

ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕДИЦИНЕ

Сообщение 4.

Рентгенодиагностика и интервенционная радиология

Наркевич Б. Я.

ГУ Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН, Москва

Институт медицинской физики и инженерии, Москва

Проектировочное и организационное обеспечение радиационной безопасности (РБ) при рентгенодиагностике и интервенционной радиологии

Точно так же, как в лучевой терапии и ядерной медицине, проектирование, строительство, изготовление оборудования и средств радиационной защиты рентгеновских аппаратов и кабинетов осуществляется лицензированными организациями при участии медицинского физика из учреждения-заказчика.

Рентгеновские кабинеты целесообразно размещать централизованно, в составе рентгеновского отделения, между стационаром и поликлиникой. Отдельно размещают, при необходимости, флюорографические кабинеты приемных отделений больниц и поликлинических отделений. Отделение не должно быть проходным. Входы в рентгеновское отделение для пациентов стационара и поликлинического отделения выполняются отдельно. Не допускается размещать рентгеновские кабинеты под помещениями, откуда возможно протекание воды через потолочное перекрытие (бассей-

ны, душевые, санпропускники, туалеты) Не допускается размещение рентгеновских кабинетов смежными с палатами для беременных и детей.

Состав и площади помещений рентгеновских кабинетов достаточно сильно зависят от вида и назначения проводимых исследований, а также от размеров и типов установленных в них рентгеновских аппаратов. Все необходимые данные для проектирования этих помещений представлены в СанПиН 2.6.1.1192–03 и не могут быть здесь воспроизведены из-за их большого объема. Там же приведены требования по размещению самого рентгеновского аппарата и сопутствующего оборудования внутри кабинета. При монтаже рентгеновских аппаратов и компьютерных томографов зарубежного производства необходимо учитывать рекомендации фирмы-изготовителя аппаратуры, но не входя в противоречие с требованиями НРБ-99, ОСПОРБ-99 и указанного СанПиНа. Толщина защитных стен, потолочных перекрытий и пола рассчитывается лицензированной организацией по методике, изложенной в том же СанПиНе.

Пол кабинета и пультовой выполняется из натуральных или искусственных электроизоляционных материалов, сертифицированных соответствующим образом. В рентгенооперационной, предоперационной и в фотолаборатории полы должны быть антистатичными и безискровыми, для чего необходимо заземление основания антистатичного линолеума. Материал покрытия должен быть также водонепроницаемым, легко очищаемым и допускающим частое мытье и дезинфекцию. Поверхности стен и потолка должны быть гладкими, но без световых бликов, легко очищаемыми и допускать влажную уборку.

Размещение рентгеновского аппарата производится таким образом, чтобы первичный пучок излучения был направлен в сторону капитальной стены, толщина которой рассчитывается при проектировании. Не следует направлять прямой пучок излучения в сторону смотрового окна пультовой или в сторону защитной ширмы в том же кабинете. При размещении рентгеновского кабинета на первом или цокольном этаже окна процедурной экранируются защитными ставнями на высоту не менее 2 м от отместки здания. То же самое необходимо и при размещении на более высоких этажах, если только соседнее здание находится на расстоянии менее 30 м от окон. Перед входом в рентгеновский кабинет необходимо поместить световое табло «Не входить!» бело-красного цвета, которое автоматически загорается при включении анодного напряжения на рентгеновской трубке. Допускается нанесение на световой сигнал знака радиационной опасности.

Пульт управления рентгеновского аппарата, как правило, располагается в пультовой, кроме передвижных, па-

латных, хирургических, флюорографических, дентальных аппаратов, маммографов и аппаратов для остеоденситометрии. В пультовой допускается установка второго рентгенотелевизионного монитора, автоматизированное рабочее место рентгенолога и рентгенолаборанта.

При размещении в кабинете более одного рентгенодиагностического аппарата должно быть предусмотрено устройство блокировки одновременного включения двух и более аппаратов. Для контроля состояния пациента предусматривается смотровое окно и переговорное устройство громкоговорящей связи. Для наблюдения за пациентом допустимо использовать телевизионные и другие видеосистемы.

Управление передвижными, палатными, рентгенохирургическими, флюорографическими, дентальными, маммографическими аппаратами осуществляется непосредственно в том помещении, где проводится рентгенологическое исследование, с помощью выносного пульта управления на расстоянии не менее 2,5 м от рентгеновского излучателя, аппаратов для остеоденситометрии — не менее 1,5 м.

Фотолаборатория может состоять из единственного помещения — «темной комнаты». При оснащении фотолаборатории проявочным автоматом следует предусматривать дополнительную «светлую» комнату для сортировки, маркировки и обрезки сухих снимков. Двери из фотолаборатории, рентгеновского кабинета и пультовой должны из соображений пожарной безопасности открываться на «выход» (по ходу эвакуации), а из пультовой в кабинет — в сторону собственно рентгеновского кабинета.

В новых радиологических корпусах вентиляция рентгеновских кабинетов общего назначения должна быть автономной приточно-вытяжной. В действующих отделениях допускается неавтономная общеобменная приточно-вытяжная вентиляция, за исключением отделений компьютерной томографии и рентгенологических отделений инфекционных больниц. Разрешается оборудование рентгеновских кабинетов кондиционерами воздуха.

После окончания рабочего дня отключается рентгеновский аппарат, все электроприборы, настольные лампы, электроосвещение, вентиляция, проводится влажная уборка пола и стен, а также дезинфекция элементов и принадлежностей рентгеновского аппарата, находившихся в контакте с разными частями тела пациентов. Ежемесячно проводится влажная уборка с использованием 1 % – 2 %-ного раствора уксусной кислоты. Не допускается проведение влажной уборки рентгеновского кабинета и пульта непосредственно перед началом и во время рентгенологических исследований.

Средства защиты, поставляемые в виде готовых изделий (защитные двери, защитные смотровые окна, защитные ширмы, ставни, жалюзи и т.п.) должны обеспечивать уровень радиационной защиты, одинаковый с таковым для стационарных средств защиты (стены, перекрытия, перегородки и т.д.). Стационарные средства защиты должны иметь защитную эффективность не ниже 0,25 мм по свинцовому эквиваленту. При проектировании стационарной защиты рентгеновского кабинета в зависимости от конструктивных особенностей и технологии использования конкретного аппарата должны быть выделены участки,

для которых расчет защиты проводится на ослабление пучка рентгеновского излучения. Остальная площадь радиационной защиты должна обеспечивать ослабление только рассеянного излучения. Для остеоденситометров, маммографов, флюорографов с защитной кабиной расчет стационарной защиты проводится только от рассеянного излучения.

Рентгеновские кабинеты любого назначения должны быть снабжены обязательными наборами передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, которые указаны в СанПиН 2.6.1.1192-03 и которые регулярно контролируются аккредитованной организацией не реже одного раза в два года.

Все сказанное относится и кабинетам интервенционной радиологии, в которых выполняются различные инвазивные процедуры под рентгеновским контролем (рентгенохирургические процедуры).

Однако в ведущих зарубежных клиниках, особенно онкологического и кардиологического профиля, всё большее распространение получают гораздо более сложные интервенционно-радиологические процедуры, связанные с прицельным введением в организм пациента различных радиофармпрепаратов или закрытых радионуклидных источников под рентгеновским, ультразвуковым, магнитно-резонансным, эндоскопическим и т.п. контролем. При этом резко усложняются и ужесточаются требования по обеспечению РБ в кабинетах, где проводятся подобные процедуры. В России пока такие интервенционно-радиологические процедуры не проводятся, но, тем не менее, уже разработан проект СанПиНа «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении интервенционно-

радиологических процедур», который в настоящее время находится в стадии официального утверждения. Поэтому анализ проектировочного и организационного обеспечения РБ при интервенционно-радиологических процедурах целесообразно проводить только выхода в свет этого нормативного документа.

Обеспечение радиационной безопасности пациентов

Применительно к рентгенодиагностике и интервенционным процедурам, выполняемым под рентгенологическим контролем, принцип обоснованности означает:

- приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов медицинской визуализации;
- проведение рентгенодиагностических исследований строго по клиническим показаниям;
- выбор наиболее щадящих методик и технологий рентгенодиагностических исследований;
- риск отказа от рентгенодиагностического исследования должен заведомо превышать риск от облучения пациента при его проведении.

Принцип оптимизации при проведении рентгенологических исследований осуществляется посредством:

- поддержания доз облучения пациентов на таких низких уровнях, какие возможно достичь при обеспечении получения достоверной диагностической информации в виде выявления патологического процесса, оценки степени его тяжести и распространённости в организме больного;
- проектирования, эксплуатации и поддержания средств и технологий

рентгенодиагностических исследований на уровне, обеспечивающем настолько низкие дозы облучения пациентов, насколько это разумно достижимо с учетом экономических и социальных факторов.

Как и в радионуклидной диагностике, принцип нормирования применительно к рентгенодиагностике непосредственно не используется, но в каждом рентгенодиагностическом подразделении могут быть установлены контрольные уровни (но не пределы доз!) допустимого облучения пациентов.

Направление пациента на рентгенологические процедуры осуществляет лечащий врач по обоснованным клиническим показаниям. Окончательное решение о целесообразности, объеме и технологии процедуры принимает врач-рентгенолог, и именно он несет основную ответственность за свое решение, как одну из основных мер обеспечения РБ пациента при данном виде медицинского облучения.

При необоснованных направлениях на рентгенологические исследования (отсутствие предварительного диагноза, возможность проведения нерадиационного исследования аналогичного назначения и т. д.) врач-рентгенолог должен отказать пациенту в проведении рентгенологического исследования, предварительно проинформировав об этом лечащего врача и зафиксировав свой отказ в истории болезни (амбулаторной карте).

По требованию пациента ему должна быть предоставлена полная информация об ожидаемой или уже полученной им дозе облучения и об ее возможных последствиях.

Последнее особенно важно при проведении различных интервенционных

процедур под рентгенологическим контролем, когда вполне возможно возникновение ясно выраженных радиационных поражений кожи облучаемого участка тела. Пациент имеет право отказаться от медицинских рентгенологических процедур, за исключением профилактических исследований с целью выявления опасных в эпидемиологическом отношении заболеваний, например, туберкулеза.

При всех видах рентгенологических исследований размеры поля облучения должны быть минимальными, продолжительность проведения процедуры – возможно более короткой, но не в ущерб качеству исследования.

Важно обеспечить оптимальное позиционирование пациента на рентгенодиагностическом аппарате, использовать аппараты с максимально возможной чувствительностью системы детектирования рентгеновских изображений, а также заменять режим рентгеноскопии режимом рентгенографии, насколько это возможно без потери диагностической информации.

Геометрия облучения и режимы работы рентгенодиагностической аппаратуры должны быть оптимальными для каждой технологии рентгенодиагностических исследований.

При этом в каждом конкретном случае требуется выбирать индивидуальное кожно-фокусное расстояние, материал и толщину дополнительного фильтра на рентгеновской трубке, напряжение на ней и величину экспозиции в зависимости от чувствительности системы детектирования рентгеновского излучения и толщины исследуемого участка тела пациента.

Необходимо экранировать область таза, гонад, щитовидной железы, глаз,

особенно у лиц репродуктивного возраста. У детей ранних возрастов должно быть обеспечено экранирование всего тела за пределами исследуемого участка тела.

Врач-рентгенолог регистрирует значение индивидуальной эффективной дозы облучения в специальном листке учета лучевых нагрузок при проведении рентгенорадиологических процедур, копии которого вклеиваются в историю болезни, амбулаторную карту и в эпикриз, передаваемый пациентом в поликлинику по месту жительства. С целью предотвращения необоснованного повторного облучения пациента на всех этапах его медицинского обслуживания, в том числе и в других лечебно-профилактических учреждениях, необходимо учитывать результаты ранее проведенных рентгенологических исследований и дозы, полученные при этом в течение года.

Повторные исследования проводятся только при изменении течения болезни или появлении нового заболевания, а также при необходимости получения расширенной информации о состоянии здоровья пациента и уточнения диагноза. В настоящее время лучевая нагрузка на пациента в подразделениях рентгенодиагностики медицинских учреждений России определяется с помощью специализированного отечественного дозиметра рентгеновского излучения ДРК-1 или ДРК-1М (изготовитель ООО НПП «Доза», www.doza.ru). Его проходная ионизационная камера устанавливается непосредственно на диафрагме рентгеновского излучателя, а показания дозиметра регистрируются в виде произведения дозы на площадь облучаемого участка тела в единицах $\text{сГр} \times \text{см}^2$. Если рентгенодиагностический аппарат

не оборудован измерителем произведения дозы на площадь, определение эффективной дозы облучения пациента проводят с использованием значений радиационного выхода рентгеновского излучателя, регулярно измеряемого в рамках программ гарантии качества рентгенодиагностики.

Исходная информация для расчета индивидуальной эффективной дозы облучения пациента должна включать:

1. характеристики, определяющие радиационно-физические параметры поля рентгеновского излучения во время проведения рентгенологической процедуры:
 - значение анодного напряжения на рентгеновской трубке, кВп;
 - толщину и материал дополнительного фильтра (обычно используется дополнительный фильтр толщиной 2 мм Al);
 - значение произведения дозы на площадь, сГр×см²;
 - значение экспозиции (количества электричества), мА×с;
2. характеристики, определяющие геометрические параметры поля рентгеновского излучения:
 - анатомическая область исследования (легкие, таз, череп и т.п.);
 - проекция (передне-задняя, задне-передняя, боковая);
 - размеры поля облучения (высота и ширина поперечного сечения пучка излучения на поверхности детектора), см²;
 - фокусное расстояние (расстояние от фокуса рентгеновской трубки до детектора излучения), см;
3. сведения о пациенте:
 - возраст пациента (0 – 0,5 года; 0,5 – 3 года; 3 – 8 лет; 8 – 13 лет; 13 – 19 лет; старше 19 лет).

Все эти параметры являются исходной информацией для расчета индивидуальных эффективных доз облучения с использованием компьютерной программы EDEREX (НИИ радиационной гигиены, С.-Петербург).

Эта программа позволяет в режиме реального времени рассчитать средние значения доз в 22 органах и тканях тела человека и соответствующую эффективную дозу облучения.

Однако эта программа не всегда доступна как для медицинских учреждений, особенно поликлинического уровня, так и для органов Роспотребнадзора, вследствие плохой технической оснащённости и отсутствия квалифицированных медицинских физиков.

Поэтому значение эффективной дозы E облучения пациента данного возраста можно определить по приближенной формуле:

$$E = F \times K_d,$$

где F — измеренная величина произведения дозы на площадь, сГр×см²; K_d — коэффициент перехода к эффективной дозе облучения пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля облучения, фокусного расстояния, экспозиции и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/(сГр×см²). Исчерпывающие таблицы коэффициентов K_d приведены в методических указаниях МУК 2.6.1.1797 — 03 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях».

Взятые из них типовые значения эффективных доз и коэффициентов пересчета для взрослых пациентов приведены в таблицах 1 и 2.

**Значения коэффициентов перехода к эффективной дозе
для рентгенодиагностических процедур различных органов и систем**

Таблица 1.

Область исследования	Тип процедуры	Проекция	Размер поля (а × б), см ²	Фокусное расстояние, см	Напряжение на трубке, кВ	Kd, мЗв/сГр × см ²
Легкие	Rg	ЗП	30 × 40	100	80 – 90	2,0
Легкие	Rg	ЗП	30 × 40	150	80 – 90	1,9
Легкие	Rg	Б	30 × 40	150	90 – 100	1,5
Легкие	Rg	ЗП	30 × 30	60	80	2,1
Легкие + УРИ	Rg	ЗП	30 × 30	60	60	1,4
Флюорография легких	Rg	ЗП	35 × 35	100	80	1,8
Череп	Rg	ПЗ	24 × 30	100	60 – 70	0,71
Череп	Rg	Б	24 × 30	100	60 – 70	0,30
Шейный отдел позвоночника	Rg	ЗП	18 × 24	80	70 – 80	0,54
Шейный отдел позвоночника	Rg	Б	18 × 24	80	70 – 80	1,3
Грудной отдел позвоночника	Rg	ПЗ	24 × 30	100	80	2,2
Грудной отдел позвоночника	Rg	ПЗ	15 × 40	100	80	1,4
Грудной отдел позвоночника	Rg	Б	24 × 30	100	80	1,3
Грудной отдел позвоночника	Rg	Б	15 × 40	100	80	1,4
Поясничный отдел позвоночника	Rg	ПЗ	24 × 30	100	80	2,5
Поясничный отдел позвоночника	Rg	ПЗ	15 × 40	100	80	2,1
Поясничный отдел позвоночника	Rg	Б	24 × 30	100	90	1,0
Поясничный отдел позвоночника	Rg	Б	15 × 40	100	90	1,1

Область исследования	Тип процедуры	Проекция	Размер поля (а x б), см ²	Фокусное расстояние, см	Напряжение на трубке, кВ	Kd, мЗв/сГр x см ²
Плечо, ключица	Rg	ПЗ	24 x 18	100	70 – 80	0,9
Ребра, грудина	Rg	ПЗ	30 x 40	100	80	2,5
Ребра, грудина	Rg	ПЗ	24 x 30	100	80	2,4
Таз, крестец	Rg	ПЗ	40 x 30	100	80 – 90	2,0
Таз, крестец	Rg	Б	30 x 24	100	90 – 100	1,3
Тазобедренные суставы	Rg	ПЗ	24 x 30	100	70 – 90	3,1
Бедро	Rg	ПЗ	15 x 40	100	70 – 80	0,54
Пищевод	Rg	ЗП	20 x 35	60	90 – 100	2,1
Пищевод + УРИ	Rg	ЗП	20 x 35	60	60 – 70	1,4
Желудок	Rg	ЗП	24 x 30	60	90 – 100	1,9
Желудок + УРИ	Rg	ЗП	24 x 30	60	80	1,6
Желудок	Rg	ЗП	18 x 24	100	70 – 80	1,6
Желудок	Rg	Б	18 x 24	100	70 – 80	1,4
Кишечник	Rg	ЗП	30 x 30	60	90 – 100	2,2
Кишечник	Rg	ЗП	30 x 40	100	90 – 100	2,0
Кишечник	Rg	Б	30 x 40	100	100	1,3
Холецистография	Rg	ЗП	18 x 24	100	90	1,3
Холецистография	Rg	ЗП	24 x 30	100	90 – 100	1,6
Урография	Rg	ЗП	40 x 30	100	80 – 90	1,4
Цистография	Rg	ЗП	30 x 40	100	70 – 80	1,5

**Средние значения эффективных доз для наиболее распространенных
рентгенодиагностических исследований с типичными значениями напряжения
на рентгеновской трубке и экспозиции,
установленными на основе экспертных оценок**

Таблица 2.

Область исследования	Метод исследования	Проекция	Напряжение на трубке, кВ	Экспозиция, мАс	Эффективная доза, мкЗв
Легкие	Rg	ЗП	80	25	150
Легкие	Rg		90	60	370
Легкие	Rs	ЗП	77	60	1800
Легкие	Rs + УРИ	ЗП	63	32	400
Легкие	Rs	ЗП	80	60	800
Череп	Rg	ПЗ	70	100	230
Череп	Rg	Б	70	100	100
Шейный отдел позвоночника	Rg	ЗП	70	80	140
Шейный отдел позвоночника	Rg	Б	70	80	310
Грудной отдел позвоночника	Rg	ПЗ	75	80	690
Грудной отдел позвоночника	Rg	Б	80	80	470
Поясничный отдел позвоночника	Rg	ПЗ	80	170	1900
Поясничный отдел позвоночника	Rg	Б	90	250	1400
Плечо, ключица	Rg	ПЗ	70	60	100
Ребра, грудина	Rg	ПЗ	75	80	780
Таз, крестец	Rg	ПЗ	80	150	2200
Таз, крестец	Rg	Б	90	220	1600
Тазобедренные суставы	Rg	ПЗ	75	120	1500
Бедро	Rg	ПЗ	70	75	110
Пищевод	Rs	ЗП	90	60	2000

Примечания к таблицам 1 и 2:

1. Rg – рентгенография, Rs – рентгеноскопия, УРИ – усилитель рентгеновского изображения.
2. ПЗ – передне-задняя проекция, ЗП – задне-передняя проекция, Б – боковая проекция (в этом случае приведено усредненное значение эффективной дозы из двух её значений, рассчитанных для облучения справа и слева).
3. а60 – ширина поля, b – высота поля.
4. Значения дозовых коэффициентов приведены для дополнительного фильтра 2 мм Al.

Как уже отмечалось в сообщении о радионуклидной диагностике, пределы доз облучения пациентов при рентгенодиагностике также не устанавливаются. Однако в соответствии с НРБ-99 при проведении профилактических рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц установлен норматив, составляющий 1 мЗв/год. Кроме того, при достижении накопленной дозы диагностического облучения 500 мЗв за все годы жизни пациента должны быть приняты меры по дальнейшему ограничению его облучения, если только лучевые процедуры не обусловлены жизненными показаниями.

При рентгеновской компьютерной томографии лучевые нагрузки на пациента существенно выше, чем при обычной рентгенографии. Они варьируют в широких пределах: входная кожная доза изменяется от 3 до 15 мГр, тогда как эффективная доза – от 0,2 до 6,0 мЗв в зависимости от возраста и размеров тела пациента, геометрии облучения, режимов работы аппаратуры и т.д.

Аналогичная ситуация имеет место и при разнообразных интервенционных процедурах, проводимых под рентгенологическим контролем. Здесь входная кожная доза в зависимости от типа процедуры, продолжительности рентгеноскопии, квалификации и опыта оперирующего рентгенохирурга и других факторов варьирует от 0,5 до 10 Гр, а эффективная доза – от 1 до 40 мЗв. Такие значения эффективной дозы, как и для КТ, клинически вполне приемлемы, т.к. они обеспечивают заведомое отсутствие любых радиационно-индуцированных поражений тех органов и систем, которые находятся вне поля прямого облучения. Однако

того же нельзя сказать о локальных поверхностных входных дозах облучения непосредственно в пучке рентгеновских фотонов таких радиочувствительных органов, как кожа и хрусталик глаза. В частности, известно, что доза 2 Гр вызывает эритему кожи и катаракту хрусталика, 7 Гр – перманентную эпиляцию, 10 Гр – сухую десквамацию кожи, 12 Гр – практически незаживающие лучевые язвы кожи. Поэтому при подобных интервенционных процедурах необходимо применять специфические меры по радиационной защите кожи и хрусталика, известные в лучевой терапии.

Обеспечение радиационной безопасности персонала

Как и для пациентов, для обеспечения РБ персонала подразделений рентгенодиагностики и интервенционной радиологии (рентгенохирургии) необходим целый комплекс мер.

Формирование доз облучения персонала обусловлено следующими радиационно-физическими факторами:

1. первичный пучок рентгеновского излучения, попадающий 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.

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.

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 термолюминесцентные дозиметры, закрепляемые на туловище (грудь и нижняя часть живота) под индивидуальными средствами защиты (фартуки и передники из просвинцованной резины). Реже дозиметры разме-

щают на голове для контроля облучения хрусталика глаза и на кистях рук для оценки уровня радиационного воздействия на кожу. Для той же 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 вариабельности поля облучения коэффициент перехода не может быть постоянным. Предлагаются различные алгоритмы подобного пересчета, но из-за своей сложности их трудно применять 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.

Отсюда следует необходимость применения дополнительных мер радиационной защиты этих органов.

Исходя из общих соображений, можно утверждать, что чем выше лучевая нагрузка на пациента, тем больше уровень профессионального облучения персонала. Поэтому существуют многочисленные предложения оценивать

этот уровень на основе измеренной для данной рентгенологической процедуры корреляционной зависимости 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 эту корреляционную зависимость 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 мероприятия, позволяющие снизить уровень профессионального облучения на основе оптимизации собственно технологий проведения 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 изобра-

жений; нужно помнить, что лучевая нагрузка на рентгенолога практически прямо пропорциональна этой продолжительности;

- выполнение при рентгеноскопии с УРИ 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; те 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 в плане практически полного подавления выходящего из тела пациента рассеянного излучения.

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, в том числе и при расположении их пультов управления 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 сообщении 2 (для ядерной медицины) уже были рассмотрены вопросы обеспечения РБ населения и окружающей среды. 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.

Здесь существуют только три исключения из этого положения. Первое из них

относится к радиационным авариям на гамма-терапевтических аппаратах, когда возможно неконтролируемое перемещение мощного источника гамма-излучения вне его защитной камеры и даже вне каньона (например, в результате потери при демонтаже или вследствие террористического акта). Такая ситуация может привести к недопустимому облучению неконтролируемого круга лиц из населения, в том числе и детей. Из международной практики известны ситуации, когда в результате халатности персонала при перезарядке и транспортировке терапевтических источников гамма-излучения происходила их потеря, после чего их случайно обнаруживали люди, не имеющие никакого понятия о смертельной опасности своей находки. В ряде таких случаев зафиксированы тяжелые локальные и общие радиационные поражения, которые иногда приводили к гибели облученных лиц.

Второе исключение 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.

Третье 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. В случае необходимости необходимо применять передвижные (защитные экраны и защитные ширмы) и индивидуальные (защитные фартуки, передники, перчатки) средства радиационной защиты.

Профилактика и устранение последствий радиационных аварий

В соответствии с основным документом по РБ в рентгенологии — СанПиН 2.6.1.1192–03 — к нештатным (аварийным) ситуациям в рентгеновских кабинетах относят:

- повреждение радиационной защиты аппарата или кабинета;
- неоправданно избыточное облучение персонала или пациентов;
- короткое замыкание и обрыв в системах электропитания рентгеновского аппарата;
- замыкание электрической цепи через тело человека;
- механическая поломка элементов рентгеновского аппарата; поломка коммуникационных систем водоснабжения, канализации, отопления и вентиляции;
- аварийное состояние стен, пола и потолка в рентгеновском кабинете;
- пожар или задымление.

Строго говоря, к настоящей радиационной аварии здесь можно отнести только второй пункт из этого перечня, т.е. избыточное облучение персонала и пациентов, не приводящее к улучшению точности и информативности получаемых рентгеновских изображений. Однако при этом не уточняется, какую именно дополнительную дозу рентгеновского излучения следует считать избыточным облучением пациента или лиц из пер-

сонала. Очевидно, подобная ситуация может возникнуть только при очень сильном отклонении режимов работы рентгеновской трубки от оптимальных или при чрезмерной продолжительности рентгеноскопии, особенно при выполнении интервенционных процедур. На рентгеновских аппаратах, оснащенных дозиметром типа ДРК-1 с проходной ионизационной камерой, подобная ситуация всегда будет под контролем, поскольку такой дозиметр позволит легко определить дозу аварийного облучения пациента. Уровни аварийного облучения лиц из персонала могут быть проконтролированы по показаниям индивидуальных термолюминесцентных дозиметров. Далее по результатам дозиметрического контроля следует предпринять соответствующие медицинские меры по предотвращению возникновения локальных радиационных поражений.

Если же отклонения от оптимальных параметров и режимов рентгенологического исследования невелики, то такое избыточное облучение нельзя считать аварийным. По классификации, приведенной выше для ядерной медицины, данную ситуацию следует отнести не к радиационным авариям, а к нарушениям радиационной технологии (нештатным ситуациям первого типа), не имеющим никаких медицинских последствий для здоровья пострадавших.

Следуя той же классификации, все остальные пункты приведенного перечня следует трактовать как нештатные ситуации второго типа, которые при своевременном обнаружении в принципе не могут привести к избыточному облучению пациентов и персонала. Меры по их профилактике и ликвидации последствий вполне очевидны и здесь не рассматриваются.

Список нормативной документации по обеспечению радиационной безопасности в медицине

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 09.01.96.
2. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.99.
3. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.95 № 170-ФЗ.
4. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 27.04.93 № 4871-1.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758 – 99.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799 – 99.
7. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СП 2.6.6.1168 – 02.
8. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.1192 – 03.
9. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов. МУ 2.6.1.1892 – 04.
10. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при лучевой терапии закрытыми радионуклидными источниками. МУ 2.6.1. 2135 – 06.
11. Оценка, учет и контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований. МУ 2.6.1.1798 – 03.
12. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. МУК 2.6.1. 1797 – 03.
13. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений. МУ 2.6.1.2118 – 06.
14. Организация надзора за обеспечением радиационной безопасности и проведение радиационного контроля в подразделении радионуклидной диагностики. МУ 2.6.1.
15. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. СанПиН 2.6.2368. – 07.
16. О дальнейшем развитии рентгенохирургических методов диагностики и лечения. Приказ Министерства здравоохранения РФ № 198 от 22.06.98.
17. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281 – 03.
18. Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров. СанПиН 2.1.3.1375 – 03.
19. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. Госатомнадзор РФ. НП-020 – 2000.
20. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. Госатомнадзор РФ. НП-019 – 2000.
21. Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников. Госатомнадзор РФ. НП-038 – 02.
22. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. Ростехнадзор. НП-053 – 04.

23. Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации. Ростехнадзор. НП-067 – 05.
24. Радиационная защита при профессиональном облучении. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № RS-G-1.1, 1999.
25. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № RS-G-1.5, 2004.
26. Радиационная защита при использовании источников внешнего ионизирующего излучения в медицине. Публикация 33 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
27. Радиационная защита пациента при рентгенодиагностике. Публикация 34 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
28. Общие принципы радиационного контроля облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений. Публикация 35 МКРЗ — М.: Энергоатомиздат, 1985.
29. Защита больного в лучевой терапии. Публикация 44 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
30. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 12.0.004 – 90.
31. Правила расследования и учета нарушений при обращении с радиационными источниками и радиоактивными веществами, применяемыми в народном хозяйстве. Госатомнадзор РФ. НП-014-2000.
32. Applying of Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine. Safety Reports Series No. 40. IAEA, Vienna, 2005.
33. Applying of Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays. Safety Reports Series No. 39. IAEA, Vienna, 2006.
34. Applying of Radiation Safety Standards in Radiotherapy. Safety Reports Series No. 38. IAEA, Vienna, 2006.
35. Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities. Safety Reports Series No. 47. IAEA, Vienna, 2006.
36. Radiological Protection Issues in Endovascular Use of Radiation Sources. IAEA-TECDOC-1488. IAEA, Vienna, 2006.
37. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radionuclide Sources. IAEA, Vienna, 2003.
38. Design and Implementation of a Radiotherapy Program: Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects. IAEA TECDOC-1040, IAEA, Vienna, 1998.
39. IAEA Training Material on Radiation Protection in Nuclear Medicine. RPNM Part 8, Radiation Protection in Radionuclide Therapy, 2003.
40. ICRP Publication 53. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Annals of the ICRP. Vol. 18, No. 1 – 4, 1987.
41. ICRP Publication 73. Protection and Safety in Medicine. Annals of the ICRP. Vol. 26, No. 2, 1996.
42. ICRP Publication 80. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Addendum to ICRP 53. Annals of the ICRP. Vol. 28, No. 3, 1998.
43. ICRU Report 57. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. ICRU, 1998.
44. Radiation Protection 97. Radiation Protection Following Iodine-131 Therapy. Eur. Commission, 1998.
45. Release of Nuclear Medicine Patients after Therapy with Unsealed Sources. ICRP Publication 94. Annals of ICRP, 2004, Vol. 34, No.2, P 1–80.