

**В.И. Рубцов, В.Н. Клочков, Н.А. Суровцев, А.Ю. Нефедов,  
Е.В. Клочкова, А.Б. Требухин, И.О. Чибakov**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ  
МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПРОЦЕДУР  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ**

**V.I. Rubtsov, V.N. Klochkov, N.A. Surovtsev, A.Yu. Nefedov,  
E.V. Klochkova, A.B. Trebukhin, I.O. Chibakov**

**Improving Radiation Safety of Medical Staff during Diagnostic  
and Treatment Procedures with the Application of Radionuclides**

## РЕФЕРАТ

**Цель:** Выработка рекомендаций по совершенствованию радиационной защиты медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения.

**Материал и методы:** В работе проанализированы данные литературы о дозах медицинского облучения персонала и пациентов центров ядерной медицины в нашей стране и за рубежом и их вклад в общую коллективную дозу за счет техногенных источников.

**Результаты:** В результате анализа данных литературы и опыта многолетних собственных исследований изложены общие принципы обеспечения радиационной безопасности медицинского персонала, а также организации индивидуальной защиты при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения.

**Вывод:** Разработаны основные принципы организации индивидуальной защиты для обеспечения радиационной безопасности персонала в ядерной медицине.

**Ключевые слова:** ядерная медицина, дозы медицинского облучения, внешнее и внутреннее облучение, радионуклиды, средства индивидуальной защиты

## ABSTRACT

**Purpose:** To give recommendations on improving radiation safety of medical staff during diagnostic and treatment procedures with the Application of radionuclides and ionizing radiation sources.

**Material and methods:** Literature data on doses of medical exposure of the medical staff and patients at domestic and abroad nuclear medicine centers and their contribution to the total collective dose from man-made radiation sources have been analyzed.

**Results:** Based on results of analysis of literature data and long experience of internal research, general concepts of assuring radiation safety of medical staff, as well as individual protection when performing diagnostic and treatment procedures with the application of radionuclides and ionizing radiation sources are described.

**Conclusion:** Basic principles of individual protection for assuring radiation safety of medical staff in nuclear medicine have been developed.

**Key words:** nuclear medicine, medical exposure doses, external and internal exposure, radionuclides, personal protective equipment

## Введение

Обеспечение радиационной безопасности осуществляется путем соблюдения санитарных правил, норм, гигиенических нормативов; правил радиационной безопасности; государственных стандартов; строительных норм и правил; правил охраны труда; распорядительных, инструктивных, методических и иных документов. Проблема эффективной радиационной защиты персонала, пациентов и населения России в ядерной медицине также является одной из приоритетных государственных задач [1–7].

Медицинское диагностическое облучение является главным фактором радиационного воздействия на население. Вклад медицинского облучения в общую коллективную дозу за счет техногенных источников ионизирующего излучения (ИИИ) населения

развитых стран составляет более 95 % [8]. Практика экстенсивного подхода и инновационных методов высокой информативности в рентгеновской и радионуклидной диагностике, в частности, в рентгеновской компьютерной томографии (КТ), сопровождается значительными дозами облучения пациентов и персонала, поэтому медицинское облучение является особой категорией облучения, для которого принцип оптимизации является наиболее актуальным [9].

## Материал и методы

Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека постоянно ведется оценка радиационной безопасности населения Российской Федерации при медицинском облучении. В настоящее время медицинское облу-

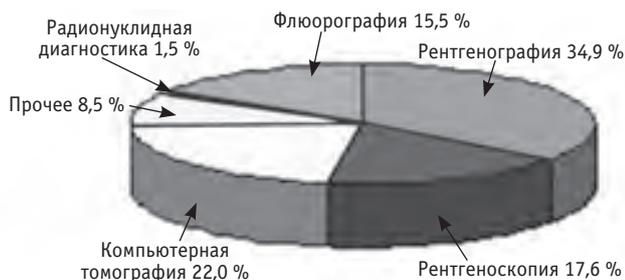


Рис. 1. Вклад различных методов диагностики в дозу медицинского облучения населения, %

чение, т.е. облучение пациентов, во всех субъектах Российской Федерации занимает второе место после облучения природными источниками. Вклад медицинского облучения в коллективную дозу населения Российской Федерации составляет 14,4 % [10]. Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов вносят рентгенографические исследования и КТ (рис. 1).

По данным Роспотребнадзора, годовая эффективная доза от медицинского облучения на душу населения России в течение последних лет снижается и в 2012 г. составила в среднем около 0,6 мЗв [11]. Это самый низкий показатель за все время наблюдения (с 1970 г.) и в 3,5 раза ниже, чем в экономически развитых странах. Последний факт обусловлен не столько адекватным решением в нашей стране проблемы снижения доз облучения пациентов и персонала, сколько меньшим количеством диагностических радиологических процедур и недостаточным количеством таких современных диагностических устройств, как компьютерные томографы, обеспечивающих получение ценной диагностической информации, но создающих высокие дозы облучения пациентов.

Суммарное количество всех диагностических рентгено радиологических процедур в России в 2012 г. достигло 241 млн. Это означает, что на душу населения (143 млн чел.) приходится 1,7 процедуры в год (или 1,2 исследования, а в экономически развитых странах — 1,6 исследования) и наблюдается устойчивый рост — на 40 % за последние 10 лет при росте заболеваемости на 17,0 % за этот же период.

Коллективная доза облучения населения Российской Федерации за счет диагностического использования медицинских ИИИ в 2012 г. составила 78,7 тыс. чел-Зв. До настоящего времени происходило ее постоянное снижение — за 10 лет на 30 % (ранее — по 3 % в год, в последние годы — 0,3 % в год). Таким образом, скорость снижения коллективной дозы замедляется.

Таким образом, медицинское облучение пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и ис-

точников ионизирующего излучения является своеобразным «побочным отрицательным эффектом» в необходимом и положительном процессе диагностики различных заболеваний. В то же время облучение медицинского персонала, проводящего указанные диагностические обследования, является несомненным отрицательным эффектом, не имеющим положительных сторон. Поэтому дозы медицинского диагностического облучения пациентов должны снижаться с учетом соотношения «польза (уточнение диагноза) — вред (отрицательные последствия облучения)». Дозы облучения медицинского персонала должны минимизироваться всеми существующими методами, в том числе применением эффективных средств индивидуальной защиты.

Наличие вредных и опасных факторов, а также интенсивность их воздействия напрямую связаны с организацией процесса диагностики с применением ионизирующего излучения и радионуклидов, а также с качеством специального оборудования.

В настоящее время начата реализация крупного инновационного проекта ФМБА России в рамках государственной программы «Создание федеральных центров медицинских радиологических технологий». Создаются крупные центры ядерной медицины в Димитровграде, Обнинске, Томске, Казани, Хабаровске и других городах. Эти центры оснащаются самым современным оборудованием для диагностики и лечения заболеваний.

Нами были изучены условия труда персонала Казанского Республиканского центра ядерной медицины, в котором осуществляется дистанционная, внутриволостная, контактная лучевая терапия с помощью закрытых ИИИ, радионуклидная диагностика с применением открытых источников ионизирующего излучения, таких как  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{18}\text{F}$ . Анализ показывает, что даже в условиях применения самого современного оборудования необходимо применение специальных мер по обеспечению радиационной безопасности персонала.

Сотрудниками ФМБЦ им. А.И. Бурназяна В.М. Корсунским, Г.Е. Кодиной и А.Б. Брускиным был проведен анализ состояния и перспектив развития ядерной медицины на современном этапе [12].

По данным этих исследователей, как аппаратное оснащение, так и обеспечение кадрами центров ядерной медицины в нашей стране, к сожалению, существенно отстает от мирового уровня. В то же время за последние 3–5 лет наметилась положительная тенденция в решении данной проблемы.

Одним из важных способов обеспечения безопасности персонала является применение средств индивидуальной защиты (СИЗ). На основе имеющегося большого опыта исследований в области обеспечения индивидуальной защиты персонала при работе

с ионизирующими излучениями и радиоактивными веществами, сформулированы, обоснованы и апробированы основные принципы обеспечения индивидуальной защиты персонала предприятий атомной промышленности и энергетики. Поэтому, решая проблему радиационной защиты (в том числе и индивидуальной защиты) медицинского персонала центров ядерной медицины, мы посчитали возможным в определенной мере использовать этот опыт [13–17].

Защита персонала центров ядерной медицины от прямого и рассеянного излучения рентгеновских аппаратов, облучательских установок на основе радионуклидных источников или ускорителей заряженных частиц обеспечивается штатными системами биологической защиты и не требует дополнительных защитных мероприятий сверх предусмотренных регламентом их эксплуатации. Применение СИЗ в этих ситуациях бесперспективно или нецелесообразно, за исключением некоторых видов СИЗ от воздействия бета-излучения или мягкого фотонного излучения. Основные принципы обеспечения радиационной безопасности персонала при эксплуатации закрытых источников представлены в документах [18–20].

Применение в центрах ядерной медицины открытых ИИИ требует осуществления комплекса организационных и технических мероприятий по защите персонала. Радиационная защита персонала подразделений ядерной медицины имеет выраженную специфику, обусловленную необходимостью предотвращения или снижения уровней как внешнего, так и внутреннего профессионального облучения. Организации работ с открытыми радионуклидными источниками излучения в центрах ядерной медицины, а также соответствующие мероприятия по обеспечению радиационной безопасности персонала представлены в нормативных документах [21–23].

Защита персонала от внешнего гамма- и бета-облучения от радионуклидных генераторов и фасовок с радиофармпрепаратами осуществляется путем выполнения следующих требований [1]:

- исключение доступа в помещения блоков радионуклидного обеспечения и «активных» палат всех лиц, не участвующих в выполнении процедур радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии;
- увеличение (по возможности) расстояния между источником и работающим с ним сотрудником, в том числе между сотрудниками и пациентами с введенными радиофармпрепаратами;
- сокращение (по возможности) времени пребывания персонала в радиационных полях, в том числе сокращение времени контакта с пациентами с введенными радиофармпрепаратами, но без снижения качества диагностики и лечения;

- использование стационарных и переносных средств радиационной защиты, в том числе СИЗ защиты от бета- и мягкого (до 60 кэВ) фотонного излучения;
- использование инструментов для дистанционного манипулирования с радионуклидными источниками, в том числе с радиоактивными отходами;
- парэнтеральное введение радиофармпрепаратов с помощью шприцев и капельниц, оборудованных локальной защитой.

Защита от внутреннего облучения осуществляется путем реализации комплекса мер по предотвращению поступления радионуклидов в организм персонала [1]:

- применение комплекта СИЗ, включающего в обязательном порядке средства защиты органов дыхания (легкие противоаэрозольные респираторы, в необходимых случаях противогАЗоаэрозольные респираторы), и средства защиты кожных покровов (хирургические перчатки, основная спецодежда и спецобувь), при уборке помещений блоков радионуклидного обеспечения и «активных» палат и в аварийных ситуациях (СИЗ органов дыхания, дополнительная спецодежда и спецобувь);
- применение и регулярная замена защитных покрытий (бумаги, полимерной пленки) в палатах и санузлах для защиты от загрязнения поверхности пола;
- регулярная смена спецодежды и, при необходимости, ее дезактивация;
- по возможности использование одноразовых СИЗ с их последующим удалением как твердых радиоактивных отходов;
- предотвращение распространения радиоактивных веществ в другие помещения за счет контактного переноса на обуви и на загрязненных перчатках;
- обеспечения сбора, хранения и удаления радиоактивных отходов, образующихся при работе центров ядерной медицины.

Следует отметить, что условия труда в центрах ядерной медицины с применением радионуклидной диагностики и терапии имеют существенные особенности. Первая особенность заключается в том, что радионуклиды используются в химических формах, которые легко усваиваются организмом пациентов и быстро накапливаются в отдельных органах-мишенях. За счет этого достигаются максимальные дозовые коэффициенты радионуклидов, что приводит к формированию максимальных доз облучения в расчете на единицу поступления радионуклида.

Второй особенностью является применение короткоживущих радионуклидов с периодом полураспада от нескольких часов до нескольких суток. Из гамма-излучающих нуклидов применяются технеций-99m (период полураспада  $T_{1/2} = 6,2$  ч), йод-123 (13,2 ч), галлий-67 (3,26 сут), индий-111 (2,83 сут) и другие. В позитронной эмиссионной томографии в

основном применяются позитронно-излучающие радионуклиды: углерод-11 (0,34 ч), азот-13 (9,96 мин), кислород-15 (2,03 мин), фтор-18 (1,83 ч). Столь малые периоды полураспада перечисленных нуклидов делают необходимым производство радиофармпрепаратов в медицинских учреждениях непосредственно перед проведением медицинской диагностической или лечебной процедуры. В этих условиях крайне затруднен контроль объемной активности радионуклидов в воздухе и контроль поступления радионуклидов в организм персонала. Широко применяемый метод контроля внутреннего облучения с помощью спектрометров излучения человека (СИЧ) может привести к получению недостоверных результатов. Например, контроль содержания фтора-18 в организме работника с помощью СИЧ в конце рабочего дня (т.е. когда от момента поступления радионуклида прошло около 6 часов и до 80 % поступившего в организм радионуклида распалось) приведет к большой неопределенности результата. Для радионуклидов с еще более коротким периодом полураспада контроль поступления с помощью СИЧ приведет к совершенно неприемлемой неопределенности результатов.

Поэтому представляется необходимым развитие систем дозиметрии внешнего и внутреннего облучения персонала с учетом особенностей центров ядерной медицины. Принимая во внимание трудности контроля доз облучения персонала, необходимо сосредоточить основные усилия на защите персонала от внешнего облучения и поступления радионуклидов в организм. При этом необходимо учитывать, что СИЗ медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения целесообразно применять только в тех случаях, когда применение других технических, организационных (защита временем, расстоянием, зонированием помещений) мероприятий, применение коллективных средств защиты ограничено или вообще невозможно.

СИЗ для защиты медицинского персонала должны выбираться с учетом особенностей их применения. Основной особенностью является минимальное воздействие на физиологические системы медицинского работника, минимальное ограничение полей зрения, минимальное снижение тактильной чувствительности пальцев рук. То есть СИЗ должны минимальным образом затруднять проведение медицинским персоналом диагностических и лечебных процедур.

Третья особенность условий труда в центрах ядерной медицины обусловлена указанной выше невозможностью индивидуального контроля доз внутреннего облучения. Это приводит к необходимости применения СИЗ органов дыхания и кожных покровов по принципу превентивного применения, или принципу избыточной защиты.

Однако избыточность защиты должна быть умеренной с учетом четвертой особенности применения СИЗ – как эти СИЗ воспримет пациент. Прохождение обследования и лечения в центрах ядерной медицины обусловлено тяжелыми заболеваниями пациентов, в основном, онкологическими. Это влияет на психоэмоциональное состояние пациентов, обостренное восприятие любой информации, свидетельствующей о тяжести его заболевания. В этих условиях неадекватно усиленная индивидуальная защита медицинского персонала при обследовании и лечении пациентов может испугать и ухудшить психоэмоциональное состояние пациентов, что может отрицательно отразиться на результатах лечения.

Поэтому комплект СИЗ медицинского персонала должен формироваться из условия разумной достаточности. Для оптимизации радиационной защиты необходимо применение новых высокоэффективных СИЗ различного назначения на основе выбора оптимального соотношения между их физиологической приемлемостью и защитной эффективностью.

### **Выводы**

1. Выявленные особенности условий труда медицинского персонала центров ядерной медицины требуют совершенствования организации индивидуальной защиты персонала и применения современных высокоэффективных СИЗ органов дыхания и кожных покровов.

2. В соответствии с осуществляемой в настоящее время политикой в области технического регулирования актуальным является создание системы сертификации СИЗ медицинского персонала при осуществлении новых медицинских радиологических технологий на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» ТР ТС 019/2011 [24].

3. Важнейшим направлением цикла работ по совершенствованию радиационной защиты медицинского персонала центров ядерной медицины должно стать обучение работников как основам радиационной безопасности, так и практическим навыкам безопасного проведения работ. Для этого необходимы подготовка учебной программы последипломного профессионального образования, разработка руководств и методических пособий.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Радиационная безопасность в медицине. Учебное пособие. М.: Издательство «Гривант». 2014. 202 с.
2. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ. Под ред. Д. Валентина. СПб., НИИ радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева. 2011. 66 с.

3. Ильин Л.А. Радиобиология и радиационная медицина проблемы и перспективы их взаимодействия в рамках регламентации ионизирующих излучений // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 1998. Т. 43. № 1. С. 8–17.
4. Кириллов В.Ф., Коренков И.П., Ильин Л.А. Радиационная гигиена. М.: Изд-во ГЭОТАР-Медиа. 2010. 384 с.
5. Беляев В.Н., Климанов В.А. Физика ядерной медицины. Часть 2. Позитронно-эмиссионные сканеры. реконструкция изображений в позитронно-эмиссионной томографии. комбинированные системы ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/ПЭТ. кинетика радиофармпрепаратов. радионуклидная терапия. внутренняя дозиметрия. радиационная безопасность. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. 2012. 248 с.
6. Онищенко Г.Г. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации по результатам радиационно-гигиенической паспортизации // Гигиена и санитария. 2009. № 3. С. 4–7.
7. Наркевич Б.Я., Костылев В.А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в современной радионуклидной диагностике // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2009. Т. 54. № 2. С. 166–167.
8. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. Annex A. Medical Radiation Exposures. United Nations. New York. 2010.
9. Mettler F.A. et al. Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: a Catalog // Radiology. 2008. Vol. 248. № 1. P. 254–263.
10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2013 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2014. 191 с.
11. Попова А.Ю. Об оценке радиационной безопасности населения при медицинском облучении и эффективности санитарного надзора. Справка Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 19.12.2013 № 01/14570-13-32. М., 2014.
12. Корсунский В.Н., Кодина Г.Е., Брускин А.Б. Ядерная медицина: состояние и перспективы развития // Атомная стратегия. 2007. № 21. С. 4–6.
13. Рубцов В.И., Клочков В.Н. Индивидуальная защита персонала от радиационного воздействия и вопросы дезактивации // В кн.: «Радиационная медицина». Т. 3. Радиационная гигиена. М.: ИздАТ. 2002. С. 335–364.
14. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Суровцев Н.А. и соавт. Разработка и внедрение комплекса нормативно-методических и информационных материалов по средствам индивидуальной защиты // Юбилейный сборник, посвященный 50-летию Головного центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора Федерального управления «Медбиоэкстрем». М.: Федеральное управление «Медбиоэкстрем». 2004. С. 156–160.
15. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Суровцев Н.А. и соавт. Организация санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при радиационных авариях. Руководство. М.: ФГУ «ВЦМК Защита» Росздравнадзора. 2005. 524 с.
16. Романов В.В., Рубцов В.И., Клочков В.Н. и соавт. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за выбором и эксплуатацией средств индивидуальной защиты органов дыхания на радиационно-опасных объектах // Гигиена и санитария. 2006. № 4. С. 78–81.
17. Романов В.В., Рубцов В.И., Клочков В.Н. и соавт. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за выбором и эксплуатацией средств индивидуальной защиты кожных покровов на объектах и территориях, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 8. С. 42–48.
18. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. СанПиН 2.6.1.2573-10.
19. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.1192-03.
20. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения. СанПиН 2.6.1.2891-11.
21. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов. МУ 2.6.1.1892-04.
22. Обеспечение радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики методами радиоиммунного анализа *in vitro*. МУ 2.6.1.2308-08.
23. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. СанПиН 2.6.1.2368-08.
24. Технический регламент Таможенного союза о безопасности средств индивидуальной защиты ТР ТС 019/2011.

Поступила: 29.12.2014

Принята к публикации: 15.12.2015