

УДК 616-073.75+616-71+614.876(072)
 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1S-232-244

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.
 The authors stated that there is no potential conflict of interest.

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

MEDICAL INSTRUMENT ENGINEERING AND RADIATION SAFETY

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ

²О. М. Алексеева, ¹З. В. Булатов, Д. М. Касюк, ¹И. С. Кобылкин,
^{3,4}В. А. Нечаев, ⁵Н. Ю. Петухова, Д. В. Поздняков,
¹А. В. Прохоров, ¹Ю. Е. Шунков

¹АО «Медицинские технологии Лтд», Москва, Россия

²ГБУЗ «Городская клиническая больница имени В. М. Буянова
 Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

³ГБУЗ «Научно-исследовательский клинический институт
 оториноларингологии им. Л. И. Свержевского», Москва, Россия

⁴ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой
 диагностики», Москва, Россия

⁵ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-
 исследовательский клинический институт
 им. М. Ф. Владимирского», Москва, Россия

Двухэнергетическая рентгенография — сравнительно простой и при этом доста-
 точно мощный инструмент, повышающий диагностическую ценность рентгено-
 логического исследования за счет представления костей и мягких тканей на двух
 отдельных изображениях [1, 2]. В работе рассмотрены этапы построения раз-
 дельных изображений, сопутствующие проблемы и пути их решения.

DEVELOPMENT OF A DUAL-ENERGY RADIOGRAPHY SYSTEM

²Olga M. Alexeyeva, ¹Zaurbek V. Bulatov, Dmitry M. Kasiuk,
¹Igor S. Kobylkin, ^{3,4}Valentin A. Nechaev, ⁵Natalia Yu. Petukhova,
 Dmitry V. Pozdnyakov, ¹Alexander V. Prokhorov, ¹Yury E. Shunkov

¹Medical technologies Ltd, Moscow, Russia

²Moscow City Clinical Hospital after V.M.Buyanov, Moscow, Russia

³Clinical Research Institute of Otorhinolaryngology L. I. Sverzhetsky,
 Moscow, Russia

⁴LLC «Central Research Institute of Radiation Diagnostics», Moscow,
 Russia

⁵Moscow Regional Research Clinical Institute (MONIKI) named after
 M. F. Vladimirovsky, Moscow, Russia

Dual-energy radiography is relatively simple yet powerful tool that improves
 the diagnostic value of an X-ray by separating soft tissue from bones, produc-
 ing two different images [1, 2]. In this study, we describe the development of
 a Dual-energy imaging system and analyze related problems.

Цель исследования: реализация двухимпульсной двухэнергетиче-
 ской рентгенографии на телеуправляемом столе с цифровым плоско-
 панельным детектором.

Материалы и методы. На качество получаемых в итоге отдельных
 изображений тканей влияют такие параметры метода, как: спектраль-
 ные составы высокоэнергетического и низкоэнергетического импуль-
 сов излучения, соответствующие дозы и длительности, длительность
 паузы между импульсами (определяется характеристиками детекто-
 ра), способ обработки исходных изображений, полученных на разных
 энергиях, способ построения отдельных изображений и численные
 значения параметров построения. Проведен анализ литературы [2–5]
 и подбор параметров метода на антропоморфном фантоме.
 Предварительные оценки скорректированы с учетом опыта клиниче-
 ского применения метода.

Результаты. Импульс излучения низкой энергии должен генериро-
 ваться при напряжении на трубке 60–70 кВп, импульс высокой энер-
 гии — при напряжении 120–130 кВп, при этом в коллиматоре должен
 быть установлен дополнительный слой фильтрующего материала,
 эквивалентный по крайней мере 1 мм Al. Сокращение общего време-
 ни экспозиции (от начала первого импульса излучения до окончания
 второго) оказывает существенное положительное влияние на каче-
 ство получаемых отдельных изображений в силу уменьшения влия-
 ния движения пациента. С остаточными эффектами движения позво-
 ляет эффективно бороться применение алгоритмической коррекции
 (совмещения изображений).

Заключение. Режим двойной энергии на телеуправляемых аппара-
 тах производства АО МТЛ реализован с применением полученных
 результатов и используется в клинической практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

- Kuhlman J. Dual-Energy Subtraction Chest Radiography: What to Look for beyond Calcified Nodules // *Radiographics*. 2006. 26 (1). P. 79–92.
- Alvarez R. Extraction of Energy-Dependent Information in Radiography. Ph.D. dissertation, Department of Electrical Engineering, *Stanford University*. 1976.
- Richard S. Optimization of imaging performance and conspicuity in dual-energy x-ray radiography. Ph.D. dissertation, Department of medical biophysics, *University of Toronto*. 2008.
- Лемохин А.С. Развитие метода мультиэнергетической радиографии и разработка спектрозонального рентгеновского детектора: автореферат дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИИИМТ, 2004. [Lemokhin A.S. Development of the method of multi-energy radiography and the development of a spectrozonal x-ray detector: abstract of thesis. ... cand. tech. sciences. Moscow: VNIIMT, 2004 (In Russ.).]
- Мазуров А.И. Последние достижения в цифровой рентгенотехнике // *Медицинская техника*. 2010. № 5 (263). С. 10–13. [Mazurov A.I. Recent advances in digital x-ray technology // *Medical technology*. 2010. No. 5 (263), pp. 10–13 (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 21.01.2020 г.
 Контакт/Contact: Шунков Юрий Евгеньевич, shue@mtl.ru

Сведения об авторах:

Алексеева Ольга М. — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог отделения лучевой
 диагностики, ассистент кафедры лучевой диагностики ГБУЗ «Городская клиническая
 больница имени В. М. Буянова Департамента здравоохранения города Москвы»;
 115516, Москва, ул. Бакинская, д. 26;

Булатов Заурбек Викторович — ведущий разработчик-математик АО «Медицинские
 технологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;

Касюк Дмитрий Михайлович — независимый исследователь;

Кобылкин Игорь Сергеевич — руководитель лаборатории РДК АО «Медицинские тех-
 нологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;

Нечаев Валентин Александрович — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог
 отделения лучевой диагностики, ГБУЗ «Научно-исследовательский клинический инсти-
 тут оториноларингологии им. Л.И. Свержевского» Департамента здравоохранения горо-
 да Москвы; 117152, Москва, Загородное шоссе, д. 18А, стр. 2; старший научный сотруд-
 ник, ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики»;
 109431, Москва, улица Авиаконструктора Миля, д. 15 корп. 1;

Петухова Наталья Юрьевна — кандидат медицинских наук, заведующая рентген-
 кабинетом ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследователь-
 ский клинический институт им. М. Ф. Владимирского»; 129110, Москва, ул. Щепкина,
 д. 61/2; e-mail: moniki@monikiweb.ru;

Поздняков Дмитрий Викторович — кандидат физико-математических наук, независи-
 мый исследователь;

Прохоров Александр Валерьевич — руководитель отдела разработки АПС АО «Медицинские технологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;
Шунков Юрий Евгеньевич — кандидат технических наук, ведущий инженер-исследователь АО «Медицинские технологии»; Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru.

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ПРИ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

З. Я. Вагидова, А. В. Водоватов, С. С. Сарычева

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

Рентгенохирургические исследования характеризуются отсутствием стандартной структуры проведения исследования и ассоциированы с высокими (до 85 мЗв) дозами облучения пациентов. Для проведения крупномасштабного сбора данных по уровням облучения пациентов необходимо разработать методику индивидуализированной объективной оценки эффективных доз для данного вида исследований. В работе сформулированы основные требования к подходам методике сбора данных и оценки эффективных доз.

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO INDIVIDUALIZED ASSESSMENT OF EFFECTIVE DOSES IN X-RAY SURGERY

Zumrud Ya. Vagidova, Aleksandr V. Vodovатов,
Svetlana S. Sarycheva

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

X-ray surgery studies are characterized by the absence of a standard research structure and are associated with high (up to 85 mSv) radiation doses of patients. For large-scale data collection on patient exposure levels, it is necessary to develop a method for individualized objective evaluation of effective doses for this type of research. In this paper, the main requirements for approaches to data collection and evaluation of effective doses are formulated.

Цель исследования: рентгенохирургические исследования (р\х исследования) — лечебные и диагностические исследования посредством перкутанного доступа под контролем рентгеновского излучения для локализации патологии, мониторинга и контроля оперативного вмешательства в режиме реального времени (ICRP Publication 117). В настоящее время рентгенохирургические исследования широко применяются в различных областях медицины. Особенности исследований: отсутствует стандартная геометрия облучения пациента; время проведения скопии и количество рентгеновских снимков индивидуальны; используется несколько режимов работы (режим скопии, графни, ротационный, компьютерной томографии); структура исследования и время облучения определяется и состоянием пациента и квалификацией медицинского персонала; значительными дозами облучения пациентов. К сожалению, на текущий момент отсутствуют достоверные оценки уровней облучения пациентов при проведении данных видов исследований. Цель: разработка методики сбора данных для оценки эффективных доз (ЭД) пациентов при проведении высокодозовых рентгенохирургических исследований.

Материалы и методы. Наиболее практичным способом определения ЭД является использование коэффициентов перехода (КП) от измеренных дозовых величин к ЭД для пациентов данного возрастного диапазона. Для определения КП необходимо провести моделирование условий облучения с применением специализированного программного обеспечения для расчета ЭД. Модель облучения пациента для каждого выбранного рентгенохирургического исследования должна учитывать все параметры проведения исследования. При этом необходимо учитывать все манипуляции, проходящие под контролем рентгеновского излучения. Расчет ЭД должен осуществляться на основе измеренного произведения дозы на площадь.

Результаты. Для оценки ЭД следует использовать следующую последовательность действий: сбор данных по индивидуализированной структуре проведения выбранных рентгенохирургических исследований для 20–30 пациентов в 2–3 медицинских организациях; разработка индивидуальных моделей облучения для каждого пациента с учетом всех дозообразующих факторов; сравнительный анализ структур исследования для выборки пациентов; оценка ЭД и КП для индивидуальных пациентов; разработка усредненной модели проведения выбранного рентгенохирургического исследования; расчет типовых КП с использованием усредненных моделей; проведение крупномасштабного сбора данных и оценки ЭД в рамках отдельного региона России с использованием типовых КП. За рубежом подобные модели отсутствуют, так как оценка уровней облучения пациентов выполняется в измеряемых дозовых величинах.

Заключение. Для оценки ЭД необходима разработка модели облучения пациентов с использованием специализированного программного обеспечения. ЭД должны быть определены для всех типовых рентгенохирургических исследований с учетом параметров проведения рентгенографической процедуры и антропометрических особенностей пациентов. Данная методика расчета ЭД будет использована при проведении крупномасштабных сборов данных для оценки уровней облучения российских пациентов для данных видов исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Голиков В.Ю. и др. Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований // *Радиационная гигиена*. 2016. Т. 2. № 3. С. 26–31. [Golikov V.Yu. et al. Evaluation of patient radiation doses during interventional x-ray studies. *Radiation Hygiene*, 2016, Vol. 2, No. 3, pp. 26–31 (In Russ.).]
2. Голиков В.Ю. и др. Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 3. С. 120–132. [Golikov V.Yu. et al. Additions and changes in the assessment of effective doses of external exposure to patients in medical research. *Radiation hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 3. P. 120–132 (In Russ.).]
3. Макаревич К.О., Миненко В.Ф., Хрущинский А.А. Монте-Карло моделирование рентгенологической процедуры для оценки доз облучения пациентов // *Journal of Civil Protection*. 2017. Vol. 1, No. 3. С. 306–313. [Makarevich K.O., Minenko V.F., Khrushchinsky A.A. Monte Carlo simulation of an X-ray procedure for assessing patient doses. *Journal of Civil Protection*, 2017, Vol. 1, No. 3 (In Russ.).]
4. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population. European Commission. *Radiation protection*, 2014, № 180, Part ½, 181 p.
5. Yakoumakis et al. Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. *Rad. Prof. Dos.* 2015. Vol. 163 (2). P. 202–209.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 26.01.2020 г.

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

Сведения об авторах:

Вагидова Зумруд Якубовна — младший научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 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, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu;
Сарычева Светлана Сергеевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu.

РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ В МЕДИЦИНЕ: ПРАКТИЧЕСКИЕ И НОРМАТИВНЫЕ АСПЕКТЫ

А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, П. С. Дружинина

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

Развитие лучевой диагностики в Российской Федерации неизбежно приводит к росту числа аварий, происшествий и инцидентов, связанных с использованием

ем источников ионизирующего излучения в медицинских целях. В действующих нормативно-методических документах классификации, идентификации и стратегии принятия решений при радиационных авариях в медицине уделено недостаточное внимание. Целью данной работы являлась актуализация и гармонизация подходов к реагированию на радиационные аварии в медицине.

RADIATION ACCIDENTS IN RADIOLOGY: PRACTICAL AND LEGISLATIVE ASPECTS

Aleksandr V. Vodovатов, Larisa A. Chipiga, Polina S. Druzhinina

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

The development of the X-ray diagnostics in the Russian Federation is associated with the increase of radiation accidents, incidents, and events related to medical exposure. Existing regulatory documents and guidelines lack the data on the classification, identification, and investigation of medical radiation accidents. This study was aimed at the development of the actual and harmonized approaches to radiation incidents, accidents, and events in radiology.

Цель исследования: анализ существующих подходов к идентификации, расследованию и реагированию на радиационные аварии в медицине.

Материалы и методы. По опубликованным данным число радиационных аварий в медицине (при проведении лучевой терапии и интервенционных исследований) значительно превышает число аварий от всех других техногенных источников ионизирующего излучения: 184 и 40 аварий за период 2000–2013 гг. соответственно [1]. К сожалению, сведения о радиационных авариях в медицине в Российской Федерации полностью отсутствуют. Также в действующих нормативно-методических документах отсутствуют детализированные подходы к радиационным авариям с учетом специфики медицинского облучения. В работе был выполнен анализ основных зарубежных регулирующих документов МАГАТЭ (BSS GSR part 3 [2] и SSG-46 [3]) и Европейского общества радиологов [4].

Результаты. В лучевой диагностике к радиационным авариям относят целый спектр ситуаций непреднамеренного и/или избыточного облучения пациентов: процедурные ошибки при направлении пациентов на исследование и при проведении исследований; переоблучение пациентов при диагностике и терапии, непреднамеренное облучение плода/эмбриона и ошибки, связанные с неисправностью оборудования. Все данные ситуации должны быть расследованы в рамках медицинской организации; ответственными за расследование и принятие решений являются медицинские физики и персонал отделения лучевой диагностики. Результаты расследований в обязательном порядке передаются в регулирующие органы. Эффективность предотвращения и реагирования на радиационные аварии оценивается в рамках клинических аудитов медицинской организации.

Заключение. Таким образом, основными направлениями для совершенствования отечественных подходов к радиационным авариям в медицине являются: разработка единой классификации различных ситуаций в лучевой диагностике и терапии, приводящих к непреднамеренному облучению пациентов; разработка критериев идентификации и отнесения к различным категориям типовых радиационных аварий и случаев переоблучения пациентов и персонала; разработка методики оценки последствий и стратегии принятия решений при возникновении/выявлении радиационных аварий и случаев переоблучения персонала и пациентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

- Coeytaux K., Bey E., Christensen D., Glassman E. S., Murdock B., Doucet C. *Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980–2013: A Systematic Review.* PLOS ONE. 2015. P. 1–26.
- Международное агентство по атомной энергии. *радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности.* Общие требования безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3. Вена: МАГАТЭ, 2015. 518 с. [International Atomic Energy Agency. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.* GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015, 518 p. (In Russ.).]
- International Atomic Energy Agency. *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide № SSG-46.* Vienna: IAEA, 2018. 340 p.

- Patient Safety in Medical Imaging: a joint paper of the European Society of Radiology (ESR) and the European Federation of Radiographer Societies (EFRS). *European Society of Radiology (ESR) Insights into Imaging.* P. 1–17 (2019).

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 26.01.2020 г.

Контакт/Contact: *Водоватов Александр Валерьевич, vodovatoff@gmail.com*

Сведения об авторах:

Водоватов Александр Валерьевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН «Санкт-

Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru;

Чипига Лариса Александровна — кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru;

Дружинина Полина Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ В СФЕРЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, СВЯЗАННЫХ С МЕДИЦИНСКИМ ОБЛУЧЕНИЕМ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. С. Загузов, А. В. Водоватов, З. Я. Вагидова

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

Авторами рассматриваются типовые конфликтные ситуации, связанные с законодательством Российской Федерации в сфере радиационной безопасности при медицинском облучении, выделенные по итогам анализа деятельности медицинских организаций и кейс-репортов возникающих конфликтов. В статье предлагаются возможные решения, которые позволят избежать потенциальных конфликтных ситуаций и способствовать развитию отечественной лучевой диагностики.

ANALYSIS OF TYPICAL ISSUES RELATED TO THE RADIATION PROTECTION FROM MEDICAL EXPOSURE IN RUSSIAN FEDERATION

Vitaliy S. Zaguzov, Aleksandr V. Vodovатов, Zumrud Ya. Vagidova

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

This study is aimed at the review of the typical legal issues related to radiation protection from medical exposure in the Russian Federation, identified based on the results of the analysis of the data from medical facilities and case reports of the initiated conflict situations. The authors suggest several solutions that can prevent potential conflict initiations and contribute to the development of the national X-ray diagnostics.

Цель исследования: анализ типовых конфликтных ситуаций, связанных с законодательством в сфере радиационной безопасности в медицине.

Материалы и методы. Существующие нормативно-методические документы в сфере радиационной безопасности были разработаны более 10 лет назад и нуждаются в актуализации с учетом развития лучевой диагностики. Более того, отдельные их положения могут быть истолкованы неоднозначно, что систематически приводит к возникновению конфликтных ситуаций. В качестве основных проблемных ситуаций по итогам анализа деятельности лаборатории РГМО НИИРГ им. П. В. Рамзаева были выделены: вопросы размещения рентгенодиагностической аппаратуры, в том числе и стоматологической, в жилых и общественных зданиях; рост числа жалоб пациентов о неправомерном или избыточном медицинском облучении; пересмотр подходов к ограничению годовой эффективной дозы для катего-

рии практически здоровых лиц при проведении скрининговых исследований, диспансеризаций и медико-юридических экспертиз.

Результаты. Согласно п. 3.1 СанПиН 2.6.1.1192-03 [1] и п. 3.2.7 ОСПОРБ 99/2010 [2] рентгенаппараты не допускается размещать в жилых зданиях. Исключение составляют рентгенстоматологические аппараты. Допускается функционирование рентгеновских кабинетов в поликлиниках, встроенных в жилые здания, если смежные по вертикали и горизонтали помещения не являются жилыми [3]. Внедрение в практику современных технологий медицинской визуализации вынуждает разрабатывать не вполне корректные проектные решения по их размещению. Решением данной проблемы является переход на использование универсальных дозовых критериев для размещения рентгенаппаратов в жилых и общественных зданиях (непревышения МАЭД в 0,3 мЗв/ч на внутренней стене рентгеновского кабинета). Согласно п. 4.17 ОСПОРБ [2], при назначении рентгенодиагностической процедуры пациенту предварительно разъясняют пользу и связанный с ней риск для здоровья. В связи с тем, что в современной медицине нет единой формы добровольного информированного согласия, наблюдаются случаи возникновения конфликтов между пациентами и медицинскими организациями. Решение: уделение особого внимания добровольному информированному согласию, проведение процедуры подписи по типу заключения договора. Согласно п. 5.4.4 НРБ 99/2009 [1] и п. 4.2 ОСПОРБ 99/2010 [2], годовая доза, обусловленная проведением указанных видов исследований, не должна превышать 1 мЗв/год. Внедрение современных технологий медицинской визуализации будет приводить к гарантированному превышению данного ограничения. Решение: пересмотр ограничений эффективных доз для практически здоровых лиц с одновременной разработкой процедур обоснования внедрения новых перспективных технологий медицинской визуализации для скрининга и профилактики.

Закключение. Представленный анализ указывает на необходимость пересмотра и актуализации нормативно-методической документации в сфере радиационной безопасности при медицинском облучении. Это позволит избежать потенциальных конфликтных ситуаций и обеспечит надлежащий уровень развития отечественной лучевой диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10; зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115; Минюст России, 2010. 82 с. [Basic sanitary rules of radiation safety (OSPORB-99/2010): SR 2.6.1.2612-10; registered 11 August 2010 y., registration № 18115; Ministry of Justice of the Russian Federation. 80 p. (In Russ.).]
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09: утв. и введены 07.07.09 г.). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с. [Norms of radiation safety (NRB-99/2009): sanitary rules and norms (SanPiN 2.6.1.2523-09: registered 07.07.09). Moscow: federal center of hygiene and epidemiology, 2009. 100 p. (In Russ.).]
3. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.1192-03: введены в действие 18.02.03 г. № 8 с 01.05.03 г. М. [Hygienic requirements to the installation and operation of the X-Ray rooms and conduction fo the X-ray examinations (SanPiN 2.6.1.1192-03): registered 18.02.03 y. № 8 from 01.05.03 г. М. (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 26.01.2020 г.

Контакт/Contact: *Водоватов Александр Валерьевич*,
fenyaminlevinsaber@gmail.com

Сведения об авторах:

Загузов Виталий Сергеевич — младший научный сотрудник лаборатории внешнего облучения ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru;

Водоватов Александр Валерьевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru;

Вагидова Зумруд Якубовна — младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

С. А. Кальницкий, Е. Р. Ладанова

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены вопросы радиационной защиты (РЗ) при действии ионизирующего излучения (ИИ). Показано, что система РЗ связана с расширением фактов облучения человека, увеличением масштабов использования ИИ, а также учетом новых рисков облучения человека. Приведены основы международной системы РЗ, учитывающие многообразие ситуаций радиационного воздействия, необходимость обеспечения единства подходов в различных ситуациях облучения, а также современные ситуации облучения человека ИИ.

MODERN TENDENCY OF RADIATION PROTECTION

Sergey A. Kalnitskiy, Evgeniya R. Ladanova

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

The questions of radiation protection (RP) from ionizing radiation is examined. Showing, that RP system connected with wide of people irradiation, increase of ionizing radiation using and calculation the new risks of people irradiation. Adduce the basis of international system RP, including varied situation of radiation influence, necessity ensuring of unity approach in different situations of irradiation and modern situations of people irradiation.

Цель исследования. Человечество накоплен громадный опыт применения РЗ в различных областях деятельности, включая медицину. Регулирование РЗ входит в компетенцию наиболее авторитетных специализированных международных организаций, включая МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН и ЕС [1–5]. Данные организации, во-первых, исследуют разнообразные свойства ИИ и разрабатывают на их основе средства и методы РЗ, во-вторых, подготавливают международные стандарты и, в-третьих, собирают и анализируют сведения о наличии и характере использования ИИ в разных странах и представляют их мировой общественности. Все они используются национальными правительствами, включая Россию. Цель работы: проанализировать и представить современную систему РЗ для практического использования.

Материалы и методы. Проанализированы документы [1–4].

Результаты. Показано, что в последнее время система РЗ претерпела существенные изменения, связанные с расширением фактов облучения человека и увеличением масштабов использования ИИ [1, 4]. Появилась новая стратегия РЗ, основанная на моделировании процессов защиты и учете социально-экономических факторов. В оценке риска происходят разнонаправленные процессы: при общем снижении риска на 20% наблюдается его увеличение для молочной железы и легких при снижении риска для красного костного мозга и гонад, что особенно важно для медицинского облучения [1]. Поскольку любой человек подвергается воздействию ИИ от естественных и искусственных источников в результате взаимосвязи определенных событий и ситуаций, предлагается рассматривать эти процессы во взаимосвязи. Исходной точкой таких процессов является источник излучения. С другой стороны, воздействие ИИ осуществляется на человека — конечный элемент в цепи облучения. Оно происходит с учетом различных факторов и, в конечном счете, приводит к накоплению дозы, то есть прослеживается связь: источник-индивидуум-доза. Защита человека от облучения на этом пути может быть обеспечена принятием защитных мер либо к самому источнику излучения, либо к индивидууму, на которого направлено облучение. В последнем случае РЗ может осуществляться на различных (ключевых) этапах воздействия облучения и разными способами.

Закключение. Постулируется, что современные ситуации облучения человека ИИ учитывают все возможные обстоятельства, а именно: существующее облучение (присутствует ко времени, когда было принято решение о взятии его под контроль), планируемое облучение (намеренное введение и эксплуатация ИИ), а также аварийное облучение. Медицинское облучение фактически относится к планируемому

му, но в связи со спецификой использования рассматривается отдельно. Предлагается использовать вышесказанное для подготовки современных отечественных регулирующих документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. МКРЗ. Рекомендации 2007. Международной комиссии по радиационной защите. Публикация № 103 МКРЗ. М.: ФМБЦ им. А.И.Бурназяна. [ICRP. Recommendations 2007. International Commission on Radiation Protection. Publication No. 103 of the ICRP. Moscow: FMBC them. A.I.Burnazyan (In Russ.)].
2. МАГАТЭ. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № GSR р. 3 (Interim). МАГАТЭ, Вена. 2011. [IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR р. 3 (Interim). IAEA, Vienna. 2011 (In Russ.)].
3. UNSCEAR UN. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. I, Annex A. New York, UN, 2010.
4. МКРЗ. Радиационная защита в медицине: Публикация 105 МКРЗ. СПб.: НИИРГ, 2011. [ICRP. Radiation Protection in Medicine: Publication 105 of the ICRP. St. Petersburg: NIIRG, 2011 (In Russ.)].
5. Wood A.W., Karipidis K. (ed.). Non-ionizing Radiation Protection: Summary of Research and Policy Options. John Wiley & Sons, 2017.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 25.01.2020 г.

Контакт/Contact: Ладанова Евгения Романовна, s.kalnitsky@niirg.ru

Сведения об авторах:

Кальницкий Сергей Анатольевич — ведущий научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu; Ладанова Евгения Романовна — младший научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu.

УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ЖЕНЩИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАММОГРАФИИ

С. А. Кальницкий, Е. Р. Ладанова

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

Исследованы: риски ионизирующего излучения, заболеваемость раком молочной железы (МЖ), объем и динамика маммографии в РФ. Определены уровни медицинского облучения женщин при проведении маммографии. Частота маммографии МЖ в 2017 г. составила 191% (скрининга — 124%). Средняя органная доза МЖ за снимок равняется около 1 мГр, эффективная — 0,1 мЗв. Коллективная эффективная доза МЖ составила 2,2 тыс. чел.-Зв.

FEMALE BREAST IRRADIATION IN WOMAN DURING MAMMOGRAPHY

Sergey A. Kalnitskiy, Evgeniya R. Ladanova

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

Studied: risks of ionizing radiation, incidence of female breast (FB) cancer, volume and dynamics of mammography, radiation dose in Russia. Volume mammography in 2017 y. is 191% (screening — 124%). Organ doses on FB in mammography on 1 procedure near is 1 mGy, effective dose — 0,1 mSv. Collective effective dose in mammography is 2,2 thous and man-Sv.

Цель исследования. В общей структуре онкологической заболеваемости рак МЖ занимает первое место среди всех онкологических заболеваний у женщин [1, 5]. Число доброкачественных заболеваний МЖ в десятки раз превышает онкологические показатели. Прогноз в отношении заболеваемости МЖ, так же как и сама ее динамика,

являются неблагоприятными. [6] В этой связи в РФ проводится профилактика (скрининг) РМЖ больших контингентов женщин старших возрастных групп [2]. Цель работы: анализ современного уровня рентгенодиагностического облучения МЖ у женщин при проведении скрининга рака МЖ.

Материалы и методы. Изучены риски ионизирующего излучения, заболеваемость населения, в том числе МЖ, количество рентгенологических исследований, а также дозы облучения пациенток. Экспериментальные дозиметрические исследования проводились в различных медицинских организациях Санкт-Петербурга. В работе использовано 10 маммографов разных типов. На каждом аппарате проводился контроль эксплуатационных параметров, в ходе которого определялись режимы исследования, в том числе напряжение на рентгеновской трубке, экспозиция и др. параметры, на основании которых рассчитывались дозы облучения пациенток.

Результаты. Количество маммографий в РФ за последнее время значительно увеличилось и составило в 2017 г. 191% (скрининг — 124%). Средняя органная (поглощенная) доза облучения МЖ при проведении одного снимка равняется около 1 мГр, эффективная доза — 0,1 мЗв. Значительных различий в использовании аналоговых и цифровых аппаратов не обнаружено. Органные дозы равняются: за диагностическое исследование, состоящее из 4 снимков (по 2 на каждую железу в двух проекциях) — 3,92 мГр, за профилактическое исследование (2 снимка — по одному на каждую железу) — 1,96 мГр. Соответствующие эффективные дозы за исследование равняются: для диагностики — 0,20 мЗв по [3] и 0,48 мЗв с учетом рекомендаций МКРЗ [4], для профилактики — 0,10 мЗв по [3] и 0,24 мЗв по [4]. Коллективная доза от маммографии в РФ в 2017 г. составила 2,2 тыс.чел.-Зв (1,4 тыс.чел.-Зв — скрининг и 0,8 тыс.чел.-Зв -диагностика).

Заключение. Облучение МЖ при маммографии является незначительным, но в условиях большого объема проводимых исследований необходимо стремиться к минимизации облучения посредством его оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Здравоохранение в России. 2015: Стат.сб./Rosstat. М., 2015. [Healthcare in Russia. 2015: Stat.sb./Rosstat. Moscow, 2015 (In Russ.)].
2. Форма статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских диагностических рентгенодиагностических исследований в РФ за 2018 г.» Росстата. [Statistical observation form No. 3 of the DOZ «Information on radiation doses to patients during medical diagnostic x-ray studies in the Russian Federation for 2018» Rosstat (In Russ.)].
3. СанПиН 2.6.12523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009». [SanPin 2.6.12523-09 «Norms of radiation safety NRB 99/2009» (In Russ.)].
4. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. М.: Изд-во ООО ПКФ «Алана», 2009. [2007 Recommendations of the International Commission on Radiation Protection. Publication 103 of the ICRP / Per. from English under the general. ed. M.F.Kiseleva, N.K.Shandals. Moscow: Publishing. LLC PKF «Alana», 2009 (In Russ.)].
5. Miglioretti D. L. et al. Radiation-induced breast cancer incidence and mortality from digital mammography screening: a modeling study // *Annals of internal medicine*. 2016. Vol. 164, No. 4. P. 205–214.
6. Monticciolo D. L. et al. Breast cancer screening in women at higher-than-average risk: recommendations from the ACR // *Journal of the American College of Radiology*. 2018. Vol. 15, No. 3. P. 408–414.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 25.01.2020 г.

Контакт/Contact: Ладанова Евгения Романовна, s.kalnitsky@niirg.ru

Сведения об авторах:

Кальницкий Сергей Анатольевич — ведущий научный сотрудник ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu; Ладанова Евгения Романовна — младший научный сотрудник ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: IRH@EK6663.spb.edu.

АТЛАС КОНТРАСТИРОВАННЫХ ЦВЕТОВ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹И. Г. Камышанская, ^{1,2}В. М. Черемисин, ³А. И. Мазуров,
⁴А. К. Денисов, ¹Р. А. Ковин

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

²СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург,
Россия

³НИПК «Электрон», Санкт-Петербург, Россия

⁴СПб НИУИТМО «ИТМО», Санкт-Петербург, Россия

Нами разработан метод цветового контрастирования рентгенограмм, основанный на квантовой гипотезе цветового зрения. Пока метод не нашел достойного применения в рентгенодиагностике. Целью работы было создание электронного учебного пособия в виде атласа рентгенограмм различных органов и систем с патологическими проявлениями. Атлас будет способствовать освоению рентгенологами метода цветового контрастирования рентгенограмм и сделает этот способ оптимизации изображений популярным.

ATLAS OF COLOR-CONTRASTED X-RAY IMAGES

¹Irina G. Kamyshanskaya, ^{1,2}Vladimir M. Cheremisin,
³Anatoly I. Mazurov, ⁴A. K. Denisov, ¹Roman A. Kovin

¹FSBEI HE «St. Petersburg State University», St. Petersburg, Russia

²FSBI of Health «Mariinskaya Hospital», St. Petersburg, Russia

³NIPK «Electron», St. Petersburg, Russia

⁴St. Petersburg NIUITMO «ITMO», St. Petersburg, Russia

We have developed a method for color contrasting radiographs based on the quantum hypothesis of color vision. The method did not find worthy application in X-ray diagnostics. The aim of the work was to create an electronic textbook in the form of an atlas of radiographs of various organs and systems with pathological manifestations. The atlas will facilitate the development by radiologists of the method of color contrasting of radiographs and will make this method of image optimization popular.

Цель исследования. Нами разработан метод кодировки рентгенограмм цветом [1, 2], основанный на квантовой гипотезе цветового зрения [3]. На сегодняшний день возможности цветового контрастирования (ЦК) в постобработке цифровых рентгенограмм до конца не изучены. В работе [4] авторами показано, что для повышения эффективности рентгенодиагностики в пакет постобработки рентгенограмм целесообразно включить метод ЦК [5], который в целом ряде случаев способствует визуализации патологических признаков, скрытых либо малозаметных на черно-белом изображении. Сам метод не нашёл достойного применения в рентгенодиагностике, так как пока не получил широкого распространения среди рентгенологов. В связи с этим возникла необходимость в разработке учебного пособия для рентгенологов, помогающего ему провести раскрашивание рентгенограмм в определённой шкале и насыщенности цветов, а также проанализировать изображения. Целью работы является создание электронного учебного пособия в виде атласа рентгенограмм различных органов и систем, в котором каждая страница будет содержать исходную и контрастированную цветом рентгенограмму с патологией, заметить которую было затруднительно на черно-белом снимке. На расщеченной рентгенограмме патология отмечается стрелкой, а в подписи к стрелке дается комментарий.

Материалы и методы. Разработка атласа проводится в городской Мариинской больнице Санкт-Петербурга. На рабочие станции рентгенолога была установлена компьютерная программа для проведения ЦК [4, 5]. Эта программа для расщечивания рентгенограммы позволяет рентгенологу выбрать одну из 63 траекторий восьми максимально насыщенных цветов: черного K, синего B, красного R, пурпурного M, зеленого G, голубого C, желтого Y и белого W. Черный и белый цвет присутствуют на концах всех траекторий, остальные цвета выбираются произвольно от 1 до 6. Насыщенность выбранных траекторий цветов может плавно изменяться от 0 до 100%. Правильный выбор цветов позволяет увеличить количество извлекаемой из рентгенограммы информации.

Результаты. В настоящее время в атлас уже включено более 100 страниц с различной патологией. К концу 2020 г. в атлас предполагается включить до 500 рентгенограмм. Атлас может пополняться интересными клиническими случаями по мере их выявления на расщеченных рентгенограммах, с демонстрацией симптомов, которые убедительно не обнаруживаются на исходных снимках. В процессе нашей работы обнаружены наиболее эффективные траектории цветов: полная и холодная шкалы, контрастные шкалы: B-Y; R-C; M-G. Контрастные шкалы выделяют ткани высокой плотности. Так, шкала B-Y подчеркивает ребра на фоне легких, что позволяет выявить их скрытые переломы. Теплая шкала R-M-Y недостаточно оптимизирует первичное изображение. Насыщенность более 50% приводит к потере структуры изображения.

Заключение. Электронный атлас, как учебное пособие, будет способствовать освоению рентгенологами метода цветового контрастирования рентгенограмм, поможет разобраться в методике, сделает данный способ оптимизации изображений популярным в постобработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Мазуров А.И., Денисов А.К. Эффективный метод кодирования рентгенограмм цветом // Лучевая диагностика и терапия. 2018. № 1. С. 176–177 [Mazurov A.I., Denisov A.K. An effective method of coding radiographs in color. Radiation diagnostics and therapy. 2018, No. 1, pp. 176–177 (In Russ.)].
2. Mazurov A.I., Kamyshanskaya I.G., Denisov A.K. *Color Contrasting of Radiographs*. Cite as: AIP Conference Proceedings 2140, 020045-1-020045-5 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5121970> Published Online: 12 August 2019.
3. Нюберг Н.Д. Теоретические основы цветной репродукции. М.: Советская наука, 1947.
4. Nyberg N.D. Theoretical foundations of color reproduction. Moscow: State published «Soviet science», 1947 (In Russ.)].
5. Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Мазуров А.И., Денисов А.К., Ковин Р.А. Возможности цветового кодирования рентгенограмм в постпроцессорной обработке изображений // VI Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. 28–29 ноября. 2019. С. 28–33. [Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Mazurov A.I., Denisov A.K., Kovin R.A. Possibilities of color coding of radiographs in post-processing image processing. VI All-Russian Scientific and Practical Conference of Manufacturers of X-ray Equipment. November 28–29. 2019, pp. 28–33 (In Russ.)].
6. Денисов А. К., Камышанская И. Г., Мазуров А. И. Цветовое контрастирование рентгенограмм / А. К. Денисов, И. Г. Камышанская, А. И. Мазуров // V Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. 30 ноября–01 декабря. 2018. С. 11–144. [Denisov A.K., Kamyshanskaya I.G., Mazurov A.I. Color contrasting of radiographs // V All-Russian Scientific and Practical Conference of X-ray Producers technicians. November 30 — December 01. 2018, pp. 11–144 (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 25.01.2020 г.

Контакт/Contact: Камышанская Ирина Григорьевна, irinaka@mail.ru

Сведения об авторах:

Камышанская Ирина Григорьевна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: o.kafedra@mail.ru;

Черемисин Владимир Максимович — доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; e-mail: o.kafedra@mail.ru; заведующий отделом лучевой диагностики СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 56;

Мазуров Анатолий Иванович — кандидат технических наук, руководитель отдела по науке ЗАО НИПК «Электрон», НИПК «Электрон»; 198188, Санкт-Петербург, Волхонское шоссе, квартал 2, д. 4 Б;

Денисов Алексей Константинович — аспирант СПб НИУИТМО «ИТМО»; 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49;

Ковин Роман Алексеевич — ординатор курса лучевой диагностики и лучевой терапии кафедры онкологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: o.kafedra@mail.ru.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ РЕНТГЕНОТЕРАПИИ

А. Д. Оборнев, Н. Н. Потрахов, С. А. Никитин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия

ФГБУЗ «Клиническая больница № 122 имени Л.Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства», Санкт-Петербург, Россия

Интраоперационная рентгенотерапия (ИОРТ) — современная перспективная методика проведения терапевтических процедур при лечении целого ряда онкологических заболеваний. Для реализации методики используется комплект технических средств в составе специализированного источника рентгеновского излучения (ИРИ) и роботизированной системы позиционирования ИРИ, а также оригинального программного обеспечения (ПО). В работе рассмотрены результаты исследований по созданию отечественных технических средств ИОРТ.

NATIONAL TECHNICAL MEANS OF INTRAOPERATIVE X-RAY THERAPY

Alexandr D. Osbornev, Nikolay N. Potrakhov, Sergey A. Nikitin

St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia

The L.G. Sokolov Memorial Hospital № 122, St. Petersburg, Russia

Intraoperative x-ray therapy is a modern promising methodology for performing therapeutic procedures in the treatment of a number of oncological diseases. To implement this methodology a set of hardware, including a specialized X-ray source, robotic positioning system and original software, is used. The paper considers the results of studies on the creation of domestic technical means of IORT.

Цель исследования: разработка комплекта отечественных технических средств рентгенотерапии для реализации методики ИОРТ.

Материалы и методы. Основной метод проведения лучевой терапии онкологических заболеваний — дистанционный, при котором осуществляется внешнее облучение злокачественной опухоли. В этом случае источник ионизирующего излучения располагается на определенном расстоянии от больного. Пучку излучения придается необходимая форма и он направляется на часть тела, подлежащую облучению. Однако при этом необоснованному облучению подвергаются ткани и органы, находящиеся до и после опухоли. Внутриполостной метод лучевой терапии позволяет максимально близко подвести источник ионизирующего излучения (ИИИ) к опухоли при терапии внутриполостных онкологических заболеваний. Выбор вида и энергии ИИИ позволяет практически полностью исключить облучение окружающих опухоль здоровых тканей и органов.

Результаты. Разработан действующий макет комплекта технических средств рентгенотерапии в составе: специализированный ИРИ на основе рентгеновской трубки (РТ) с прострельной мишенью, вынесенной на длинной и тонкой анодной трубе из вакуумного объема РТ; роботизированной системы позиционирования ИРИ в грудной, брюшной и др. внутренних полостях тела больного; оригинального программного обеспечения (ПО) [1, 2]. Для проведения процедуры ИОРТ система позиционирования позволяет как в ручном, так и в автоматическом режимах ввести мишень РТ в полость тела больного через прокол и просканировать узким пучком рентгеновского излучения раневое поле, образовавшееся после удаления внутриполостной опухоли. При этом ПО контролирует размеры поля облучения, траекторию сканирования, расстояние до облучаемой поверхности, а также время облучения с целью обеспечения заданной дозы в каждой точке раневого поля.

Заключение. По оценкам ведущих российских специалистов методика ИОРТ имеет широкие терапевтические возможности и будет востребована в отечественной клинической практике, например, торакальной хирургии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Дмитриев А.С., Тимофеев Г.А., Потрахов Н.Н., Потрахов Е.Н., Источник рентгеновского излучения для интраоперационной лучевой терапии. *V Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники: сборник материалов конференции*. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. 50 с. [Dmitriev A.S., Timofeev G.A., Potrakhov N.N., Potrakhov E.N., X-ray source for intraoperative radiation therapy. *V All-Russian scientific and practical conference of producers of X-ray equipment. Materials of conf.*, St. Petersburg, 2018. 50 p. (In Russ.)].
2. Клонов В.В., Потрахов Н.Н. Интраоперационная лучевая терапия и современные технические средства для реализации. *Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии*, Владимир-Суздаль, 2018: сб. трудов конференции. М: ООО «Графика», 2018. С. 92–94. [Klonov V.V., Potrakhov N.N. Intraoperative radiation therapy and modern technical means for implementation. *Physics and radioelectronics in medicine and ecology: Materials of conf.*, Vladimir-Suzdal', 2018, pp. 92–94 (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 25.01.2020 г.

Контакт/Contact: *Дмитриев Александр Сергеевич, as_dmit@mail.ru*

Сведения об авторах:

Оборнев Александр Дмитриевич — доктор медицинских наук, торакальный хирург, ФГБУЗ «Клиническая больница № 122 им. Л.Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства»; 194291, Санкт-Петербург, пр. Культуры, д. 4; e-mail: mri@med122.com;
Потрахов Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; e-mail: info@eti.ru;
Никитин Сергей Александрович — начальник лаборатории медицинской техники, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики; 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 2.

ФИЛЬТРАЦИЯ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д. И. Озик

ООО «Рентген-Комплект», Москва, Россия

В настоящее время дозовая нагрузка является главным критерием при проведении рентгенохирургических операций. В связи с этим парадигма радиационной защиты сместилась от принципа: «качество изображения должно быть как можно лучше» к следующему: «качество изображения должно быть настолько хорошо, насколько это необходимо». Иначе говоря, доза облучения для пациентов должна быть настолько низкой, насколько это возможно, сохраняя при этом качество изображения, достаточное для точного диагноза.

FILTRATION OF THE SCATTERED RADIATION DURING ENDOVASCULAR RESEARCH

Daria I. Ozik

ООО «Rentgen-Komplekt», Moscow, Russia

Currently, the radiation dose is the main criterion during endovascular operations. In this regard, the paradigm has shifted from the radiation protection principles: «Image quality should be as good as possible» to the next: «Image quality should be as good as it is necessary». In other words, the radiation dose for the patient should be kept as low as possible, while maintaining the image quality is sufficient for an accurate diagnosis.

Цель исследования: рассмотрение возможности исключения вредного воздействия рассеянного излучения на рентгеновское изображение за счет определения его значений при экспозиции.

Материалы и методы. Методы цифровой рентгенографии позволяют исключить «фактор БУКИ» из расчета экспозиции при фильтрации рассеянного излучения. Это связано с большими значениями динамического диапазона и возможностью минимизировать значение дозы излучения при сохранении или увеличении отношения сигнал/шум. Геометрия измерения рассеянного излучения рассматривается согласно ГОСТ Р МЭК 60627–2005 для аналоговой рентгенографии при фильтрации рассеянного излучения с помощью рассеивающих растров.

Результаты. Программный метод фильтрации рассеянного излучения не ухудшает качество конечного 3D-изображения, поскольку каждое промежуточное вычитание рассеяния производится под разными углами. Этот метод применим не только в компьютерной томографии и при томосинтезе: положительный эффект может быть достигнут при любом виде цифровой рентгенографии, в том числе и при применении фотостимулируемых люминофоров.

Заключение. Вычитание поля рассеяния из каждого промежуточного изображения, получаемого в процессе 3D-томосинтеза, приводит к значительному возрастанию отношения сигнал/шум, а следовательно, при прочих равных условиях, к снижению дозы без потери качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Блинов Н.Н., Варшавский Ю.В. и др. Сравнительный анализ дозовых нагрузок на пациентов при проведении кардиоваскулярных исследований с использованием компьютерных томограф и ангиографических комплексов // *Радиология и практика*. 2009. № 3. С. 30–40. [Blinov N.N., Varshavsky Yu.V. et al. Comparative analysis of dose loads on patients during cardiovascular studies using computed tomography and angiographic complexes. *Radiology and Practice*, 2009, No. 3, pp. 30–40 (In Russ.)].
2. ГОСТ Р МЭК 60627-2005. *Оборудование для получения рентгеновских диагностических изображений*. Характеристики отсеивающих растров общего назначения и маммографических отсеивающих растров. [GOST R IEC 60627–2005. *Equipment for obtaining x-ray diagnostic images*. Characteristics of general-purpose screening rasters and mammographic screening rasters (In Russ.)].
3. Блинов А.Б., Блинов Н.Н. Лучевые нагрузки при рентгеновской компьютерной томографии // *Медицинская техника*. 2010. № 5. С. 23–25. [Blinov A.B., Blinov N.N. X-ray computed tomography radiation loads. *Medical equipment*. 2010, No. 5, pp. 23–25 (In Russ.)].
4. Possible C. T. M. Reducing Radiation Dose in CT//*RAD book*. 2010. С. 12.
5. Jurik A.G., Jessen K.A., Hansen J. Image quality and dose in computed tomography // *European radiology*. 1997. Vol. 7, No. 1. P. 77–81.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 25.01.2020 г.
Контакт/Contact: Озик Дарья Ильинична, renkop.d.oz@gmail.com

Сведения об авторе:

Озик Дарья Ильинична — сотрудник ООО «Рентген-Комплект»: 109052, Москва, ул. Подъемная, д. 14, стр. 1,3; e-mail: office@r-k.ru.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ БИОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{223}Ra -ДИХЛОРИДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

¹А. Е. Петрова, ^{2,3}Л. А. Чипига, ³А. А. Станжевский

¹УО «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Минск, Белоруссия

²ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова», Санкт-Петербург, Россия

^{223}Ra -дихлорид используется для лечения кастрационно-резистентного рака предстательной железы. Использование существующей камерной модели для здоровых органов и тканей, предложенной Международной комиссией по радиационной защите, может приводить к недооценке доз в поверхности кости и красном костном мозге и переоценке дозы в печени, поэтому следует использовать специфическую модель для пациентов с мКРРПЖ.

COMPARISON OF DIFFERENT MODELS OF ^{223}Ra -DICHLORIDE BIODISTRIBUTION FOR THE EVALUATION OF THE INTERNAL EXPOSURE

¹Anna E. Petrova, ^{2,3}Larisa A. Chipiga, ³Andrey A. Stanzhevskiy

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Belarus

²FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

³FSBI «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia

^{223}Ra -dichloride is used to treat castration-resistant prostate cancer (CRPC). The use of existing compartment model for the health people, presented by the International Commission of Radiation Protection, can be associated with underestimation of dose in the bone surface and red bone marrow and overestimation dose in liver. Hence the specific compartment model should be used for the patients with CRPC.

Цель исследования: изучить и сравнить биораспределение ^{223}Ra -дихлорида для здоровых органов и тканей и для пациентов с кастрационно-резистентным раком предстательной железы (мКРРПЖ) для оценки органных доз пациентов.

Материалы и методы. Проанализировали опубликованные данные о биораспределении ^{223}Ra -дихлорида. Изучили камерную модель биораспределения ^{223}Ra -дихлорида для пациентов с мКРРПЖ [1], которая основана на исследовании пациентов после введения им ^{223}Ra -дихлорида активность 110 кБк/кг массы тела. Для оценки активности в плазме крови в разные промежутки времени отбирали кровь в течение 6 суток для анализа *in vitro*. Активность в костной ткани, тонком кишечнике, верхнем и нижнем отделах толстого кишечника определяли с помощью количественной визуализации на гамма-камере. Данную камерную модель сравнили с камерной моделью биораспределения ^{223}Ra -дихлорида для здоровых органов и тканей, представленной в Публикации 137 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [2].

Результаты. В отличие от модели МКРЗ для здоровых органов и тканей, модель для пациентов с мКРРПЖ не включает камеры мочевыводящей системы и печени, подмодель скелета разделена на две камеры, а подмодель желудочно-кишечного тракта разделена на 3 камеры. Сравнение удержания ^{223}Ra -дихлорида в костной ткани показало, что модель для больных мКРРПЖ прогнозирует быстрый захват ^{223}Ra костной тканью — 50% за первые 4 часа после инъекции и его значительное вымывание в течение первых 50 часов после поступления. Первая камера, описывающая скелет, характеризуется очень быстрым захватом ^{223}Ra и дальнейшим переходом во вторую камеру, которая отличается низкой скоростью вымывания. Радиофармпрепарат ^{223}Ra -дихлорид быстро переходит в тонкий кишечник — накопление 40% от введенной активности через 4 часа и к 72 часам выводится из желудочно-кишечного тракта. Высокая скорость поступления ^{223}Ra в костную ткань по сравнению с моделью МКРЗ является важным отличием биораспределения в организме пациентов, проходящих лечение с ^{223}Ra -дихлоридом.

Заключение. Использование модели биораспределения ^{223}Ra -дихлорида для расчета поглощенных доз в органах и тканях пациентов, проходящих лечение мКРРПЖ не всегда корректно позволяет учесть реальное распределение радиофармпрепарата в организме пациентов и может привести к недооценке доз в поверхности кости и красном костном мозге и завышению дозы в печени. Оценка поглощенных доз в органах должна основываться на результатах клинической дозиметрии пациентов с введенным радиофармпрепаратом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Taprogge J., Murray I., Gear J., Chittenden S.J. et al. Compartmental model for ^{223}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. ICRP, 2018. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP. Vol. 46 (3/4).

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 26.01.2020 г.
Контакт/Contact: Петрова Анна Евгеньевна, anuapetrova2797@gmail.com

Сведения об авторах:

Петрова Анна Евгеньевна — студентка, «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Республика Беларусь; 220070, Минск, ул. Долгобродская, д. 23/1; e-mail: anupetrova2797@gmail.com;

Чипига Лариса Александровна — кандидат технических наук, научный сотрудник, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niing.ru; ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: info@rtrcrst.ru; *Станжевский Андрей Алексеевич* — доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: info@rtrcrst.ru.

ПОРТАТИВНЫЙ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕОНАТОЛОГИИ И ПЕДИАТРИИ

¹Ю. Н. Потрахов, ²А. В. Алхазивили, ²Г. Е. Труфанов

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова», Санкт-Петербург, Россия

Рентгенография недоношенного новорожденного с целью диагностики возможного ателектаза легких должна осуществляться в течении всего периода выхаживания. Существующие технические средства не позволяют проводить рентгенодиагностические обследования новорожденных в следующих условиях: родильных залах, палатах реанимации и т.д. Представлены результаты исследований по разработке специализированных — портативных технических средств рентгеновской диагностики для неонатологии и педиатрии.

PORTABLE X-RAY DIAGNOSTIC COMPLEX FOR NEONATOLOGY AND PEDIATRICS

¹Yuriy N. Potrakhov, ²Aleksandr V. Alkhazeshvili, ²Gennadiy E. Trufanov

¹St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

²FSBI «National Almazov Medical Research Centre», St. Petersburg, Russia

Radiography of a premature newborn to diagnose possible lung atelectasis should be carried out throughout the entire period of nursing. Existing technical means do not allow X-ray diagnostic examinations of newborns in the following conditions: maternity rooms, intensive care wards, etc. The results of studies on the development of specialized portable technical means of x-ray diagnostics for neonatology and pediatrics are presented.

Цель исследования: разработка портативного рентгенодиагностического комплекса для неонатологии и педиатрии в нестационарных неспециализированных условиях.

Материалы и методы. В соответствии с приказом МЗ РФ № 1687 н новорожденные с экстремально низкой массой тела (от 500г) считаются жизнеспособными. Как правило, недоношенный новорожденный имеет целый набор заболеваний, наиболее опасным из которых является ателектаз легкого. Диагностика таких пациентов для оценки степени ателектаза должна проводиться непосредственно после рождения, а затем регулярно в течение всего периода выхаживания. Во время выхаживания пациент находится в специальном боксе, в котором поддерживается необходимый режим температуры, влажности, оксигенации, а также вскармливания и введения необходимых лекарств через зонды. Существующие рентгеновские аппараты не предназначены для проведения рентгенодиагностических обследований новорожденных в подобных нестационарных неспециализированных условиях: родильных залах, реанимационных отделениях, палатах

интенсивной терапии и т.д. Помимо больших габаритов и массы, типовые режимы работы рентгеновской трубки (протоколы проведения исследования) в таких аппаратах не позволяют получать рентгеновское изображение необходимого качества и информативности.

Результаты. Разработан действующий макет комплекта технических средств рентгенодиагностики в составе рентгеновского аппарата (РА) моноблочного типа в портативном исполнении и малогабаритного цифрового приемника изображения (ПИ) на основе плоскопараллельного твердотельного детектора рентгеновского излучения. Конструкция портативного РА позволяет проводить рентгеновскую съемку без использования традиционного штатива — «с руки» [1–3]. Питание РА и ПИ осуществляется от встроенных аккумуляторных батарей, емкости которых хватает на выполнение до нескольких десятков рентгеновских снимков. Испытания макета портативного рентгеновского комплекса были проведены на базе НМИЦ им. В. А. Алмазова. В ходе испытаний было установлено, что полученные рентгеновские изображения имеют качество, необходимое для диагностики патологических изменений органов грудной клетки новорожденных и детей раннего возраста. При этом оценка эффективной дозы облучения показала, что получаемые значения дозы относятся к «пре-небрежимо малому» диапазону радиационного риска.

Заключение. Полученные результаты дают основание к широкому внедрению портативных отечественных технических средств рентгенодиагностики в клиническую практику неонатологии и педиатрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Mazurov A.I., Potrakhov N.N., Potrakhov Y.N. Current X-Ray Diagnosis Technology in Neonatology // *Biomedical Engineering* Volume 53, Issue 1, 15 May 2019. P. 66–70
2. Potrakhov N.N. Modern technical means of x-ray diagnostics in neonatology // *AIP Conference Proceedings* Vol. 2089, 2 April 2019, № 020017.
3. Bessonov V.B., Potrakhov N.N., Potrakhov Y.N., Guk K.K., Gryaznov A.Y. Technical means for x-ray diagnostic of newborns in non-specialized conditions // *AIP Conference Proceedings* Vol. 2140, 9 August 2019, № 020005.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 28.01.2020 г.

Контакт/Contact: Потрахов Юрий Николаевич, yn@eltech-med.com

Сведения об авторах:

Потрахов Юрий Николаевич — аспирант кафедры ЭПУ, инженер-рентгенотехник Санкт-Петербургский государственный электро-технический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; *Алхазивили Александр Владимирович* — аспирант, врач-рентгенолог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2;

Труфанов Геннадий Евгеньевич — главный научный сотрудник отдела лучевой диагностики, профессор, доктор медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»; 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2.

КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ, НЕОТЛОЖНОЙ ПОМОЩИ, ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

¹А. В. Прохоров, ¹В. И. Спорыш, ¹С. Ю. Шокина, ²Д. Ю. Медына, ³Е. Г. Привалова, ⁴Я. А. Шумина

¹Российская Федерация, АО «Медицинские технологии ЛТд», Москва, Россия

²ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. Н. Н. Бурденко» Минобороны России, Москва, Россия

³ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики», Москва, Россия

⁴ФКУЗ «Главный клинический госпиталь МВД России», Москва, Россия

Автономные комплексы лучевой диагностики широко востребованы и незаменимы для проведения диагностики вне стационара. В работе рассмотрен портативный мобильный комплекс, его технические характеристики, функциональность, область применения. Комплекс позволяет проводить рентгенографические и УЗ-обследования автономно, без подключения к питающей сети.

A DEVICE FOR FOR AUTONOMOUS RADIATION DIAGNOSTICS IN CONDITIONS OF EMERGENCY SITUATION, EMERGENCY AID, MILITARY ACTION

¹Alexander V. Prokhorov, ¹Vladimir I. Sporysh,
¹Svetlana Yu. Shokina, ²Dmitry Yu. Medina,
³Ekaterina G. Privalova, ⁴Yana A. Shumina

¹Medical technologies Ltd, Moscow, Russia

²The Main Military Clinical Hospital named after N. N. Burdenko,
Moscow, Russia

³LLC «Central Research Institute of Radiation Diagnostics», Moscow,
Russia

⁴Main clinical hospital of the Ministry of internal Affairs of Russia,
Moscow, Russia

Autonomous radiology equipment is in high demand and indispensable for diagnostics outside hospitals. The article considers a portable mobile complex, its technical characteristics, functionality, and scope. The complex allows carrying out X-ray and ultrasound examinations autonomously, without connecting to the mains.

Цель исследования: демонстрация реализованного решения для автономной лучевой диагностики, методы, инструменты, технические решения, позволяющие выполнить обследования в сложных условиях вне стационара.

Материалы и методы. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к автономным мобильным комплексам для диагностики в условиях чрезвычайных ситуаций, неотложной помощи, военных действий. Используются технические решения, позволяющие использовать комплекс в достаточно широких областях применения, когда требуется проведение как рентгенографических, так и УЗ-обследований. Определены технические требования к составным частям комплекса, выполнена интеграция, проведены технические испытания.

Результаты. Решение объединить два метода лучевой диагностики в составе одного комплекса дает возможность в полном объеме провести обследование пациента, поставить диагноз «на месте», определить дальнейшие действия в отношении экстренного оказания помощи [1]. Полная автономность работы комплекса позволяет существенно сократить время развертывания, максимально быстро получить критически важные диагностические данные, в результате чего сохранить человеческую жизнь. Рентгенографическая часть комплекса обеспечивает выполнение всех видов исследований с учетом мощности источника рентгеновского излучения 4кВт и размера детектора 35×43 см [2]. УЗ-оборудование позволяет провести протокол для определения свободной жидкости в полостях FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) [3]. Подключение датчиков (детектор и УЗ) осуществляется по беспроводному каналу для удобства работы оператора, также есть возможность проводного подключения, что может быть актуально для применения в условиях военных действий [4]. DICOM формат данных позволяет опубликовать данные в PACS сразу после их получения. Это дает возможность медицинским работникам в ЛПУ заблаговременно ознакомиться с результатами обследования и подготовиться к приему пациента. Кейс комплекса обеспечивает класс защиты IP67, выполнен из ударопрочного пластика.

Заключение. АО МТЛ разработала портативный автономный комплекс, обеспечивающий проведение обследований пациентов двумя методами лучевой диагностики: рентгенография и УЗИ, позволяющий проводить работу вне стационара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Карякин А.С., Ратников В.А., Декан В.С. Неотложная лучевая диагностика как этап специализированной медицинской помощи пострадавшим в ДТП в условиях удаленного филиала многопрофильного лечебного учреждения // *Невский радиологический форум. 2019.* [Karyakin A.S., Ratnikov V.A., Dean V.S. Emergency radiation diagnostics as a stage of specialized medical care for victims of road accidents in the conditions of a remote branch of a multidisciplinary medical institution. *Nevisky Radiological Forum. 2019* (In Russ.).]
2. Marinček B., Dondelinger R. *Emergency radiology — Imaging and Intervention.*
3. Ma O.J., Mateer J.R., Blaivas M. Emergency ultrasound.

4. Железняк И.С., Прохоров А.В., Спорыш В.И., Акиев Р.М. Опыт разработки мобильного цифрового рентгенодиагностического комплекса и его апробация в полевых условиях // *II Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники, 2015.* [Zheleznyak I.S., Prokhorov A.V., Sporysh V.I., Akiev R.M. The experience of developing a mobile digital x-ray diagnostic complex and its testing in the field. *II All-Russian Scientific and Practical Conference of X-ray Equipment Manufacturers, 2015* (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 24.01.2020 г.
Контакт/Contact: Шунков Юрий Евгеньевич, rav@mtl.ru

Сведения об авторах:

Прохоров Александр Валерьевич — руководитель отдела разработки АПС, АО «Медицинские технологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;

Спорыш Владимир Игоревич — заместитель генерального директора АО МТЛ по научно-техническому развитию, АО «Медицинские технологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;

Шокина Светлана Юрьевна — заместитель генерального директора АО МТЛ по маркетингу, АО «Медицинские технологии»; 105318, Москва, ул. Ибрагимова, д. 31; e-mail: mtl@mtl.ru;

Медина Дмитрий Юрьевич — врач ультразвуковой диагностики ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. Н. Н. Бурденко» Минобороны России; 105229, Москва, Госпитальная пл., д. 3; e-mail: gvkg@mail.ru;

Привалова Екатерина Геннадьевна — кандидат медицинских наук, начальник отдела дополнительного профессионального образования ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики»; 109431, Москва, ул. Авиастроителя, д. 15, корп. 1;

Шумина Яна Андреевна — врач ультразвуковой диагностики, ФКУЗ «Главный клинический госпиталь МВД России»; 123060, Москва, ул. Народного Ополчения, д. 35.

СТАНДАРТНАЯ ПРОЦЕДУРА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АРТЕФАКТОВ ОТ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В МРТ

¹Д. С. Семенов, ¹Е. С. Ахмад, ¹Ю. А. Васильев, ²Ю. Н. Васильева,
²О. Ю. Панина, ¹К. А. Сергунова

¹ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медицинский стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Оценка влияния артефактов от металлоконструкций на качество МР-изображений, как правило, ограничивается измерением площади и объема. Однако, кроме изменения интенсивности сигнала, ферромагнетики в теле пациента могут стать причиной геометрических искажений или снижению эффективности жироподавления. В работе предложен метод количественной оценки артефактов, основанный на стандартной процедуре контроля параметров качества изображений.

STANDARD IMAGE QUALITY CONTROL PROCEDURE IN EVALUATION OF MR IMAGE ARTIFACTS FROM METAL STRUCTURES

¹Dmitry S. Semenov, ¹Ekaterina S. Ahmad, ¹Yuriy A. Vasilev,
²Yulia N. Vasileva, ²Olga Yu. Panina, ¹Kristina A. Sergunova

¹Moscow Center for Diagnostics & Telemedicine, Moscow, Russia

²FSBEI HE «A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry» Ministry of Health of the RF, Moscow, Russia

Evaluation of MR image artifacts from metal structures is usually limited by area and volume measurement. However, in addition to the signal intensity changing, ferromagnets in the patient's body can cause geometric distortions or the effectiveness of fat suppression reduction. A method for artifacts quantifying based on the standard procedure for image quality parameters control is proposed.

Цель исследования: одним из факторов воздействия МР-среды на имплантируемое медицинское изделие является возникновение артефактов. При определении безопасности и целесообразности проведения исследования с такими изделиями, экспериментальная оценка проводится методом фантомного моделирования. Сравнительный анализ результатов независимых испытаний невозможен без количественной оценки, поэтому, как правило, используется измерение площади или объема [1]. Однако, помимо изменения интенсивности, наличие металлоконструкций в теле пациента может привести к геометрическим искажениям и снижению эффективности жироподавления [2]. Целью данного исследования являлась разработка модернизированной методики оценки артефактов от металлоконструкций в МРТ на основе стандартной процедуры контроля качества.

Материалы и методы. Предлагаемая методика оценки артефактов заключается в выполнении следующих действий: 1) оценка параметров качества изображения по методике НПКЦ [3] с использованием фантома [4]; 2) размещение исследуемого металлического объекта на корпусе или внутри фантома для создания локальной неоднородности магнитного поля; 3) повторение п. 1 с идентичными параметрами сканирования и положением фантома; 4) сравнение значений параметров качества изображений полученных с металлом и без него, и оценка степени влияния металлоконструкции на них. Апробация проводилась на МР-томографе с индукцией 1,5 Т. Параметры импульсной последовательности Spin Echo выбраны в соответствии с рекомендациями производителя по проведению рутинного контроля качества. По полученным МР-изображениям определены следующие параметры: пространственная разрешающая способность, неоднородность, нелинейность, отношение сигнал/шум, толщина выделяемого среза.

Результаты. При наличии металлического объекта на корпусе, объем артефактов составил 211 см³ при общем объеме фантома 2722 см³. В зоне, прилегающей к артефакту зафиксировано искажение линейных размеров с 3,42 см до 2,32 мм. По сравнению с обычной процедурой контроля качества изображений, появление артефакта от металла привело к следующим изменениям значений параметров: снижение отношения сигнал-шум с 128,9 до 101,6; возрастание неоднородности изображения с 8,3% до 28%; увеличение рассчитываемой толщины среза с 4,95 до 6,27 мм. Пространственная разрешающая способность не изменилась, однако уменьшился расчетный коэффициент с 1,04 до 0,91. Таким образом, объем артефакта составил 7,7% от общего размера фантома. При этом значительно изменилась неоднородность яркости и пространственная нелинейность.

Заключение. Предложенная методика позволяет не только количественно оценить объем внесенных наличием металла искажений, но и определить его влияние на параметры качества изображений. Такой подход может быть использован при оценке целесообразности проведения исследования или разработке методов подавления артефактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. ASTM F2119-07 (2013) Standard Test Method for Evaluation of MR Image Artifacts from Passive Implants [Electronic resource]. URL: <https://www.astm.org/Standards/F2119.htm> (accessed: 12.02.2018).
2. Khodarahmi I. et al. Metal about the Hip and Artifact Reduction Techniques: From Basic Concepts to Advanced Imaging // Semin. Musculoskelet. Radiol. 2019. Vol. 23, No. 3. P. E68–E81.
3. Зеликман М.И., Кручинин С.А., Снопова К.А. Методика контроля параметров и характеристик магнитно-резонансных томографов в условиях эксплуатации. Медицинская техника. 2010. № 5 (263). С. 27–31. [Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Snopova K.A. Methodology and tools for quality control of magnetic resonance imaging devices. Biomedical Engineering, 2011, Vol. 44, No. 5, pp. 184–187 (In Russ.)].
4. Price R. et al. Magnetic Resonance Imaging. Quality control manual. 2015. 126 p.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 23.01.2020 г.
Контакт/Contact: Семенов Дмитрий Сергеевич, d.semenov@nrcmr.ru

Сведения об авторах:

Семенов Дмитрий Сергеевич — научный сотрудник ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 125124, Москва, ул. Расковой, д. 16/26 стр. 1; e-mail: info@nrcmr.ru;
Ахмад Екатерина Сергеевна — научный сотрудник ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 125124, Москва, ул. Расковой, д. 16/26 стр. 1; e-mail: info@nrcmr.ru;
Васильев Юрий Александрович — кандидат медицинских наук, старший научный

сотрудник ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 125124, Москва, ул. Расковой, д. 16/26 стр. 1; e-mail: info@nrcmr.ru;

Васильева Юлия Николаевна — кандидат медицинских наук, ассистент ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 127206, Москва, ул. Вучетича, д. 9а; e-mail: msmsu@msmsu.ru;

Панина Ольга Юрьевна — ординатор, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 127206, Москва, Вучетича, д. 9а; e-mail: msmsu@msmsu.ru;

Сергунова Кристина Анатольевна — кандидат технических наук, руководитель отдела разработки средств контроля и технического мониторинга, ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; 125124, Москва, ул. Расковой, д. 16/26 стр. 1; e-mail: info@nrcmr.ru.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ ИНТЕРЕСА НА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Н. Е. Староверов, А. Ю. Грязнов, Н. Н. Потрахов, Е. Д. Холопова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена исследованию возможности использования нейронных сетей для выделения областей интереса в томографических данных. В результате выполнения исследования проведена тренировка и апробация предобученной сети ResNet34. Обученная модель опробована на тестовой выборке из 60 рентгеновских снимков объектов, которые не использовались для обучения. Средняя ошибка на тестовой выборке 20.48, что является удовлетворительным результатом.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DETERMINING REGIONS OF INTEREST IN X-RAY IMAGES BASED ON NEURAL NETWORKS

Nikolay E. Staroverov, Artem Yu. Gryaznov, Nikolay N. Potrakhov, Ekaterina B. Kholopova

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

The work is devoted to the study of the possibility of using neural networks to highlight areas of interest in tomographic data. As a result of the study, training and testing of the pre-trained ResNet34 network was carried out. The trained model was tested on a test sample of 60 x-ray images of objects that were not used for training. The average error in the test sample is 20.48, which is a satisfactory result.

Цель исследования: создание модели, определяющей области интереса на рентгеновских изображениях и проекционных данных рентгеновской томографии. Для достижения цели были решены следующие задачи: 1) создан набор данных для обучения сети; 2) определена архитектура сети, проведена тренировка модели; 3) проведена апробация модели на тестовой выборке.

Материалы и методы. Для успешного определения координат регионов интереса было принято решение исследовать и сравнить эффективность работы различных архитектур сверточных нейронных сетей. В результате сравнительных испытаний сетей архитектур InceptionV3 [2], VGG19 [3] и ResNet [4] была выбрана сеть архитектуры ResNet глубиной 34 слоя. Для решения поставленной задачи была использована уже предобученная сеть, то есть была применена концепция переноса обучения. Перенос обучения — это концепция адаптации модели, изначально обученной в рамках решения некоторой задачи, для использования в других задачах. Например, в данной задаче использовались сети, обученные на наборе данных ImageNet, которые выполняли классификацию на 1000 классов. Для переноса обучения изображения обучающей выборки были приведены к размеру 3×224×224, как того требовал входной слой обученной сети. Последний слой сети был модифицирован

так, чтобы выходные нейроны определяли область интереса на изображении. А именно 4 координаты, которые описывают прямоугольную область интереса. Для улучшения результата обучения сети было принято решение обучать только полносвязный слой и последний сверточный слой, так как сеть уже была обучена.

Результаты. Обученная модель была опробована на тестовой выборке из 60 рентгеновских снимков объектов, которые не использовались для обучения. Средняя ошибка на тестовой выборке 20.48, что является удовлетворительным результатом.

Заключение. В результате выполнения работы была создана модель, предсказывающая область интереса на томографических данных. Подготовлен набор данных для обучения, состоявший из 40 000 снимков, из них 6400 снимков были размечены вручную, остальные получены при помощи аугментации. Проведена тренировка нейронной сети. Также стоит отметить, что координаты области интереса значительно точнее определялись по горизонтали, нежели по вертикали. Вероятно, это связано с использованием для томографии объектов, закреплённых в поле облучения с помощью держателей, которые не входят в область интереса. Для увеличения точности работы модели в дальнейшем будет использовано большее количество снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Staroverov N.E. et al. Development of digital processing method of microfocus X-ray images Journal of Physics. 2017.
2. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition // arXiv preprint arXiv: 1409.1556. 2014.
3. Szegedy C. et al. Rethinking the inception architecture for computer vision // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. С. 2818–2826.
4. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. С. 770–778.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 28.01.2020 г.

Контакт/Contact: Староверов Николай Евгеньевич, 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;

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;

Потрахов Николай Николаевич — 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;

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.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2019 года.

Подписные индексы:

Агентство «Роспечать» 57991

ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С АВТОЭМИССИОННЫМ КАТОДОМ

Д. А. Чесноков, А. В. Брацук, М. Л. Таубин, Н. В. Колтунова, Н. А. Головин, А. А. Симонов, С. Д. Бугорков

ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», Подольск, Россия
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе представлен экспериментальный образец миниатюрного источника рентгеновского излучения с катодом на основе углеродных нанотрубок. Диаметр источника составляет 21 мм, а длина — 80 мм. Максимальное напряжение, достигнутое при работе устройства, составило 40 кВ, а мощность дозы рентгеновского излучения — 16 Гр/ч.

THE PROSPECTS USING OF X-RAY EMITTERS WITH A FIELD EMISSION CATHODE

Dmitrii A. Chesnokov, Andrey V. Bratsuk, Michail L. Taubin, Natalia V. Koltunova, Nikita A. Golovin, Anton A. Simonov, Sergei D. Bugorkov

LUCH Research and Production Association, Research and Development Institute, Federal State Unitary Enterprise, Podolsk, Russia

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

An experimental sample of a miniature x-ray source with a cathode based on carbon nanotubes is presented. The diameter of the source is 21 mm and the length is 80 mm. The maximum voltage achieved during operation of the device was 40 kV, and the dose rate of x-ray radiation was 16 Gy/h.

Цель исследования: создание автоэмиссионного миниатюрного источника с катодом на основе углеродных нанотрубок для медицинских диагностических целей.

Материалы и методы. Миниатюрный рентгеновский источник длиной 80 мм, диаметром 21 мм выполнен в диодной модификации, которая содержит катод, состоящий из фокусирующего электрода и установленного в него эмиттера на основе разориентированных углеродных нанотрубок, и вольфрамовый анод в медном основании, угол среза которого составляет 18°. Корпус миниатюрного источника, диаметром 21 мм, состоит из двух манжет из сплава 29НЖ и изоляционного стекла марки С52–1. Значение вакуума в трубке составляло порядка 10–6 Торр. Для синтеза углеродных нанотрубок на поверхности эмиттера использовался метод каталитического химического осаждения из паровой фазы спирта при атмосферном давлении [1]. В качестве материала подложки использовался сплав 29НЖ. Подложка представляла собой диск диаметром 5 мм и толщиной 500 мкм. Подложка размещалась в печи реактора в центре зоны нагрева. Высокоочищенный аргон потоком 300 ссрт подавался одновременно с нагревом реактора. Когда температура печи достигла температуры роста УНТ, равной 725°С, в объем реактора подавался пар этанола со скоростью потока 700 ссрт в течение 10 мин. Аргон в течение этого процесса не был выключен. После синтеза образец остывал вместе с печью до 150°С в потоке аргона, равном 400 ссрт. Во время исследования рентгеновского характеристик изготовленного миниатюрного источника на анод подавалось высокое напряжение величиной до 40 кВ, в то время как катод имел нулевой потенциал. Подача высокого напряжения была реализована с помощью высоковольтного источника питания ИВНРД-50/5 (+/-) (ПЛАЗОН, Россия). Контроль мощности дозы рентгеновского излучения осуществлялся с помощью дозиметра VacuDAP-C (VacuTec Meßtechnik GmbH, Германия), который располагался на расстоянии 30 мм от экспериментального образца миниатюрного источника рентгеновского излучения.

Результаты. Изготовлен миниатюрный источник рентгеновского излучения с автоэмиссионным катодом на основе углеродных нанотрубок. В ходе его исследований получена зависимость мощности дозы рентгеновского излучения от подаваемого напряжения. Доза рентгеновского излучения начинает генерироваться при напряжении, равном 13 кВ, а при значении напряжения 40 кВ, мощность дозы достигает 16 Гр/ч. Исследование стабильности работы источника показало, что значения мощности дозы снижаются в зависимости от количества включений, и, следовательно, использование такого источника в терапии практически невозможно. Однако такой миниатюрный рентгеновский источник с автоэмиссионным катодом на основе УНТ может быть использован для диагностики.

Заключение. Изготовлен миниатюрный источник рентгеновского излучения с катодом на основе углеродных нанотрубок, синтезированных с помощью метода каталитического химического осаждения из паровой фазы спирта при атмосферном давлении. Получена зависимость мощности дозы рентгеновского излучения от напряжения, максимальные значения которых составили 16 Гр/ч и 40 кВ, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Таубин М. Л., Чесноков Д. А. Миниатюрный источник ионизирующих излучений для электронной брахитерапии // *Медицинская техника*. 2019. № 1. С. 4. [Taubin M.L., Urusov A.A., Bratsuk A.V. Synthesis of carbon nanotubes on

the surface of the field cathode of X-ray tube // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 808. Issue 1. № 012006. (In Russ.).

2. *Лучевая терапия* [Электронный ресурс] / Медицинский портал «Med Media», 2018. Режим доступа <http://medportal.ru/enc/oncology/cancer-treatment/cancertreatment/> свободный. Загл. с экрана. [A vacuum-sealed miniature X-ray tube based on carbon nanotube field emitters: патент KR101325210B1, МПК H01J35/02; H01J35/06 (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 22.01.2020 г.
Контакт/Contact: Чесноков Дмитрий Андреевич, dachesnokov@mail.ru

Сведения об авторах:

- Чесноков Дмитрий Андреевич* — директор отделения ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Брацук Андрей Владимирович* — инженер-технолог, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ»; г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Таубин Михаил Львович* — доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Колтунова Наталья Владимировна* — кандидат технических наук, начальник лаборатории, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Головин Никита Андреевич* — инженер 1 категории, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Симонов Антон Андреевич* — инженер, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31;
- Бугорков Сергей Дмитриевич* — инженер, ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, ул. Железнодорожная, д. 24; e-mail: pro@sialuch.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31.

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ^{89}Zr В МЕДИЦИНЕ

^{1,2}Л. А. Чипига, ¹И. А. Звонова, ²Д. О. Антуганов

¹ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова», Санкт-Петербург, Россия

Экспериментально изучена зависимость снижения мощности дозы излучения ^{89}Zr от толщины свинцовой защиты. Определены слой половинного ослабления — 9 мм, и слой 10-кратного ослабления — 30 мм, что существенно больше, чем для ^{18}F . При планировании работ с ^{89}Zr в медицинских организациях следует учитывать более жесткие требования к радиационной защите для обеспечения безопасных условий работы персонала.

EVALUATION OF SHIELDING FOR THE ^{89}Zr IN MEDICAL FACILITIES

^{1,2}Larisa A. Chipiga, ¹Irina A. Zvonova, ²Dmitriy O. Antuganov

¹FBIS «St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P. V. Ramzaev», St. Petersburg, Russia

²FSBI «Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies named after academician A. M. Granov», St. Petersburg, Russia

The study was aimed at the evaluation of the dependency of the ^{89}Zr dose rate on the lead shielding thickness. Half-value layer and tenth-value layer of lead were determined as 9 mm and 30 mm respectively. These values are signifi-

cantly higher compared to shielding for ^{18}F . The strict requirements for the shielding should be considered for the design of medical facilities with ^{89}Zr .

Цель исследования: экспериментально определить изменение мощности дозы (МД) и спектра гамма-излучения ^{89}Zr в зависимости от толщины защиты из свинца, а также в оценке возможности работы с ^{89}Zr в помещениях с защитой, рассчитанной на излучение ^{18}F — 511 кэВ.

Материалы и методы. В эксперименте использовали источник ^{89}Zr . За счет того, что радионуклид ^{89}Zr является позитрон излучающим с периодом полураспада 78,42 ч, его применяют для диагностики в позитронной эмиссионной томографии. Однако спектр излучения ^{89}Zr содержит гамма кванты высоких энергий: 511 кэВ (выход на распад 45%), 917 кэВ (100%) и 1621–1745 кэВ (1%) [1, 2]. Источник активностью 15 МБк находился в пробирке объемом 1,5 мл и считался точечным, самопоглощение не учитывали. Для проведения измерений источник поместили в свинцовый контейнер (40 мм свинца), а контейнер в домик из свинцовых кирпичей (50 мм свинца). Для изучения зависимости МД и изменения спектра гамма-излучения от толщины свинцовой защиты свинцовые пластины толщиной от 3 до 5 мм последовательно выкладывали на свинцовый домик с источником, наращивая толщину до 80 мм. Измерения проводили с помощью поверенных приборов — переносного сцинтиляционного спектрометра МКС-АТ 1321 и дозиметра ДКС-АТ1121. Во время измерения измерительные приборы устанавливали непосредственно над источником на расстоянии 30 см.

Результаты. Результаты, полученные обоими приборами, показали экспоненциальное снижение МД от 45 мкЗв/ч до 0,25 мкЗв/ч при увеличении толщины защиты из свинца от 0 до 80 мм. Анализ спектров показал, что ослабление гамма-излучения энергией 917 кэВ в два раза достигается при толщине свинца 12 мм, а энергии 511 кэВ при 6 мм, начиная с 45 мм характерно выделяются только пики 917 и 1621–1745 кэВ и их обратного рассеяния. Слой половинного ослабления излучения ^{89}Zr составляет 9 мм, а слой 10-кратного ослабления — 30 мм. Соответствующие показатели для чистых позитрон-излучающих нуклидов (например, ^{18}F) с энергией гамма-излучения 511 кэВ равны 6 и 16,6 мм свинца соответственно [3].

Заключение. При планировании работ с ^{89}Zr в медицинской организации следует учитывать необходимость увеличения слоя защитного материала для соблюдения требований нормативно-методических документов. Так как стационарная защита и защитное оборудование в ПЭТ-центрах рассчитаны на гамма-излучение энергией 511 кэВ, то при проектировании и планировании работ целесообразно рассмотреть варианты снижения рабочих активностей радиофармпрепаратов, принимая во внимание относительно длинный период полураспада радионуклида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

- ICRP, 2008. *Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations*. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3).
- Alzimami K.S., Ma A.K. Effective dose to staff members in a positron emission tomography/CT facility using zirconium-89 // *Br. J. Radiol.* 2013. Vol. 86. P. 20130318. doi: 10.1259/bjr.20130318
- Madsen M.T., Anderson J.A., Halama J.R., Kleck J., Simpkin D. J., Votaw J.R., Wendt R.E., Williams L.E., Yester M.V. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements // *Medical Physics*. 2006. Vol. 33. P. 4–15. doi: 10.1118/1.2135911

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 26.01.2020 г.
Контакт/Contact: Чипига Лариса Александровна, larisa.chipiga@gmail.com

Сведения об авторах:

- Чипига Лариса Александровна* — кандидат технических наук, научный сотрудник ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru; ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: info@rrcrst.ru;
- Звонова Ирина Александровна* — доктор технических наук, главный научный сотрудник ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: irh@niirg.ru;
- Антуганов Дмитрий Олегович* — химик-эксперт ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: info@rrcrst.ru.