

**Б.Я. Наркевич^{1,2}, В.А. Костылев², А.В. Левчук^{2,3}, Б.И. Долгушин¹,
С.И. Ткачев¹, С.В. Ширяев¹**

**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МЕДИЦИНСКОЙ
РАДИОЛОГИИ.**

**Часть 3. Обеспечение радиационной безопасности персонала,
населения и окружающей среды**

**B. Ja. Narkevich^{1,2}, V.A. Kostylev², A.V. Levchuk^{2,3}, B.I. Dolgushin¹,
S.I. Tkachev¹, S.V. Shiryaev¹**

Radiation Safety of Medical Radiology.

Part 3. Radiation Safety of Staff, Population and Environment

РЕФЕРАТ

Цель: Систематизировать и сформулировать основные положения и рекомендации по обеспечению радиационной безопасности в медицинской радиологии.

Материал и методы: Проанализированы отечественные и международные нормативные документы и рекомендации по обеспечению радиационной безопасности при проведении лечебных и диагностических процедур с использованием средств и технологий лучевой терапии, ядерной медицины, рентгенодиагностики и интервенционной радиологии. Обобщены литературные данные и собственный практический опыт по обеспечению радиационной защиты пациентов, персонала, населения и окружающей среды при реализации высоких радиологических технологий.

Результаты: Конкретизированы требования и рекомендации по обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды при проведении процедур лучевой терапии, ядерной медицины, рентгенодиагностики и интервенционной радиологии. Рассмотрены и сформулированы рекомендации по организации технологических процессов в соответствии с критериями обоснованности, оптимальности и нормирования профессионального облучения.

Выводы: Представленный материал будет полезен для проектировщиков радиологических корпусов, контролирующих органов Ростехнадзора и Роспотребнадзора, администрации радиологических и онкологических клиник, врачебного и инженерного персонала подразделений лучевой терапии, ядерной медицины, рентгенодиагностики и интервенционной радиологии.

Ключевые слова: *радиационная безопасность, медицинская радиология, персонал, население, окружающая среда*

ABSTRACT

Purpose: To systematize and to formulate the basic requirements and recommendations for maintenance of radiation safety in medical radiology.

Material and methods: The domestic and international normative documents and recommendations for maintenance of radiation safety are analyzed at realization of medical and diagnostic procedures with use of means and technologies of radiation therapy, nuclear medicine, diagnostic radiology and intervention radiology. The literature data and own practical experience on maintenance of radiation protection of the patients, staff, population and environment are generalized at realization of high radiological technologies.

Results: The requirements and recommendations for maintenance of radiation safety of the personnel, population and environment are specified at realization of procedures of radiation therapy, nuclear medicine, diagnostic radiology and intervention radiology. The recommendations for organization of technological processes are considered and formulated according to criteria of validity, optimality and setting of the occupational irradiation.

Conclusions: The submitted material will be useful to the designers of radiological buildings, administration of radiology and oncology clinics, personnel of divisions of radiation therapy, nuclear medicine, diagnostic radiology and intervention radiology.

Keywords: *radiation safety, medical radiology, staff, population, environment*

¹ ГУ Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН, 115478 Москва, Каширское ш. 24

² Институт медицинской физики и инженерии, 115478 Москва, Каширское ш. 24

³ Московский отдел инспекций радиационной безопасности Центрального межрегионального территориального округа по надзору за ядерной и радиационной безопасностью Ростехнадзора, Москва

¹ N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center of RAMS, 24 Kashirskoe highway, 115478 Moscow, Russia

² Institute of Medical Physics and Engineering, 24 Kashirskoe highway, 115478 Moscow, Russia

Введение

Медицинский, физико-технический и вспомогательный персонал, работающий в многочисленных радиологических подразделениях медицинских учреждений России, относится к одной из самых многочисленных групп профессиональных работников, занятых использованием разнообразных открытых и закрытых источников ионизирующих излучений. Поэтому обеспечение радиационной безопасности (РБ) персонала этих подразделений на адекватном уровне является одной из самых актуальных проблем радиационной гигиены, для решения которой необходимо постоянное проведение квалифицированных мероприятий физико-технического и организационно-административного характера.

Широкое распространение средств и технологий медицинской радиологии во всем мире и у нас в стране также требует особого внимания к проблемам обеспечения РБ отдельных лиц из населения и к радиологическим проблемам охраны окружающей среды.

Лучевая терапия

При терапевтическом облучении основными мерами по обеспечению РБ персонала являются:

- правильный выбор месторасположения в радиологическом корпусе каньонов с радиационно-терапевтическими установками, конфигурации и размеров каждого каньона, материала и толщины их защитных стен, геометрии и размеров защитного лабиринта в каньоне;
- предотвращение попадания любых лиц из персонала в каньон в ходе терапевтического облучения больного, а также в ходе регламентных работ по ремонту, наладке, испытаниям и калибровке находящихся в каньоне аппаратуры и оборудования, когда включен пучок электронного или фотонного излучения;
- предотвращение аварийного облучения в ходе указанных работ при случайном или ошибочном включении пучка излучения;
- минимизация уровня профессионального облучения, обусловленного наведенной радиоактивностью в элементах конструкции радиационной головки высокоэнергетических медицинских ускорителей;
- использование известных принципов защиты временем, расстоянием и экранированием при работе с гамма-терапевтическими аппаратами для внутритканевого и внутripолостного облучения;
- выполнением программ гарантии качества радиационно-терапевтических установок и радиационного контроля уровней внешнего облучения персонала.

Основы методики проектирования каньонов были изложены ранее в части 1 данной работы. Здесь отметим только, что существующие нормативы и технологии проектирования и строительства радиологических корпусов заведомо обеспечивают соблюдение установленных пределов доз профессионального облучения персонала.

Для всех рентгенотерапевтических и гамма-терапевтических аппаратов, а также для линейных ускорителей необходимо использовать блокировку, исключающую возможность входа лиц из персонала в каньон во время работы установки. Блокировка должна быть, как минимум, продублирована и должна надежно выключать оборудование при открывании входной двери каньона. Возвращение установки в рабочее состояние должно выполняться только с пульта управления. Функционирование блокировки следует регулярно проверять, в том числе и в рамках программ гарантии качества аппаратуры и оборудования. Необходимо предпринять меры для исключения случайного входа кого-либо в каньон во время облучения, что приводит к прерыванию сеанса лучевой терапии, а также для исключения случайного нахождения кого-либо из персонала во время работы установки. Входная дверь в каньон должна легко открываться вручную изнутри. Сигнализация внутри каньона и в пультной должна предупреждать персонал о начале и окончании облучения.

При проведении регламентных работ по техническому обслуживанию и калибровке радиационно-терапевтических аппаратов радиационная головка должна быть снабжена устройством подачи звукового сигнала и (или) устройством хорошо видимого светового сигнала, который подается при несанкционированном включении установки с пульта управления. Кроме того, внутри каньона необходимо поместить измеритель мощности дозы со звуковым или световым индикатором, который включается при превышении порогового значения мощности дозы в каньоне.

При использовании терапевтических ускорителей с пучками тормозного излучения выше 10 МВ в мишени ускорителя, выходном окне его вакуумной камеры и в выравнивающем фильтре за счет фотоядерных реакций возникает наведенная радиоактивность. При этом образуется совокупность коротко- и среднеживущих радионуклидов, испускающих гамма-кванты различных энергий и после выключения ускорителя. К ним относятся ^{185}W , ^{54}Mn , ^{196}Au , ^{51}Cr , ^{57}Co и некоторые другие радионуклиды с периодами полураспада от шести до 300 суток. Однако их активность не превышает нескольких кБк, вследствие чего уровень дополнительного облучения в непосредственной близости от радиационной головки ускорителя

теля существенно ниже обычного уровня лабораторного радиационного фона внутри каньона.

Обеспечение РБ персонала, работающего на гамма-терапевтических аппаратах для контактного облучения, имеет свою специфику, обусловленную необходимостью выполнения процедур подготовки, введения в тело больного и удаления из него закрытых радионуклидных источников. Для безопасной эксплуатации таких источников должны выполняться следующие требования:

- каждый источник должен иметь ясно различимые метки, позволяющие достоверно определить вид радионуклида, его активность и инвентарный номер;
- обеспечение жесткого контроля местопребывания источника: он может находиться только в хранилище, в устройстве его местной транспортировки или в теле больного;
- регулярные проверки (не реже раза в год) каждого источника на наличие поверхностного радиоактивного загрязнения; при обнаружении нефиксированного (“снимаемого”) загрязнения свыше 2 кБк следует считать источник негерметичным; немедленно должны быть приняты меры по ремонту или списанию источника, а установка должна подвергнуться дезактивации;
- в помещениях, смежных с процедурным кабинетом (каньоном), необходим периодический контроль мощности дозы гамма-излучения;
- хранилище источников должно быть обеспечено соответствующими устройствами, позволяющими определить, сколько источников и какие именно находятся на хранении в настоящий момент;
- хранилище должно быть постоянно закрыто и находиться под охранной сигнализацией;
- после каждой терапевтической процедуры контактного облучения и удаления источников из тела больного его следует подвергнуть радиационному контролю с помощью переносного измерителя мощности дозы, чтобы убедиться, что внутри тела не осталось никакой радиоактивности.

Для гамма-терапевтических аппаратов, обеспечивающих контактное облучение по технологии последовательного введения источников с высокой мощностью дозы, имеют место также и другие дополнительные требования:

- после каждого использования источника необходимо визуально проверить его состояние с помощью установки промышленного телевидения или защитной камеры с просвинцованным стеклом;
- на защитном сейфе, где хранятся такие источники, должна быть ясная схема их размещения внутри сейфа, чтобы нужный источник можно было

- найти и забрать в минимально короткое время;
- для перемещения источников обязательно использовать дистанционные манипуляторы типа шпаговых держателей;
- транспортировка источников из хранилища в процедурную производится только в защитных контейнерах на транспортной тележке;
- после удаления из тела больного источники должны быть подвергнуты процедуре стерилизации; а поскольку они могут быть повреждены вследствие нагревания, абразивного истирания, химических реакций или механического воздействия, их следует снова визуально проконтролировать;
- окраска поверхности источника должна быть яркой, чтобы его можно было легко найти при потере;
- раковина для слива сточных вод после стерилизации или дезактивации поверхности источника должна быть снабжена защитной решеткой, размеры отверстий на которой меньше минимального габаритного размера источника;
- транспортировочные шланги и их сопряжения с другими элементами конструкции гамма-терапевтического аппарата необходимо регулярно контролировать для предотвращения застревания в них источников.

К радиационному контролю персонала и его рабочих мест предъявляются обычные требования. В частности, для контроля уровней облучения гамма-квантами или тормозным излучением рекомендуется использовать индивидуальные термомюлюминесцентные дозиметры, носимые на халате в области груди или живота. Контроль мощности дозы фотонного излучения на рабочих местах и в контрольных точках за радиационной защитой каньона осуществляется с помощью дозиметров на основе счетчиков Гейгера–Мюллера или сцинтилляционных детекторов, причем отечественная аппаратура вполне отвечает необходимым требованиям. Однако для контроля облучения персонала фотонейтронами вне каньона высокоэнергетического ускорителя, особенно в непосредственной близости от входной двери защитного лабиринта, до сих пор отсутствуют простые и надежные технологии, позволяющие достоверно измерять соответствующую мощность эквивалентной дозы.

Ядерная медицина

Радиационная защита персонала подразделений ядерной медицины имеет свою выраженную специфику, обусловленную необходимостью предотвращения или снижения уровней как внешнего, так и внутреннего профессионального облучения.

Защита персонала от внешнего облучения

Для снижения уровня внешнего облучения гамма-квантами и бета-частицами от радионуклидных генераторов и фасовок с радиофармпрепаратами (РФП) необходимо выполнять следующие требования:

- исключить доступ в помещения блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат всех лиц, не участвующих в выполнении процедур радионуклидной диагностики (РНД) и радионуклидной терапии (РНТ), в том числе других пациентов, сотрудников и вообще посторонних лиц;
- по возможности увеличивать расстояние между источником и работающим с ним сотрудником, в том числе между сотрудниками и пациентами с уже введенными в организм РФП;
- по возможности сокращать продолжительность пребывания персонала в радиационных полях радионуклидных источников, в том числе и продолжительность контакта с теми пациентами, которым уже введены РФП, но без снижения качества диагностики и лечения;
- по возможности снижать активность фасовок РФП, в радиационном поле которых находятся работающие с ними;
- использовать стационарные и передвижные средства радиационной защиты, в том числе строительные конструкции, защитные боксы, сейфы, экраны и контейнеры, сборные стенки из свинцовых блоков;
- по возможности использовать инструменты для дистанционного манипулирования радионуклидными источниками любой активности, в том числе радиоактивными отходами;
- по возможности проводить парэнтеральное введение РФП с помощью шприцев и капельниц, оборудованных снимаемой локальной защитой в виде чехлов из тяжелых металлов, особенно пациентам с предварительно катетеризированными кровеносными сосудами.

Защита персонала от внутреннего облучения

Предотвращение инкорпорации радионуклидов, приводящей к профессиональному внутреннему облучению бета-частицами, достигается путем тщательного выполнения следующих требований:

- проводить все манипуляции с РФП, наборами для РНД *in vitro* и радиоактивными отходами (РАО) только с использованием комплекта средств индивидуальной защиты от внутреннего облучения, в состав которого должны входить халат, шапочка, хирургические перчатки, легкая сменная обувь;
- при уборке рабочих помещений блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат, осо-

бенно туалета для амбулаторных больных, необходимо дополнительно использовать пленочный фартук, нарукавники, пластиковые или резиновые бахилы или галоши;

- застилать рабочие поверхности в “активных” палатах фильтровальной бумагой (особенно стол и пол в палатных санузлах), которая должна регулярно заменяться при проведении влажной уборки в этих палатах;
- при ликвидации радиационных аварий с проливанием различных радиоактивных растворов нужно использовать тот же комплект дополнительных средств индивидуальной защиты от внутреннего облучения и, при необходимости, респираторы;
- периодически, не реже одного раза в неделю, сменять основную спецодежду, сдавая загрязненную спецодежду и сменную обувь на дезактивацию и (или) в спецпрачечную;
- по возможности использовать одноразовые средства индивидуальной защиты с их последующим удалением как твердые РАО;
- особое внимание необходимо уделять предотвращению распространения радиоактивных загрязнений с перчаток на другие поверхности, особенно на дверные ручки.

РБ персонала обеспечивается тщательным выполнением всех установленных технологических операций по подготовке радиофармпрепаратов, их введению в организм пациентов, по пребыванию больных в “активных” палатах. Сюда же следует отнести технологии сбора, хранения и удаления различных РАО, образующихся при работе подразделений РНД и РНТ.

Сбор и удаление твердых радиоактивных отходов

К твердым РАО относятся не подлежащие дальнейшему использованию материалы и предметы, у которых удельная радиоактивность (активность на единицу массы) больше пороговых значений, приведенных в НРБ-99 для данного радионуклида.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении установленных технологий работы с открытыми радионуклидными источниками к твердым штатным низкоактивным РАО относятся:

- использованные хирургические перчатки после работы в блоках радионуклидного обеспечения и “активных” палат;
- ватные тампоны, марлевые подушечки, кровоостанавливающие повязки, использованные при инъекциях различных РФП;
- использованные при инъекциях РФП одноразовые шприцы в разобранном состоянии после односторонней размывки проточной водой;
- одноразовые салфетки и полотенца, использован-

ные больными при пероральном введении терапевтических РФП (в основном, ^{131}I);

- опорожненные флаконы из-под различных радиоактивных растворов после односуточной отмывки проточной водой;
- использованная фильтровальная и туалетная бумага из помещений блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат;
- больничная (для пациентов) и профессиональная спецодежда разового использования;
- посуда разового использования для больных, госпитализированных в “активные” палаты;
- пищевые и бытовые отходы от больных из “активных” палат;
- отработанные сменные фильтры системы спецовентиляции.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении установленных технологий работы с открытыми радионуклидными источниками к твердым *штатным среднеактивным* РАО относятся:

- отработанные сменные фильтры и адсорбенты из системы очистки жидких РАО;
- трупы больных, умерших в течение своего пребывания в “активных” палатах, с введенными терапевтическими активностями радиофармпрепаратов;
- спецодежда разового использования, в которой проводилась дезактивация рабочих поверхностей при штатной влажной уборке “активных” палат.

При ликвидации последствий радиационных аварий, связанных с проливанием радиоактивных растворов, к твердым *аварийным среднеактивным* РАО относятся:

- спецодежда разового использования, в которой проводилась дезактивация рабочих поверхностей при ликвидации последствий радиационных аварий;
- опилки, фильтровальная бумага и другие средства, использованные при дезактивации.

Твердые РАО собираются в специальные контейнеры со сменными полиэтиленовыми мешками, которые в конце рабочего дня должны сдаваться в хранилище РАО. Контейнеры должны устанавливаться в хранилище РФП, в фасовочной, радиоманипуляционной, моечной, туалете для амбулаторных больных, а также во всех “активных” палатах. Туда же доставляются трупы умерших больных с введенной активностью и помещаются в морозильную камеру, где выдерживаются на радиоактивный распад необходимое время, в соответствии с ОСПОРБ-99, после чего проводится патологоанатомическое исследование в установленном порядке. При необходимости срочного проведения подобного исследования следует рассчитать допустимую продолжительность проце-

дуры вскрытия трупа патологоанатомом по нормативам для персонала группы Б, приведенным в НРБ-99.

В хранилище РАО все твердые отходы сортируются по категории активности, закладываются в пластиковые мешки и помещаются за радиационной защитой (стационарной бетонной или металлической передвижной стенкой). На каждом мешке должна быть этикетка с указанием радионуклида, даты поступления на хранение и запланированной даты удаления после выдержки на распад в качестве неактивных отходов. По достижении этой даты распавшиеся отходы удаляются вместе с обычными бытовыми и больничными отходами с предварительным дозиметрическим контролем, причем с удаляемых предметов и материалов должны быть убраны знаки радиационной опасности.

Пищевые отходы от больных из “активных” палат должны собираться в металлические контейнеры (емкости). После дозиметрического контроля контейнеры либо помещаются в холодильник для выдержки на распад и последующего удаления как обычные пищевые отходы медицинского учреждения, либо удаляются сразу, если не превышены установленные в НРБ-99 нормативы содержания радиоактивности в РАО.

Использованные свинцовые транспортные контейнеры от фасовок РФП отдельно складываются в хранилище РАО, где их также выдерживают на распад по результатам дозиметрического контроля. После выдержки контейнеры должны быть подвергнуты контролю на радиоактивную загрязненность внутренних поверхностей и переданы фирме-поставщику РФП либо сданы как лом цветных металлов с предварительным устранением знаков радиационной опасности.

Загрязненные радиоактивностью предметы спецодежды и сменная обувь персонала хранятся в кладовой блока радионуклидного обеспечения в пластиковых мешках, а постельное белье, полотенца, больничные пижамы и сменная обувь больных – в кладовой блока “активных” палат. Перед сдачей их в спецпрачечную проводят дозиметрический и радиометрический контроль в целях сортировки и отбраковки тех предметов, уровни загрязнения которых превышают установленные в НРБ-99 нормативы и которые должны быть отобраны для соответствующей выдержки на распад перед сдачей в спецпрачечную.

Сбор и удаление жидких радиоактивных отходов

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении технологий работы с открытыми радионуклидными источниками в подразделениях РНД и РНТ к жидким *штатным среднеактивным* РАО относятся:

- неиспользованные остатки радиоактивных растворов из флаконов, мензурок и фасовок радиофармпрепаратов;
- сливные и сточные воды из туалета для амбулаторных больных;
- сливные и сточные воды из санузлов “активных” палат.

При ликвидации последствий радиационных аварий в тех же подразделениях к жидким *аварийным среднеактивным* РАО относятся:

- сточные воды из системы спецканализации в отделениях РНТ, попадающие на рабочие поверхности при засорах и протечках дренажных труб;
- сливные воды от процедур дезактивации, проводимых при массивном пролипании радиоактивных растворов с высокой удельной активностью.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении установленных технологий работы с открытыми радионуклидными источниками в подразделениях РНД и РНТ к жидким *штатным низкоактивным* РАО относятся:

- сливные воды из раковин, находящихся в помещениях блока радионуклидного обеспечения и во вспомогательных помещениях блока “активных” палат, но не из самих “активных” палат;
- сливные и сточные воды из санпропускника с туалетом для персонала;
- сливные воды из раковин, установленных в следующих помещениях блока “активных” палат: перевязочная-смотровая, буфетная-пищеблок, моечная посуды для больных, кабинеты радиометрии и сцинтиграфии, рентгенооперационная (кабинет интервенционной радиологии), пункт радиационного контроля для больных, а также санпропускник для больных.

Все среднеактивные и низкоактивные жидкие РАО в отделениях РНД, в соответствии с нормативными документами МУ 2.6.1.1892–04 и СанПиН 2.6.1.2368–08, через дренажные трубы допускается сбрасывать непосредственно в хозяйственно-бытовую канализацию. Низкоактивные жидкие РАО в отделениях РНТ также должны удаляться через хозяйственно-бытовую канализацию. Напротив, среднеактивные жидкие РАО из “активных” палат должны собираться в накопительных баках выдержки на станции спецочистки жидких РАО, где после соответствующей выдержки и соответствующего разбавления нерадиоактивной водой удаляются в хозяйственно-бытовую канализацию под дозиметрическим контролем.

В подразделениях ядерной медицины одним из важных элементов системы обеспечения РБ является радиационный контроль уровней облучения персонала. Он должен включать:

- индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала гамма-квантами и бета-частицами от различных радионуклидных источников;
- индивидуальный радиометрический контроль уровней инкорпорации радионуклидов у всех лиц из персонала, отнесенных к категории А;
- измерения уровней радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, одежды и кожных покровов работающих;
- измерения мощности поглощенной дозы фотонного излучения на рабочих местах персонала;
- измерения объемной активности радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений (только при проведении ингаляционной сцинтиграфии);
- радиометрический и дозиметрический контроль твердых РАО;
- радиометрический контроль загрязненной радиоактивностью спецодежды и сменной обуви персонала подразделений РНД и РНТ;
- радиометрический контроль больничной одежды и обуви больных при их выписке из отделения РНТ, а также полотенец и постельного белья из “активных” палат перед их сдачей в спецпрачечную;
- радиометрический контроль состава и активности сбрасываемых в хозяйственно-бытовую канализацию вод со станции спецочистки жидких РАО.

Конкретные места, состав, объемы и периодичность оперативного радиационного контроля должны быть установлены службой радиационной безопасности данного медицинского учреждения по согласованию с региональными органами Роспотребнадзора.

Конкретные значения уровней профессионального облучения персонала подразделений ядерной медицины варьируют в очень широких пределах в зависимости от целого ряда факторов и обстоятельств – эффективная доза составляет от 0,5 мЗв/год для врачей-радиологов до 6,0 мЗв/год для процедурных медсестер, занятых подготовкой и введением РФП пациентам.

Рентгенодиагностика и интервенционная радиология

Для обеспечения РБ персонала подразделений рентгенодиагностики и интервенционной радиологии (рентгенохирургии) также необходим целый комплекс мер. При его планировании и осуществлении необходимо учитывать радиационно-физическую специфику профессионального облучения источниками рентгеновского излучения. Формирование доз облучения персонала обусловлено

следующими радиационно-физическими факторами:

- 1) Первичный пучок рентгеновского излучения, падающий из рентгеновской трубки на исследуемый участок поверхности тела пациента; данная компонента облучения по интенсивности является основной при интервенционных процедурах, причем наибольшие локальные дозы получают кисти рук рентгенолога и (или) рентгенохирурга.
- 2) Рентгеновское излучение, рассеянное в теле пациента и в элементах конструкции рентгеновского аппарата (когерентное и комптоновское рассеяние фотонов); данная вторичная компонента по сравнению с первичной характеризуется существенно меньшей интенсивностью, но гораздо более высокой разнонаправленностью распространения рентгеновских фотонов; поэтому она является фактически основным источником общего, а не локального облучения всех участвующих в проведении рентгеноскопии или интервенционной процедуры.
- 3) Излучение утечки рентгеновской трубки (афокальное); реальный вклад от этой компоненты пренебрежимо мал благодаря рациональной конструкции современных рентгеновских аппаратов и рентгеновских трубок.

Расчетные методы определения доз профессионального облучения используются только в научных исследованиях по обеспечению РБ, тогда как в клинической практике рентгенодиагностики и интервенционной радиологии они не применяются вообще. Ни аналитическое моделирование, ни метод Монте-Карло не могут обеспечить необходимой точности вычисляемых индивидуальных дозовых оценок вследствие принципиальных трудностей правильного учета всех дозообразующих факторов и сложной геометрии профессионального облучения, которая, к тому же, меняется во времени, особенно при интервенционных процедурах.

Эти обстоятельства обуславливают использование средств и технологий индивидуальной дозиметрии в качестве основного метода контроля доз облучения персонала. Полнее всего необходимым требованиям по точности дозиметрии и удобству эксплуатации отвечают миниатюрные термoluminesцентные дозиметры, закрепляемые на туловище (грудь и нижняя часть живота) под индивидуальными средствами защиты (фартуки и передники из просвинцованной резины). Реже дозиметры размещают на голове для контроля облучения хрусталика глаза и на кистях рук для оценки уровня радиационного воздействия на кожу. Для этой цели могут быть использованы также и фотопленочные дозиметры.

Основной проблемой дозиметрии профессионального облучения пока остается переход от показаний индивидуальных дозиметров, регистрирующих локальные дозы в немногих точках поверхности тела, к эффективной дозе, характеризующей облучение всего тела. Из-за пространственной и временной вариативности поля облучения коэффициент перехода не может быть постоянным. Предлагаются различные алгоритмы подобного пересчета, но они слишком сложны для применения в реальной клинической практике. Обычно ради простоты для дозиметра на туловище под защитным фартуком этот коэффициент принимают равным 1, однако это приводит к завышению вычисляемой эффективной дозы на 30–50 %.

В настоящее время прослеживаются две тенденции в формировании профессионального облучения персонала рентгенологических подразделений:

- разработка и внедрение средств и технологий дистанционного управления исследованиями практически сводят к нулю уровень облучения при рентгенографии и КТ, а также позволяют резко снизить лучевую нагрузку на рентгенолога при рентгеноскопии;
- постоянное развитие новых технологий интервенционных процедур, проводимых под рентгенологическим контролем, и расширение круга клинических показаний к их применению приводят к возрастанию уровня профессионального облучения персонала не только категории А (рентгенологи и рентгенохирурги), но и категории Б (анестезиологи, кардиологи, травматологи и т.д.).

Обе эти тенденции действуют разнонаправлено, из-за чего коллективные дозы облучения персонала рентгенодиагностических подразделений не уменьшаются со временем. При этом обособляются две группы персонала: участвующие в интервенционных процедурах, где лучевые нагрузки сопоставимы с пределами дозы, и не участвующие, для которых дозы профессионального облучения близки к нулевым. Конкретные значения лучевой нагрузки в единицах эффективной дозы за год на рентгенологов при рентгенографии варьируют от нескольких сотых до нескольких десятых долей мЗв, при рентгеноскопии – от нескольких десятых долей мЗв до 1–2 мЗв, а при интервенционных процедурах под рентгенологическим контролем – от 3 до 25 мЗв/год. Если по эффективной дозе установленный в НРБ-99 норматив для интервенционных радиологов практически не превышает, то для хрусталика глаза и кожи этой группы персонала реальные дозы облучения сравнимы и даже несколько превышают соответствующие нормативы. Поэтому необходимы дополнительные меры радиационной защиты этих органов.

Исходя из общих соображений, можно утверждать, что чем выше лучевая нагрузка на пациента, тем больше уровень профессионального облучения персонала. Существуют многочисленные предложения оценивать этот уровень на основе измеренной для данной рентгенологической процедуры корреляции между произведением “доза×площадь” для пациента и эффективной дозой облучения рентгенолога. Такое предложение выглядит достаточно заманчиво, т.к. по одному и тому же показанию дозиметра в единицах сГр×см² типа ДРК-1 можно одновременно определять лучевую нагрузку как на пациента, так и на персонал. Однако остается нерешенным вопрос о степени выраженности указанной корреляции: одни авторы находят ее статистически достоверной, а другие – нет.

Снижение уровней оправданного и особенно неоправданного профессионального облучения персонала подразделений рентгенодиагностики должно быть обеспечено посредством выполнения следующих мероприятий:

- использование рентгенодиагностических аппаратов и компьютерных томографов, специально предназначенных для выполнения процедур цифровой рентгенографии и рентгеноскопии, а также аппаратов для проведения и контроля интервенционных процедур со свободным доступом к телу пациента;
- выбор оптимальных параметров и режимов рентгенологических исследований: это относится не только к параметрам рентгеновского излучателя, но и к выбору продолжительности рентгеноскопии и к количеству рентгенографических съемок;
- регулярное выполнение программ гарантии качества аппаратуры, в том числе по контролю радиационного выхода рентгеновского излучателя;
- регулярный радиационный контроль, в том числе проведение индивидуальной дозиметрии всех участвующих во всех рентгенологических процедурах, а также контроль мощности дозы на каждом рабочем месте;
- сертификация персонала, регулярная его переподготовка и повышение квалификации, а также регулярное проведение инструктажа по обеспечению РБ пациентов и персонала, в том числе и непосредственно на рабочих местах.

Однако перечисленные меры носят общий характер, и их выполнение требует в основном организационных усилий. В то же время необходимы технологические мероприятия, позволяющие снизить уровень профессионального облучения на основе оптимизации собственно технологий рентгенографии, рентгеноскопии и интервенционных процедур. К ним относятся:

- минимизация размеров поля облучения на коже пациента путем оптимального диафрагмирования пучка рентгеновских фотонов; тем самым снижаются размеры зоны прямого воздействия первичного пучка на кисти рук рентгенолога, а также уменьшается интенсивность рассеянного излучения, выходящего из тела пациента во всех направлениях;
- максимально возможная замена рентгеноскопии на рентгенографию, но без потери диагностической информации;
- максимально возможное снижение продолжительности рентгеноскопии, но не в ущерб качеству и информативности получаемых изображений; нужно помнить, что лучевая нагрузка на рентгенолога практически прямо пропорциональна этой продолжительности;
- выполнение при рентгеноскопии твердых копий рентгеновских изображений с телевизионного экрана или компьютерного монитора вместо прицельной рентгенографии;
- выполнение всех технологических операций, не требующих рентгеновизуального контроля, при выключенном высоком напряжении на аноде рентгеновской трубки; например, подведение кистей рук к исследуемому участку тела надо выполнять до включения излучателя;
- максимально возможное удаление рук и туловища рентгенолога от зоны первичного пучка и от всего тела пациента; такое удаление особенно эффективно при сильно диафрагмированном поле облучения, например, при работе на компьютерном томографе; члены операционной бригады, которые не должны находиться в непосредственной близости к больному, должны оставаться настолько далеко от стола, насколько это возможно без потери качества работы;
- грамотное и регулярное использование средств радиационной защиты, в том числе стационарных (стены и защитные окна рентгеновских кабинетов), передвижных (защитные ширмы и экраны) и индивидуальных (специальные накидки, фартуки, передники, воротники, перчатки, очки и т.п.); индивидуальные средства защиты особенно эффективны, т.к. практически полностью подавляют выходящее из тела пациента рассеянное излучение.

В соответствии с СанПиН 2.6.1.1192–03 “Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований”, рентгенолаборант не может обслуживать два и более одновременно работающих рентгеновских аппарата, даже если их пульта управления находятся в

одном кабинете. Разрешается нахождение персонала в процедурной за защитной ширмой при работе: рентгенофлюорографического аппарата с защитной кабиной; рентгенодиагностического аппарата с универсальным поворотным столом-штативом при наличии защитных средств на экраноснимочном устройстве: костного денситометра, маммографа и рентгеностоматологического аппарата.

Обеспечение радиационной безопасности населения и окружающей среды

В соответствии с НРБ-99, для населения установлен предел по эффективной дозе в 1 мЗв/год. При этом отмечено, что в эту дозу техногенного облучения не входит вклад от медицинских радиологических процедур. Это означает, что для каждого индивидуума из населения не следует учитывать ту лучевую нагрузку, которую данное лицо получило при прохождении собственных рентгенорадиологических исследований или при выполнении собственной лучевой терапии. Однако это отнюдь не означает, что не нужно учитывать те дозы облучения, которые получает данный индивидуум от медицинского облучения других лиц из населения. Эти дозы техногенного облучения принципиально отличаются от доз собственного медицинского облучения тем, что они не приносят непосредственной пользы для здоровья данного индивидуума, и поэтому должны быть ограничены.

Что касается рентгенологических исследований и лучевой терапии, то технологии этих радиологических процедур при штатном выполнении принципиально исключают какую-либо возможность получения отдельными лицами из населения (и, тем более, всего населения в целом) даже небольших доз облучения, сопутствующего любому рентгенодиагностическому исследованию или радиационно-терапевтическому воздействию на других лиц из населения. Аналогичная ситуация имеет место и для возможности какого-либо радиационного воздействия подобных процедур на окружающую среду.

Существует только два исключения из этого положения. Первое относится к тем случаям, когда лица, не относящиеся к персоналу данного медицинского учреждения, оказывают помощь в поддержке некоторых пациентов (тяжелобольных и детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур в подразделении рентгенодиагностики данного учреждения. Для таких лиц в НРБ-99 установлен норматив допустимого облучения (не предел дозы!), равный 5 мЗв/год.

Второе исключение составляют рентгенодиагностические исследования, проводимые в палатах или операционных с помощью переносных или передвижных рентгеновских аппаратов. При этом следует направлять пучок излучения в ту сторону, где находится наименьшее число людей. Одновременно требуется удалять людей на возможно большее расстояние от рентгеновского аппарата и ограничивать время их пребывания вблизи этого аппарата. При необходимости следует применять передвижные (защитные экраны и защитные ширмы) и индивидуальные (защитные фартуки, передники, перчатки) средства радиационной защиты.

Обратная ситуация имеет место в ядерной медицине. После введения в организм диагностической или терапевтической активности РФП пациент сам становится источником наружного и внутреннего (вследствие выведения радионуклидов из его организма и последующего загрязнения окружающей среды) облучения отдельных лиц из населения. В эту группу входят, прежде всего, родственники, в том числе дети, и лица, которые осуществляют уход за таким больным в домашних условиях. Сюда же относятся коллеги по работе, пассажиры общественного транспорта, которым пользуется больной, и другие лица, находящиеся в регулярном или эпизодическом контакте с ним.

В НРБ-96 были установлены некоторые ограничения для облучения отдельных лиц из населения от пациентов, которым были введены диагностические активности РФП, однако из НРБ-99 эти ограничения были исключены. Это означает, что при любых сценариях облучения этих лиц от пациентов с введенными диагностическими РФП заведомо не будет превышен установленный в НРБ-99 для населения предел эффективной дозы 1 мЗв/год и что РБ таких лиц будет полностью обеспечена.

Как уже было отмечено в части 2 настоящей работы, для использования *терапевтических* РФП в НРБ-99 введено ограничение, в соответствии с которым мощность эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от тела пациента при его выходе из радиологического отделения (после РНТ или брахитерапии имплантированными радионуклидными источниками) не должна превышать 3 мкЗв/час. При этом норматив 5 мЗв/год, установленный в НРБ-99 для лиц, оказывающих помощь при проведении рентгенорадиологических процедур, можно по праву применить и к родственникам, и к другим лицам, ухаживающим за больным после курса РНТ или брахитерапии (но не к детям, для которых должен действовать предел дозы 1 мЗв/год!).

РБ отдельных лиц из населения, эпизодически или регулярно контактирующих с пациентами, ко-

торым введены терапевтические РФП, обеспечивается:

- запретом посещения больных, находящихся в “активных” палатах, родственниками и другими посторонними лицами;
- обязательным проведением дозиметрического контроля уровня внешнего облучения от тела пациента с введенным РФП при выходе из радиологического отделения как после завершения пребывания в “активных” палатах с их обязательной санобработкой при выписке из стационара, так и при амбулаторном режиме лечения, а также после проведения курса брахитерапии с имплантацией закрытых радионуклидных источников излучения;
- тщательным и неукоснительным выполнением всех тех инструкций и рекомендаций по контактам с другими лицами, которые врач-радиолог дает самому пациенту при выписке из радиологического отделения или после введения терапевтического РФП в амбулаторном режиме лечения;
- максимально возможным снижением продолжительности контактов и увеличением расстояния между больным и родственниками, особенно детьми, после курса радионуклидной терапии или брахитерапии;
- регулярным проведением санитарно-гигиенических мероприятий по снижению уровней радиоактивного загрязнения предметов сантехники, посуды, одежды, белья, вещей общего пользования (например, пультов дистанционного управления бытовыми электроприборами) и других предметов при уходе в домашних условиях за больным после выписки из отделения РНТ или при лечении в амбулаторном режиме;
- временным прерыванием грудного вскармливания младенца матерью, в организм которой введен диагностический и (или) терапевтический РФП; продолжительность прерывания устанавливается врачом-радиологом;
- временным воздержанием от воспроизводства потомства пациентом, в организм которого введен терапевтический РФП; продолжительность воздержания устанавливается врачом-радиологом.

В международном и отечественном законодательстве полным умолчанием обходится вопрос о допустимости попадания в окружающую среду радионуклидов, используемых как метки диагностических и терапевтических РФП. Как известно, подавляющее большинство всех радионуклидных диагностических исследований проводится в амбулаторном режиме. Поэтому наибольшая часть введенных пациентам РФП попадает в окружающую среду через обычную хозяйственно-бытовую канализацию, когда в прин-

ципе нельзя полностью проконтролировать состав и активность удаляемых таким образом жидких радиоактивных отходов. И хотя в НРБ-99 для некоторых диагностических и всех терапевтических радионуклидов установлены так называемые уровни вмешательства по среднегодовой активности в питьевой воде, такое умолчание, очевидно, означает, что сброс радиоактивности в окружающую среду от больных, проходящих РНД или РНТ в амбулаторном режиме, не приводит к нарушению норм РБ для окружающей среды.

Следуя той же логике, в методических указаниях МУ 2.6.1.1892–04 уже разрешен прямой сброс любых жидких РАО непосредственно в хозяйственно-бытовую канализацию для всех подразделений РНД без какой-либо предварительной очистки или разведения, в том числе и из туалетов для больных. Это разрешение относится как ко всем *диагностическим* РФП, так и к тем *терапевтическим* РФП, которые официально допускается использовать в амбулаторном режиме, например к ^{89}Sr .

Однако для РФП, не предназначенных к амбулаторному использованию, сброс в хозяйственно-бытовую канализацию допустим только после соответствующей очистки и разбавления до тех минимально значимых уровней удельной активности радионуклидов в жидких РАО, которые приведены в санитарных правилах СП 2.6.6.1168–02 “Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО–2002)”. Именно поэтому при проектировании новых и реконструкции действующих радиологических корпусов с подразделениями РНТ необходимо предусматривать создание и оснащение станций спецочистки жидких РАО, поступающих по спецканализации из “активных” палат.

До настоящего времени такая ситуация казалась неизбежной. Однако сравнительно недавно были опубликованы официальные рекомендации МКРЗ (Публикация 94) и МАГАТЭ (Публикация 1207). В них допускается прямой сброс жидких РАО из подразделений РНТ в хозяйственно-бытовую канализацию без какой-либо предварительной очистки и (или) выдержки на распад. В рекомендациях подчеркивается, что благодаря сильнейшему разбавлению сбрасываемых РАО в коммуникациях и коллекторах городской канализации концентрация поступающей на городские станции аэрации радиоактивности вполне соответствует принятым ограничениям МКРЗ. Мало того, при радиационном мониторинге очищенных вод и остающегося шлама оказалось, что персонал станций аэрации получает дополнительное облучение не более 10 мкЗв/год при уровне естественного радиационного фона около 2000 мкЗв/год (измерения прово-

дились в Лондоне). При дополнительной гамма-спектрометрии было установлено, что это ничтожное дополнительное облучение в основном обусловлено не ^{131}I , который является основным радионуклидом для всех подразделений РНТ, а $^{99\text{m}}\text{Tc}$, который обусловлен сбросом в канализацию экскретов от большого количества пациентов, накануне прошедших радионуклидные диагностические исследования в амбулаторном режиме.

В этих рекомендациях МКРЗ и МАГАТЭ отказ от систем очистки медицинских РАО жестко не навязывается. Там указывается, что данный вопрос должен решаться в соответствии с национальным законодательством каждой страны. Но при этом указывается, что строительство и эксплуатация станций очистки жидких РАО в медицинских учреждениях экономически очень невыгодны, а реального выигрыша в обеспечении РБ населения и окружающей среды они практически не дают, приводя, кроме того, к неоправданному профессиональному облучению персонала при работе на подсобных станциях.

В связи с появлением этих рекомендаций МКРЗ и МАГАТЭ во многих странах Европы начали выводить из эксплуатации ранее построенные станции очистки жидких РАО при медицинских учреждениях, где функционируют подразделения РНТ, в частности, в Великобритании. Большинство фирм-изготовителей оборудования для таких станций также уже свернули производство ввиду его экономической убыточности.

Вполне очевидно, что и у нас в России необходимо применять эти рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ при строительстве новых центров РНТ, особенно с учетом чрезвычайно высокой стоимости современных станций спецочистки жидких РАО. Однако для этого сначала нужно провести предварительную работу по внесению необходимых изменений и официальному утверждению соответствующих разделов в НРБ-99, ОСПОРБ-99, СПОРО-2002 и в других отечественных нормативных документах.

Поступила 06.05.2009