в группе 0–4 лет. Эффективные дозы при КТ органов грудной клетки составили 3,21 мЗв и 4,68 мЗв для групп 5–9 и 15–19 лет, соответственно. Радиационный риск для всех видов исследований для пациентов женского пола в несколько раз больше, чем для мужского. При проведении рентгенографических исследований для женщин составляет от  $12,73 \times 10^{-6}$  до  $27,62 \times 10^{-6}$ , для мужчин от  $2,5 \times 10^{-6}$  до  $5,52 \times 10^{-6}$ . Минимум соответствует возрастной группе 10–14 лет, а максимум — 0–4 года. Для КТ риск увеличивается с возрастом от  $425,97 \times 10^{-6}$  для группы 5–9 лет до  $434,37 \times 10^{-6}$  для 15–19 лет. Для определения степени влияния тяжести течения заболевания на количество исследований и, соответственно, радиационные риски был проведен односторонний дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса суммарных радиационных рисков от КТ-исследований пациента за все время госпитализации для каждой степени поражения легких. Результаты анализа для всей выборки пациентов ( $N=9,7745$ ,  $p=0,0206$ ) соответствуют критериям статистически значимых различий между группами поражений и, как следствие, зависимости количества обследований КТ и радиационных рисков от тяжести заболевания. Но дополнительное множественное сравнение средних рангов всех групп показало достоверные различия только между СТ-0 и СТ-1. Более подробный анализ каждой половозрастной

подгруппы пациентов не выявил статистически значимых различий между группами поражений ни в одной из них.

**Заключение.** Настоящее исследование не получило достаточных оснований утверждать, что тяжесть течения заболевания связана с радиационными рисками от проведенных КТ исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

- Иванов В.К., Цыб А.Ф., Метлер Ф.А. и др. Радиационные риски медицинского облучения // *Радиация и риск*. 2011. Т. 20, № 2. С. 17–28. [Ivanov V.K., Tsyb A.F., Metler F.A. et al. Radiation risks of medical exposure. *Radiation and risk*, 2011, Vol. 20, No. 2, pp. 17–28 (In Russ.)]
  - Шацкий И.Г. Оценка рисков медицинского облучения при рентгенографических исследованиях детей // *Радиационная гигиена*. 2017. Т. 10, № 2. С. 31–42. [Shatskiy I.G. Risk assessment of medical exposure in X-ray examinations of children. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017. Vol. 10, No. 2. С. 31–42 (In Russ.)] <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-2-31-42>.
  - Ivanov V., Tsyb A., Mettler F., Menyaylo A., Kashcheev V. Methodology for estimating cancer risks of diagnostic medical exposure: with an example of the risks associated with computed tomography // *Health Phys.* 2012. Vol. 103, No. 6. P. 732–739.
  - Balonov M., Shatskiy I. Evaluation of radiation risks from medical exposures: Organ dose approach versus effective dose approach // *J. Radiation Protection № 187, European Comission Radiation Protection and nuclear Safety*. 2018. P. 45–59.
- Поступила в редакцию/Received by the Editor: 31.01.2021 г.  
 Контакт/Contact: Шацкий Илья Геннадьевич, I.Shatskiy@niirg.ru

### Сведения об авторах:

*Шацкий Илья Геннадьевич* — научный сотрудник федерального бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Иванов Дмитрий Олегович* — доктор медицинских наук, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Резник Виталий Анатольевич* — кандидат медицинских наук, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Поздняков Александр Владимирович* — доктор медицинских наук, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Панунцева Каринэ Константиновна* — врач-рентгенолог, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Набиева Анна Сергеевна* — врач-эпидемиолог, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Баннова Светлана Леонидовна* — кандидат медицинских наук, федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8;

*Капырина Юлия Николаевна* — федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8.