

Анализ распространенности аварийных ситуаций в ядерной медицине в Российской Федерации

А.В. Водоватов^{1,2}, Л.А. Чипига^{1,3,4}, С.А. Рыжов^{5,6,7}, А.В. Петрякова^{1,8}, А.М. Библин¹,
Г.А. Горский^{1,9}, Н.М. Вишнякова¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

⁶ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

⁷ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

⁸ Городская больница №40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

⁹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

При использовании источников ионизирующего излучения в медицине в общем и процедур ядерной медицины, в частности, могут возникать нештатные ситуации (радиационные и нерадиационные аварии и происшествия). Для минимизации негативного воздействия на пациентов, персонал и население за счёт таких ситуаций необходимо обладать достоверной информацией о реальной распространённости аварийных ситуаций. В работе был выполнен анализ радиационных аварий с медицинскими источниками ионизирующего излучения, зарегистрированных в «Банке данных радиационных аварий и инцидентов» Информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности, и результатов анкетирования персонала, проведенного в 25 отделениях ядерной медицины (около 30% от числа всех отделений ядерной медицины в Российской Федерации). Результаты анализа радиационных аварий в банке данных показали, что наиболее распространёнными зарегистрированными радиационными авариями являются: выявление пассажиров с превышением мощности дозы внешнего излучения и выявление отходов, загрязнённых медицинскими радионуклидами. По результатам анкетирования выявлено, что наиболее распространёнными аварийными ситуациями в ядерной медицине являются загрязнение рабочей одежды или рабочих поверхностей радионуклидами, или биологическими жидкостями пациента, содержащими радионуклиды; проведение процедур ядерной медицины без необходимого обоснования, и экстравазальное введение радиофармацевтического лекарственного препарата. Существующие системы выявления и регистрации радиационных аварий не позволяют определить аварийные ситуации, специфические для ядерной медицины. Целесообразно провести дальнейшие исследования, направленные на разработку классификации аварийных ситуаций при медицинском облучении, и методик по реагированию при наступлении таких ситуаций.

Ключевые слова: радиационная авария, радиационное происшествие, медицинское облучение, пациенты, персонал.

Введение

При проведении рентгенорадиологических исследований часто могут возникать нештатные ситуации (радиационные и нерадиационные аварии и происшествия) [1-3]. Данные нештатные ситуации включают в себя события с

различной степенью радиационного воздействия на пациентов, персонал и население. Снижение вероятности возникновения таких ситуаций, а в идеальном случае - и полное их исключение, является одной из основных задач обеспечения радиационной безопасности при медицин-

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева

Адрес для переписки: 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vodovattoff@gmail.com

ском облучении [4,5]. Выявление, идентификация, реагирование и профилактика возникновения нештатных ситуаций в соответствии с действующими нормативно-методическими документами является частью программы обеспечения качества в лучевой диагностике и терапии¹ [6,7].

Ядерная медицина связана с применением современных комплексных высокодозовых и высокоинформативных технологий [8,9]. Проведение радионуклидной диагностики и терапии связано с большим количеством нештатных ситуаций по сравнению с другими методами медицинской визуализации. Их число возможно будет возрасти при внедрении новых технологий в практику (например, при проведении радионуклидной терапии в отделениях радионуклидной диагностики или при применении новых радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП)). Ошибки при введении пациентам диагностических и терапевтических РФЛП будут ассоциированы с более серьезными последствиями по сравнению с рентгеновской диагностикой [10-12]. Таким образом, идентификация и анализ различных нештатных ситуаций при проведении процедур ядерной медицины в данный момент являются приоритетными.

Как уже было показано в предыдущих работах авторов [13,14], отечественные и международные подходы к идентификации нештатных ситуаций при медицинском облучении существенно различаются. Главным отличием является отнесение всех нештатных ситуаций при медицинском облучении в Российской Федерации к радиационным². Данный подход является излишне жестким и может приводить к сокрытию или игнорированию большинства нештатных ситуаций в лучевой диагностике и терапии.

Все нештатные ситуации с пациентами, связанные с медицинским облучением в Российской Федерации принято воспринимать в качестве побочных эффектов процедуры (т.е. использовать тот же подход, что и при проведении фармакотерапии). При этом зачастую игнорируется планируемый характер облучения пациента и, как следствие, возможность проведения исследования таким образом, чтобы снизить степень выраженности негативных эффектов, или исключить их, а также заранее принять меры по снижению негативных последствий [15]. Согласно отечественным нормативно-методическим документам по обеспечению радиационной безопасности в радионуклидной диагностике радиационные инциденты, связанные с ошибочным введением РФЛП пациенту и облучением пациента в дозе ниже 200 мЗв, могут не трактоваться как радиационная авария и информирование о них органов Роспотребнадзора не происходит, информация о них не поступает в банк данных радиационных аварий. Также, розлив РФЛП и загрязнение поверхностей растворами с короткоживущими радионуклидами, может не рассматриваться как инцидент, требующий информирования, что, однако, является нарушением требований

санитарно-эпидемиологического законодательства^{3,4,5}.

Для разработки и научного обоснования единого подхода к идентификации, реагированию и предотвращению нештатных ситуаций (радиационных аварий и происшествий) при медицинском облучении в общем и в ядерной медицине, в частности, целесообразно проанализировать имеющиеся официальные данные по радиационным авариям при медицинском облучении, а также определить реальную распространенность различных нештатных ситуаций в отделениях ядерной медицины в Российской Федерации.

Целью данного исследования являлась оценка распространенности различных видов нештатных ситуаций в ядерной медицине по официальным данным и по результатам выполненного сбора данных в подразделениях ядерной медицины в отечественных медицинских организациях.

Материалы и методы

Анализ банка данных радиационных аварий

Для анализа имеющихся официальных данных по радиационным авариям в ядерной медицине были использованы сведения за период 2015–2022 гг., содержащиеся в «Банке данных радиационных аварий и инцидентов» Информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности, функционирующего на базе ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева [16]. Из всего объема донесений были выделены радиационные аварии, которые потенциально могли быть связаны с медицинскими источниками ионизирующего излучения.

После формирования первичной выборки радиационных аварий, удовлетворяющих вышеуказанным условиям, проводили дальнейший скрининг, направленный на исключение случаев, не связанных с медицинскими источниками ионизирующего излучения. Всего в финальную выборку вошло 217 официально зарегистрированных событий, зарегистрированных как радиационные аварии/инциденты.

Сбор данных (анкетирование) о нештатных ситуациях в ядерной медицине

Оценка реальной распространенности различных нештатных ситуаций в отделениях ядерной медицины в медицинских организациях в Российской Федерации проводилась путем онлайн-анкетирования персонала отделений с использованием анкет в сервисе Google.Forms⁶. Исследование проводилось в период с марта по май 2024 года, данные собирались анонимно (без указания организации, из которой были получены данные). Анкетирование было направлено на определение факта возникновения различных аварийных (нештатных) ситуаций в медицинских организациях и не подразумевало оценку абсолютного числа таких ситуаций и/или их распространенности.

Данные были получены из 25 медицинских организаций, что составляет около 25% от всех медицинских орга-

¹ МУК 2.6.7.3651-20 «Методы контроля качества в ПЭТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2020 [МУК 2.6.7.3651-20 "Quality control methods in PET diagnostics for optimization of radiation protection". Rosпотребнадзор, 2020 (In Russ.)]

² СанПиН 2.6.1.2523-09. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. [Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009 (In Russ.)]

³ Методические указания МУ 2.6.1.1892-04 "Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов" [МУ 2.6.1.1892-04 "Hygienic requirements on the provision of the radiation safety for the nuclear medicine diagnostics with radiopharmaceuticals" (In Russ.)]

⁴ СанПиН 2.6.1.3288-15 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии» [Sanitary Regulations and Standards SanPIN 2.6.1.3288-15 "Hygienic requirements on the provision of the radiation safety for the preparation and performance of the positron emission tomography" (In Russ.)]

⁵ СанПиН 2.6.1.2368-08 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников» (далее – СанПиН 2.6.1.2368-08). [Sanitary Regulations and Standards SanPIN 2.6.1.2368-08 "Hygienic requirements for radiation safety during radiation therapy using open radionuclide sources" (In Russ.)]

⁶ Доступно по ссылке: <https://forms.gle/kcQ9VZ6ibhr8HHs5> [Available from: <https://forms.gle/kcQ9VZ6ibhr8HHs5>]

низаций в Российской Федерации, с отделениями радионуклидной диагностики или терапии.

Анкета состояла из 36 вопросов и включала в себя 3 блока вопросов по нештатным ситуациям различного вида:

- нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение персонала групп А и Б, а также медицинского персонала, относящегося к категории «население»;
- нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение пациентов;
- нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение населения после выписки пациента с введенным терапевтическим РФЛП.

Каждый блок включал в себя ситуации, относящиеся к радиационным авариям в соответствии с МУ 2.6.1.1892-04, СанПиН 2.6.1.3288-15 и СанПиН 2.6.1.2368-08, описанные в предыдущих работах авторов [13, 14].

Результаты анкетирования обрабатывали по медицинским организациям вне зависимости от числа различных подразделений ядерной медицины в этой организации.

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа данных из банка данных радиационных аварий и инцидентов Информационно-аналитического центра Роспотребнадзора по радиационной безопасности представлены в таблице 1.

У всех пассажиров с превышением мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения над фоном при прохождении контроля на границе был идентифицирован ¹³¹I. При радиационном контроле бункеров мусоровозов с превышением МЭД гамма-излучения на свалках в 85% случаев были выявлены ¹³¹I и ^{99m}Tc, в единичных случаях - ¹⁷⁷Lu, ¹²³I и ¹⁵³Sm, а также несколько случаев выявления ⁹⁹Mo (как предшественника ^{99m}Tc). При расследовании этих аварий было выявлено, что данными радионуклидами загрязнены пеленки, подгузники, мочеприемники и иные изделия медицинского назначения. Один пассажир с превышением МЭД гамма-излучения был выявлен с ¹³¹I при прохождении контроля на мероприятии. При превышении МЭД гамма-

излучения от бака с фекалиями в поезде был выявлен ¹³¹I. При обнаружении у пациента неучтенных источников были выявлены закрытые микроисточники на основе ¹²⁵I.

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать вывод о том, что наиболее распространенной зарегистрированной нештатной ситуацией в период с 2015 по 2018 гг. (до введения ограничений на переезд границы) является выявление пассажира с превышением над фоном мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего излучения на границе. С 2018 г. по настоящий момент 95% радиационных аварий связано с выявлением загрязненных радионуклидами отходов в бункере мусоровоза. Все остальные аварийные ситуации встречаются крайне редко: менее пяти случаев за весь период анализа данных. При расследовании причин радиационных аварии наиболее часто выявляются ¹³¹I и ^{99m}Tc. В последние годы зафиксированы радиационные аварии с ¹⁷⁷Lu. Остальные радионуклиды были выявлены эпизодически.

Подавляющее большинство (более 95%) зарегистрированных аварий, имеющих отношение к медицинским источникам ионизирующего излучения, слабо связаны непосредственно с проведением процедур лучевой диагностики или терапии. Фактически это аварии с техногенными источниками ионизирующего излучения.

В анкетировании приняло участие 25 отделений радионуклидной диагностики, в которых проводят сцинтиграфию и однофотонную эмиссионную томографию, 12 отделений позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ/КТ), 11 отделений изготовления-производства РФЛП (с отделениями контроля качества РФЛП) и 2 отделения радионуклидной терапии. Большинство обследованных отделений ядерной медицины работали с РФЛП на основе ^{99m}Tc (23 организации из 25); часть отделений радионуклидной диагностики – с препаратами на основе ¹²³I (7 организаций). Отделения позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) проводили работы с ¹⁸F (12 из 12 отделений); а также с ⁶⁸Ga (8 отделений), ¹¹C и ¹³N (6 и 5 отделений соответственно). Радионуклидную терапию проводили с препаратами ²²³Ra и ⁸⁹Sr (оба отделения).

Результаты ответов на вопросы по частоте выявляемости различных аварийных (нештатных) ситуаций представлены в таблице 2.

Таблица 1

Динамика изменения числа радиационных аварий и инцидентов, связанных с медицинскими источниками ионизирующего излучения, за период 2015–2022 гг.

[Table 1

Dynamics of number of radiation accidents associated with medical sources of ionizing exposure in 2015-2022]

Авария [Accident]	Год [Year]							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Выявлен пассажир с превышением мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения при прохождении контроля на границе [Identification of passengers with high ambient dose equivalent rate (ADER) during the border control]	22	11	19	13	15	5	0	1
Выявлен факт превышения МАЭД гамма-излучения в бункере мусоровоза [Identification of high ADER from waste truck hopper]	6	4	4	10	21	14	26	40
Выявлено превышение МАЭД гамма-излучения от бака с фекалиями в поезде [Identification of high ADER from waste tank in a train]	0	0	0	1	1	0	0	0
Выявлено загрязнение спецодежды медицинского персонала [Contamination of protective uniform of medical staff]	0	0	0	0	1	0	0	0
Обнаружены части гамма-терапевтического оборудования [Finding the gamma therapy equipment]	0	0	0	0	0	1	1	0
Обнаружение у пациента неучтенных источников (последствия брахитерапии) [Finding the unreported sources in patient (after brachytherapy)]	0	0	0	0	0	0	0	1
Итого [Total]	28	15	23	24	38	20	27	42

Результаты анкетирования по частоте выявляемости различных аварийных (нештатных) ситуаций в отделениях ядерной медицины

Results of questionnaire on the frequency of identification of various radiation events (accidents) in nuclear medicine departments]

Вид аварийной (нештатной) ситуации [Type of the radiation event (accident)]	Результат ответа на вопрос «Как часто вы сталкиваетесь со следующими ситуациями?» [How frequently do you encounter the following situations]					
	Никогда [Never encountered such situation]	Реже, чем 1 раз в год [Less than once per year]	Не реже, чем 1 раз в год [At least once per year]	Не реже, чем 1 раз в квартал [At least once per quarter]	Не реже, чем 1 раз в неделю [At least once per week]	Не применимо [Not applicable]
Нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение персонала групп А и Б, а также медицинского персонала, относящегося к категории «население» [Radiation events when the overexposure to workers of nuclear medicine facilities is possible]						
Разлив РФЛП (загрязнение рабочей одежды или рабочих поверхностей радионуклидом) [Contamination of protective uniform and work surfaces by radiopharmaceuticals]	14 (53,8%)	7 (26,9%)	2 (7,7%)	1 (3,8%)	2 (7,7%)	–
Внештатное поступление (выброс) радионуклидов в воздух рабочей зоны при наработке радионуклидов или синтезе РФЛП [Emergency discharge of radionuclides into the air of the working area during radionuclide production or synthesis of radiopharmaceuticals]	15 (57,7%)	–	2 (7,7%)	–	–	9 (34,6%)
Загрязнение, связанное с работой генератора (включая повреждение генератора) [Contamination associated with generator operation (including generator damage)]	22 (84,6%)	1 (3,8%)	–	–	1 (3,8%)	2 (7,7%)
Проскок материнского радионуклида в пробе генератора [Slippage of the parent radionuclide in the generator sample]	10 (40%)	2 (8%)	1 (4%)	–	–	2 (8%) + 10 (40%) – не проводится контроль пробы на проскок [Probes are not sampled]
Утеря или обнаружение неучтенного закрытого источника ионизирующего излучения [Loss or finding of an unreported sealed source of ionizing radiation]	26 (100%)	–	–	–	–	–
Загрязнение оборудования или предметов биологическими жидкостями пациента, содержащими радионуклид, или попадания таких биологических жидкостей на персонал/пациентов [Contamination of equipment or items by patient fluids containing radionuclide or contact of workers/patients with such fluids]	13 (50%)	10 (38,5%)	2 (7,7%)	1 (3,8%)	–	–
Нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение пациентов [Radiation events when the patient overexposure is possible]						
Диагностическую или терапевтическую процедуру случайно (по ошибке) проводят не тому пациенту [A diagnostic or therapeutic procedure is accidentally performed to the wrong patient]	18 (69,2%)	5 (19,2%)	3 (11,5%)	–	–	–
Пациенту случайно (по ошибке) вводят другой диагностический или терапевтический РФЛП [A patient is accidentally injected with another (wrong) diagnostic or therapeutic radiopharmaceutical]	15 (57,7%)	9 (34,6%)	2 (7,7%)	–	–	–

Вид аварийной (нештатной) ситуации [Type of the radiation event (accident)]	Результат ответа на вопрос «Как часто вы сталкиваетесь со следующими ситуациями?» [How frequently do you encounter the following situations]					
	Никогда [Never encountered such situation]	Реже, чем 1 раз в год [Less than once per year]	Не реже, чем 1 раз в год [At least once per year]	Не реже, чем 1 раз в квартал [At least once per quarter]	Не реже, чем 1 раз в неделю [At least once per week]	Не применимо [Not applicable]
Пациенту проводят диагностическое радионуклидное исследование без надлежащего обоснования (например, по желанию пациента, или без показаний к проведению) [Conducting radionuclide examination without proper referral]	13 (50%)	5 (19,2%)	2 (7,7%)	5 (19,2%)	1 (3,8%)	–
Экстравазальное введения РФЛП [Extravasation of radiopharmaceutical]	4 (15,4%)	6 (23,1%)	6 (23,1%)	7 (26,9%)	3 (11,5%)	–
Нарушение требований к качеству РФЛП [Violation of radiopharmaceutical quality requirements]	10 (38,5%)	6 (23,1%)	–	3 (11,5%)	–	7 (26,9%)
Снижение качества исследования (диагностического изображения) по причине некачественного РФЛП [Decrease of the quality of the study (diagnostic image) due to poor-quality radiopharmaceuticals]	11 (42,3%)	9 (34,6%)	3 (11,5%)	3 (11,5%)	–	–
Ошибки при планировании радионуклидной терапии, которые привели к существенному недо- или переоблучению пациента [Planning errors in radionuclide therapy that led to significant under- or overexposure of the patient]	3 (11,5%)	–	–	–	–	23 (88,5%)
В ходе проведения диагностического радионуклидного исследования или терапевтической процедуры была выявлена беременность пациентки после введения РФЛП [Identification that the patient is pregnant after (or during) the radiopharmaceutical injection]	26 (100%)	–	–	–	–	–
Нештатные ситуации, при которых возможно переоблучение населения после выписки пациента с введенным терапевтическим РФЛП [Radiation events when the overexposure to public after release of the patient with therapeutic radiopharmaceutical is possible]						
Сброс биологических жидкостей пациента, содержащих радионуклид, в общую систему канализации при проведении радионуклидной терапии [Discharge of patient fluids containing radionuclide into the general sewage system during radionuclide treatment]	4 (15%)	–	–	–	–	21 (85%)
Выписка пациентов после радионуклидной терапии проводилась без дозиметрического контроля пациента или оценки остаточной активности радионуклида в теле пациента [Patient release after radionuclide therapy without dosimetric monitoring of the patient or assessment of residual radionuclide activity]	3 (11,5%)	–	–	–	–	23 (88,5%)
Выписка пациентов после радионуклидной терапии проводилась раньше достижения установленных радиологических критериев выписки после радионуклидной терапии [Patient release after radionuclide therapy before reaching the established radiological criteria]	3 (11,5%)	–	–	–	–	23 (88,5%)

По данным, представленным в таблице 2, возможно сделать следующие выводы:

- Наиболее распространёнными нештатными ситуациями, связанными с потенциальным переоблучением персонала, являются ситуации с разливом РФЛП или загрязнением оборудования или предметов биологическими жидкостями пациента. О возникновении таких ситуаций в своей практике ответило более 40% респондентов. Остальные нештатные ситуации, относящиеся к персоналу, в результатах анкетирования практически не встречаются;

- Все нештатные ситуации, связанные с переоблучением пациентов или экстравазальным введением РФЛП, распространены в значительной части организаций (30–50%), принявших участие в анкетировании;

- Также достаточно распространёнными являются нештатные ситуации, связанные с низким качеством диагностических или терапевтических РФЛП и, как следствие, со снижением качества полученной диагностической информации;

- Ситуаций, связанных с облучением или переоблучением беременных пациентов по результатам сбора данных не выявлено. Это объясняется тем, что диагностические и терапевтические радионуклидные исследования как правило выполняются после проведения других диагностических исследований; статус беременности к моменту их проведения уже известен;

- Нештатные ситуации, связанные с потенциальным переоблучением населения вследствие нарушений при выписке пациентов после проведения радионуклидной терапии, отсутствуют, что объясняется малым количеством отделений радионуклидной терапии, принявших участие в анкетировании, которые также не использовали гамма-излучающие радионуклиды.

Сравнение официальных данных по радиационным авариям и результатов анкетирования свидетельствует о наличии фундаментальных различий между реально происходящими и регистрируемыми радиационными авариями. Данные различия обусловлены тем, что в базу данных аварий Роспотребнадзора попадают нештатные ситуации, выявленные за пределами медицинской организации внешними наблюдателями. Все нештатные ситуации, происходящие в медицинских организациях (в отделениях ядерной медицины, в частности), по-видимому, не регистрируются, или при их регистрации отсутствует должное реагирование (оповещение органов Роспотребнадзора). Косвенным свидетельством этому является всего 1 случай официально зарегистрированного загрязнения спецодежды персонала радионуклидами, в то время как по результатам анкетирования более чем в 10% медицинских организаций такие случаи происходят не реже 1 раза в год (таблица 2). Все нештатные ситуации, представленные в таблице 2, в соответствии с действующими нормативно-методическими документами Роспотребнадзора относятся к радиационным авариям [13], и, как следствие, при их наступлении администрации медицинской организации

необходимо информировать Роспотребнадзор в соответствии с существующим регламентом⁷.

Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что в отделениях ядерной медицины может возникать весь спектр аварийных (нештатных), описанных в предыдущих работах авторов [13,14].

Следует отметить, что в отделениях радионуклидной терапии 100% респондентов ответили об отсутствии нештатных ситуаций, связанных с выпиской пациентов и проведением дозиметрического контроля при выписке. Следует отметить, что в настоящий момент отсутствуют специфические критерии выписки пациентов, прошедших терапию препаратами ¹⁷⁷Lu, ²²³Ra, ⁸⁹Sr, ²⁵⁵Ac⁸. Таким образом, персонал отделений радионуклидной терапии скорее всего просто игнорирует специфику выписки пациентов после терапии альфа- и бета-излучателями. Возникающие при этом проблема просто не идентифицируются как аварийные (нештатные) ситуации.

Отдельной проблемой остается отнесение выявления пациентов с введенным терапевтическим радионуклидом (с превышением МАЭД внешнего облучения над фоном) на пунктах дозиметрического контроля к радиационным авариям. При выявлении таких пациентов целесообразно сравнивать измеренную МАЭД с результатами дозиметрического контроля пациента при выписке, указанными в медицинской документации (или критериями выписки пациентов), и относить такую ситуацию к радиационной аварии только при превышении МАЭД установленных критериев выписки.

Также следует отметить высокую частоту экстравазального введения РФЛП. Данная нештатная ситуация ассоциирована с дополнительным поражением тканей, в которые был введен препарат, за счёт внешнего облучения от РФЛП. Введение терапевтических РФЛП практически всегда будет приводить к некрозу тканей [10–12]. Профилактике возникновения таких ситуаций должно уделяться максимальное внимание.

Заключение

Результаты данной работы ещё раз подчёркивают необходимость изменения подходов к идентификации, классификации и реагированию на нештатные (аварийные) ситуации при медицинском облучении.

Для успешного решения обозначенных проблем необходимо:

- Разработать и внедрить в отечественные нормативно-методические документы классификацию аварийных (нештатных) ситуаций при проведении процедур ядерной медицины. Данное решение позволит персоналу отделений ядерной медицины как минимум иметь возможность идентифицировать аварийную (нештатную) ситуацию;

- Ввести дифференцированный подход к реагированию на различные аварийные (нештатные) ситуации. Ряд ситуаций может не приводить к переоблучению персонала и/или населения и, как следствие, не требовать оповещения органов Роспотребнадзора. Все корректирующие меры могут

⁷ Методические рекомендации «Санитарно-гигиенические требования к мероприятиям по ликвидации последствий радиационной аварии» (МР 2.6.1.0050-11): утв. и введены в действие с 25.12.2011 г. [Methodical recommendations "Sanitary and hygienic requirements for measures to eliminate the consequences of a radiation accident" (MR 2.6.1.0050-11): approved on 25.12.2011 (In Russ.)]

⁸ В соответствии с п. 3.4.3 СанПиН 2.6.1.2368-08 мощность дозы фотонного излучения на расстоянии 1 м от пациента не должна превышать 3 мкЗв/ч.

быть приняты и реализованы на уровне медицинской организации, или даже на уровне отделения ядерной медицины. При этом такие ситуации все равно необходимо идентифицировать и регистрировать;

- Разработать численные критерии для оценки факта ошибочного введения пациенту большей или меньшей активности радионуклида в РФП, что привело к некачественному исследованию или неэффективной терапевтической процедуре;

- Разработать и внедрить в практику инструкцию по действиям в случае наступления различных аварийных (нештатных) ситуаций, направленную в первую очередь на методику ретроспективной оценки доз облучения пострадавших лиц.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Водоватов А.В. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, написание текста.

Чипига Л.А. – поиск и анализ литературы, анализ и интерпретация результатов, редактирование текста статьи.

Рыжов С.А. – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Петрякова А.В. – поиск и анализ литературы, описание материалов и методов, перевод.

Библин А.М. – анализ результатов.

Горский Г.А. – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Вишнякова Н.М. – анализ результатов.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Разработка и научное обоснование комплекса мер по обеспечению радиационной защиты в ядерной медицине».

Литература

1. Martin C.J., Vassileva J., Vano E. et al. Unintended and accidental medical radiation exposures in radiology: guidelines on investigation and prevention // *Journal of Radiological Protection*. 2017. Vol. 37, No 4. P. 883. DOI: 10.1088/1361-6498/aa881e.
2. Marengo M., Martin C.J., Rubow S. et al. Radiation Safety and Accidental Radiation Exposures in Nuclear Medicine // *Seminars in Nuclear Medicine*. 2022. Vol. 52, No 2. P. 94-113 DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2021.11.006.

3. Jaschke W, Bartal G, Martin CJ, Vano E. Unintended and Accidental Exposures, Significant Dose Events and Trigger Levels in Interventional Radiology // *CardioVascular and Interventional Radiology*. 2020. Vol. 43. P. 1114–1121. DOI: 10.1007/s00270-020-02517-2.
4. IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna, 2014. 518 p.
5. Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Specific safety guide SSG-46. IAEA: Vienna, 2018. 340 p.
6. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance for PET and PET/CT Systems. IAEA Human Health Series No. 1. IAEA: Vienna, 2009. 145 p.
7. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance for SPECT Systems. IAEA Human Health Series No. 6. IAEA: Vienna, 2009. 249 p.
8. Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В. и др. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15, № 4. С. 122-133. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
9. Чипига Л.А., Звонова И.А., Рыжкова Д.В. и др. Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России // *Радиационная гигиена*. 2017. Т. 10, № 4. С. 31-43. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43.
10. van der Pol J., Vöö S., Bucierius J., Mottaghy F.M. Consequences of radiopharmaceutical extravasation and therapeutic interventions: a systematic review // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2017. Vol. 44, No 7. P. 1234-1243. DOI: 10.1007/s00259-017-3675-7.
11. Morgan T.L. Extravasation of radiopharmaceuticals: Why report? *Frontiers in Nuclear Medicine*. 2023. Vol. 3. P. 1148177. DOI: 10.3389/fnume.2023.1148177.
12. Osborne D., Kiser J.W., Knowland J. et al. Patient-specific Extravasation Dosimetry Using Uptake Probe Measurements // *Health Physics*. 2021. Vol. 120, No 3. P. 339-343. DOI: 10.1097/HP.0000000000001375.
13. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Рыжов С.А. и др. Радиационные аварии в лучевой и радионуклидной диагностике и терапии: сравнение российских и международных подходов к терминологии и классификации // *Радиационная гигиена*. 2024. Т. 17, № 1. С. 97-110. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-97-110.
14. Vodovatov A.V., Ryzhov S.A., Chipiga L.A. and др. Perspective approaches to classification of radiation accidents in radiology on the example of computed tomography. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2021. No. 2356(1).
15. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English / edited by M. F. Kiselev, N. K. Shandala. Moscow: «Alana», 2009. 312 p. (In Russian).
16. Громов А.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Тутельян О.Е. Сравнительный анализ информации о радиационных авариях в Российской Федерации в 2010–2022 гг. // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 4. С. 122-133. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-122-133.

Поступила: 21.07.2024

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. **Адрес для переписки:** 197101, ул. Мира 8, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vodovatoff@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Рыжов Сергей Анатольевич – вице-президент Ассоциации медицинских физиков России; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; научный сотрудник Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-0640-7368

Петрякова Анастасия Валерьевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; инженер по радиационной безопасности СПб ГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-2663-9091

Библин Артем Михайлович – старший научный сотрудник, руководитель Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Горский Григорий Анатольевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Водоватов А.В., Чипига Л.А., Рыжов С.А., Петрякова А.В., Библин А.М., Горский Г.А., Вишнякова Н.М. Анализ распространенности аварийных ситуаций в ядерной медицине в Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 93–102. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-93-102

Analysis of the radiation accidents prevalence in nuclear medicine in the Russian Federation

Aleksandr V. Vodovатов^{1,2}, Larisa A. Chipiga^{1,3,4}, Sergey A. Ryzhov^{5,6,7}, Anastasia V. Petryakova^{1,8}, Artem M. Biblin¹,
Grigory A. Gorsky^{1,9}, Nadezhda M. Vishnyakova¹

¹ Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

³ A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁴ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁵ Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

⁶ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁷ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁸ The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint Petersburg, Russia

⁹ I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

Radiation events (accidents) appearance is an integral part of the use of ionizing radiation sources in medicine in general and nuclear medicine in particular. To minimize the negative impact on patients, workers, and public due to such events, it is necessary to have reliable information about real prevalence of

Aleksandr V. Vodovатов

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com

the radiation events (accidents). The current work presents the analysis of the radiation accidents with medical ionizing radiation sources registered in the "Data bank of radiation accidents and incidents" of the Rospotrebnadzor Information and Analytical Centre for Radiation Safety and the results of workers questionnaires conducted in 25 nuclear medicine departments (about 30% of all nuclear medicine departments in the Russian Federation). The results of the analysis showed that the most common registered radiation accidents in the "Data bank of radiation accidents and incidents" are identification of passengers with high external dose rate as well as identification of waste contaminated by medical radionuclides. The results of the questionnaire showed that the most common radiation accidents (events) in nuclear medicine are contamination of work clothes or work surfaces with radionuclides, or patient fluids containing radionuclides; conducting examination without proper referral; extravasation of radiopharmaceutical. Existing systems of identification and registration of radiation accidents do not allow to identify radiation events (accidents) specific to nuclear medicine. The further research aimed at developing a classification of radiation events (accidents) in medicine and methods for responding to such events are feasible.

Key words: radiation accident, radiation incident, medical exposure, patients, workers.

Authors' personal contribution

Vodovатов A.V. - scientific management of the study, determination of the aim of the study, development of the study design, formulation of the scientific conjectures, processing, and analysis of results, writing the text of the article.

Chipiga L.A. - search and analysis of literature, analysis and interpretation of the results, editing the text of the article.

Ryzhov S.A. - development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Petryakova A.V. - search and analysis of literature, description of materials and methods, translation.

Biblin A.M. - analysis of the results.

Gorsky G.A. - development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Vishnyakova N.M. - analysis of the results.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being "Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine".

References

- Martin CJ, Vassileva J, Vano E, Mahesh M, Ebdon-Jackson S, Ng KH et al. Unintended and accidental medical radiation exposures in radiology: guidelines on investigation and prevention. *Journal of Radiological Protection*. 2017;37(4): 883. DOI: 10.1088/1361-6498/aa881e.
- Marengo M, Martin CJ, Rubow S, Sera T, Amador Z, Torres L. Radiation Safety and Accidental Radiation Exposures in Nuclear Medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2022;52(2): 94-113. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2021.11.006.
- Jaschke W, Bartal G, Martin CJ, Vano E. Unintended and Accidental Exposures, Significant Dose Events and Trigger Levels in Interventional Radiology. *CardioVascular and Interventional Radiology*. 2020;43: 1114-1121. DOI: 10.1007/s00270-020-02517-2.
- IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna; 2014. 518 p.
- Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Specific safety guide SSG-46. IAEA: Vienna; 2018. 340 p.
- International Atomic Energy Agency. Quality Assurance for PET and PET/CT Systems. IAEA Human Health Series No. 1. IAEA: Vienna; 2009. 145 p.
- International Atomic Energy Agency. Quality Assurance for SPECT Systems. IAEA Human Health Series No. 6. IAEA: Vienna; 2009. 249 p.
- Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovатов AV, Zvonova IA, Moununov AA, Naurzbaeva LT, et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015-2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 122-133. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
- Chipiga LA, Zvonova IA, Ryzhkova DV, Menkov MA, Dolgushin MB. Levels Of Patients Exposure and a Potential for Optimization of the PET Diagnostics in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4):31-43. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43.
- van der Pol J, Vöö S, Bucerius J, Mottaghy FM. Consequences of radiopharmaceutical extravasation and therapeutic interventions: a systematic review. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2017;44(7): 1234-1243. DOI: 10.1007/s00259-017-3675-7.
- Morgan TL. Extravasation of radiopharmaceuticals: Why report? *Frontiers in Nuclear Medicine*. 2023;3: 1148177. DOI: 10.3389/fnume.2023.1148177.
- Osborne D, Kiser JW, Knowland J, Townsend D, Fisher DR. Patient-specific Extravasation Dosimetry Using Uptake Probe Measurements. *Health Physics*. 2021;120(3): 339-343. DOI: 10.1097/HP.0000000000001375.
- Vodovатов AV, Chipiga LA, Ryzhov SA, Petryakova AV, Biblin AM, Gorsky GA. Radiation accidents in X-ray and radionuclide diagnostics and therapy: comparison of Russian and international approaches to the terminology and classification. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(1): 97-110. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-97-110]
- Vodovатов AV, Ryzhov SA, Chipiga LA, Biblin AM, Druzhinina PS. Perspective approaches to classification of radiation accidents in radiology on the example of computed tomography. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing; 2021. No. 2356(1).
- ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English / edited by MF Kiselev, NK Shandala. Moscow: «Alana»; 2009. 312 p. (In Russian).
- Gromov AV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Tutelyan OE. Comparative analysis of information on radiation accidents in the Russian Federation in 2010-2022. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 122-133. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-122-133].

Received: July 21, 2024

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, research fellow, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; research fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Sergey A. Ryzhov – vice president, Association of Medical Physicists in Russia; research fellow, Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies; head of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-0640-7368

Anastasia V. Petryakova – acting junior researcher, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; radiation safety engineer, Saint Petersburg City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2663-9091

Artem M. Biblin – senior research fellow, head of Information-analytical center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Grigory A. Gorsky – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director of the Innovation work, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

For citation: Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Ryzhov S.A., Petryakova A.V., Biblin A.M., Gorsky G.A., Vishnyakova N.M. Analysis of the radiation accidents prevalence in nuclear medicine in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 3, P. 93-102. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-93-102