

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКЕ И ИНТЕРВЕНЦИОННОЙ РАДИОЛОГИИ

Б.Я. Наркевич – д.т.н., профессор, зам. директора^{1, 2}

Б.И. Долгушин – член-корр. РАМН, зам. директора по науч.
работе, зав. отделом луч. диагностики РХМДЛ¹

¹ ГУ Российский онкологический научный центр
им. Н.Н. Блохина РАМН, Россия, Москва

² Институт медицинской физики и инженерии, Россия, Москва

Введение

К одной из актуальных проблем в радиационной гигиене относится обеспечение радиационной безопасности пациентов и персонала при рентгенологических исследованиях. Это обусловлено как значительным повышением частоты проведения подобных исследований, особенно рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) и интервенционных процедур под рентгенологическим контролем, так и обострением внимания широкой общественности к проблеме обеспечения радиационной безопасности населения в целом от любых источников облучения.

В России данная ситуация усугубляется практически полной неграмотностью подавляющего большинства людей по данной проблеме, а также наличием постчернобыльского синдрома радиофобии. К сожалению, к этому большинству следует отнести многих рентгенологов, рентгенохирургов и тем более врачей других специальностей.

В связи с этим необходимо рассмотреть наиболее важные положения и требования к обеспечению радиационной защиты пациентов и персонала в рентгенодиагностике и интервенционной радиологии. Представлен список действующих в настоящее время отечественных и международных нормативных документов по обеспечению радиационной безопасности в рентгенологии.

Дозиметрические основы радиационной безопасности

Рентгеновские трубки современных аппаратов и томографов испускают поток ионизирующих фотонов, которые взаимодействуют с веществом, в том числе и с биологическими тканями.

Энергетический спектр рентгеновского излучения имеет вид непрерывной колоколообразной кривой. Правая граница спектра соответствует максимальной энергии фотонов, величина которой совпадает со значением напряжения (в килоэлектровольтах – кэВ) на рентгеновской трубке (обычно 100–150 кэВ, при маммографии – 25–30 кэВ), а положение левой границы определяется материалом и толщиной установленного на трубке рентгеновского фильтра (обычно 10–20 кэВ). При напряжении на трубке выше 90–100 кВп (киловольт в пике выпрямленного напряжения) на непрерывном спектре возникают узкие пики характеристического излучения вольфрама, из которого обычно изготавливают анод трубки.

Рентгеновские фотоны указанного диапазона энергий активно взаимодействуют с атомами тех химических элементов, из которых состоит облучаемый объект, в том числе и биологические ткани.

Такое взаимодействие происходит посредством трех фундаментальных физических эффектов:

- когерентное рассеяние с изменением направления распространения излучения без изменения своей энергии;
- некогерентное рассеяние фотонов с изменением направления и с потерей части своей первоначальной энергии (комpton-эффект);
- фотоэлектрическое поглощение фотонов.

В результате второго и третьего из этих процессов происходит поглощение энергии рентгеновского излучения, что приводит к возникновению в биологических тканях различных радиационно-индуцированных эффектов. Основная физическая мера такого радиационного воздействия – *доза излучения*. В радиационной гигиене, а также в медицинской радиологии и рентгенологии обычно пользуются такими ее показателями:

1. Поглощенная доза. Это отношение поглощенной в облучаемом веществе энергии излучения к массе этого вещества. В международной системе физических единиц СИ единица поглощенной дозы – *грей* (Гр). При этом $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. В медицине эти показатели чаще всего используют для планирования, проведения лучевой терапии больных и ее контроля.

2. Экспозиционная доза. Это специфическая величина в дозиметрии, введенная только для определения дозы фотонного излучения в воздухе. Она представляет собой отношение суммарного электрического заряда ионов в облученном объеме воздуха к массе воздуха в этом объеме. На практике чаще всего употребляют внесистемную единицу – *рентген* (Р). При этом $1 \text{ Р} = 2,08 \times 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха. Этот показатель характеризует только параметры радиационного поля от данного источника излучения в воздухе.

Мощность экспозиционной дозы от естественного радиационного фона – 5–25 мкР/ч. Единица в системе СИ (теперь ее принято называть *воздушной кермой*) – *кулон на кг* (Кл/кг). При этом $1 \text{ Кл/кг} = 3880 \text{ Р}$. При соблюдении некоторых условий воздушную керму можно измерять и в греях.

Современные дозиметрические приборы в рентгенодиагностике обычно используются для измерений мощности входной поверх-

ностной дозы на входе пучка излучения в тело пациента в единицах воздушной кермы.

3. Эквивалентная доза. Это произведение поглощенной дозы и коэффициента качества излучения (для фотонов и электронов, в том числе и для рентгеновского излучения, он равен 1). По международной системе физических единиц СИ она измеряется в *зивертах* (Зв). Для рентгеновского излучения $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр}$. Этим показателем обычно пользуются для оценки уровней профессионального (персонала) и диагностического (пациентов) облучения при радиорентгенологических процедурах.

Сейчас в зивертах рассчитывают или измеряют на фантомах дозы в отдельных органах. Этот показатель необходим для оценки биологического эффекта воздействия тех видов ионизирующих излучений, для которых коэффициент качества больше 1 (нейтроны, протоны, альфа-частицы и др.).

4. Эффективная доза. Это основная дозиметрическая величина, по которой в соответствии с основным нормативным документом в области обеспечения радиационной безопасности (НРБ-99) должен проводиться радиационный контроль уровней профессионального облучения персонала и медицинского облучения пациентов. Это взвешенная сумма эквивалентных органных доз.

Тканевые весовые коэффициенты официально утверждены международными комиссиями – по радиологической защите и по радиационным величинам и единицам (МКРЗ и МКРЕ соответственно), а сама эффективная доза рекомендуется в качестве основной контролируемой величины в радиационной гигиене и в медицинской радиологии.

Значения этих коэффициентов были выбраны исходя из радиационных рисков возникновения злокачественных опухолей, генетических повреждений и сокращения продолжительности жизни.

Поскольку при определении такой взвешенной суммы учитывается степень радиобиологического воздействия на все без исключения жизненно важные органы, эффективная доза позволяет учесть его вред на организм человека в целом.

Ее второе основное достоинство – возможность суммирования лучевых нагрузок от исследований разного типа. Например, от ангиографии головного мозга до радио-

нуклидной сцинтиграфии костей скелета. Никакие другие дозы подобным свойством аддитивности не обладают. Она рассчитывается в *зивертах*.

Радиационная безопасность пациентов

Эта проблема носит комплексный характер, и вследствие большой сложности ее до сих пор нельзя считать исчерпывающе решенной.

Нужно выделить такие аспекты:

- формирование лучевой нагрузки;
- измерения и расчеты доз облучения;
- радиационная защита и рекомендации по снижению лучевой нагрузки;
- нормирование лучевой нагрузки.

Специфическая особенность рентгенодиагностики, в том числе и интервенционных процедур под рентгенологическим контролем, – факторы, прямо или косвенно влияющие на уровень облучения.

К ним относятся:

- 1) радиационный выход рентгеновского излучателя, который зависит от напряжения и тока рентгеновской трубки, а также материала и конструкции ее анода;
- 2) толщина и материал собственного фильтра трубки и дополнительного фильтра, устанавливаемого на ее выходном окне;
- 3) геометрия облучения, в том числе расстояние фокус – поверхность, форма и размеры поля облучения на поверхности тела, расходимость пучка, угол его падения на нее и т. п.;
- 4) продолжительность облучения, особенно в режиме рентгеноскопии;
- 5) антропометрические параметры тела, особенно толщина его облучаемого участка и композиция биологических тканей на нем;
- 6) материал и конструкционные параметры средств индивидуальной радиационной защиты пациента, если таковые применяются для снижения лучевой нагрузки.

Специфика интервенционных процедур по сравнению с обычными рентгенодиагностическими исследованиями – резкое возрастание продолжительности облучения больного в режимах рентгеноскопии и рентгенографии, поэтому этот дозообразующий фактор становится доминирующим по сравнению со всеми остальными.

Существуют три подхода к определению доз облучения пациентов:

- дозиметрия *in vivo*,
- фантомные измерения,
- расчетное оценивание.

При измерениях доз непосредственно на теле пациента чаще всего применяют приборы, позволяющие определить уровень облучения по величине произведения входной поверхностной поглощенной дозы и площади облучаемого участка кожи (*dose area product – DAP*) в единицах $\text{Гр} \times \text{см}^2$.

Все современные рентгенодиагностические аппараты и компьютерные томографы должны быть снабжены встроенной в радиационную головку аппарата проходной ионизационной камерой, соединенной с компьютеризированным устройством для автоматического вычисления значения *DAP* в каждом конкретном исследовании.

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), позволяющего определить значение *DAP* для всех рентгеновских исследований.

Реже определяют входную кожную дозу (*ESD*) в единицах воздушной кермы, а для оценки неоднородностей поля облучения используют закрепляемые на коже миниатюрные термолюминесцентные дозиметры и/или фотопленку низкой чувствительности. В фантомных экспериментах применяют те же средства измерений, причем дозиметры размещают не только на поверхности антропоморфного фантома, но и внутри него в различных точках.

До сих пор не удается превратить в рутинную процедуру переход от измеренного значения *DAP* к значению *E* не только в технологически сложной интервенционной радиологии, но и в обычной рентгенодиагностике. Основная причина этого – отсутствие измерителя *DAP* на большинстве эксплуатируемых в отечественных клиниках рентгеновских аппаратах.

До недавнего времени существовала и другая трудность, связанная с отсутствием унифицированной методики пересчета показаний дозиметров, выраженных в единицах *DAP* или *ESD*, к величине *E* в единицах мЗв. Теперь

такая методика разработана и описана в методических указаниях – МУК 2.6.1.1797–03 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях». В соответствии с этим документом значение E облучения пациента определенного возраста можно вычислить по приближенной формуле:

$$E = DAP \times K_d,$$

где DAP – измеренная величина произведения дозы на площадь ($\text{сГр} \times \text{см}^2$); K_d – коэффициент перехода к эффективной дозе облучения пациента определенного возраста (d) с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля облучения, фокусного расстояния, экспозиции и анодного напряжения на рентгеновской трубке ($\text{мкЗв}/(\text{сГр} \times \text{см}^2)$). Таблицы коэффициентов K_d приведены в методических указаниях.

Сейчас натурные фантомные измерения все чаще заменяют расчетными исследованиями лучевых нагрузок. Для этого по результатам рентгеновской компьютерной (РКТ) или магнитно-резонансной (МРТ) томографии реальных пациентов в норме с наиболее типичными антропометрическими параметрами формируют математическое описание распределения плотности тканей всего тела (математические или воксельные фантомы), для которых далее методом Монте-Карло вычисляют пространственное распределение поглощенной дозы в фантоме. Но подобный подход может быть использован только в научных исследованиях по радиационной безопасности и не годится для практической дозиметрии в клинических условиях.

Что касается реальных значений эффективной дозы облучения пациентов в конкретных рентгенодиагностических исследованиях, вследствие большого количества и разнонаправленности влияния перечисленных выше факторов лучевая нагрузка варьирует в широких пределах – от десятков мкЗв до единиц мЗв . Для РКТ дозы несколько выше – от 2 до 10 мЗв , а для интервенционно-радиологических процедур под рентгеновским контролем – от 10 до 60 мЗв (указаны примерные значения).

Такие показатели эффективной дозы облучения вполне приемлемы с точки зрения радиационной гигиены, поскольку обеспечивают заведомое отсутствие детерминированных и стохастических радиационно-индуцирован-

ных поражений тех органов и систем, которые находятся вне поля прямого облучения.

К сожалению, того же нельзя сказать о локальных входных поверхностных дозах облучения непосредственно в пучке рентгеновских фотонов радиочувствительных органов – кожи и хрусталика глаза. Если при рутинных рентгенодиагностических и компьютерно-томографических исследованиях дозы облучения в любых органах, в том числе и на коже, заведомо ниже порога возникновения любых радиационно-индуцированных эффектов, то при интервенционных процедурах под рентгеновским контролем кожная доза варьирует от 0,6 до 6 Гр в зависимости от типа процедуры, продолжительности рентгеноскопии, квалификации и опыта рентгенохирурга и т. д.

Известно, в частности, что поглощенная доза однократного локального облучения, равная 2 Гр, вызывает эритему кожи и катаракту хрусталика глаза, 7 Гр – перманентную эпиляцию кожи, 10 Гр – сухую десквамацию и кожную атрофию, 12 Гр – задержанную кожную некролизацию. Все это наблюдается и при лучевой терапии, где существует комплекс мероприятий по их профилактике и снижению степени тяжести, однако большинство отечественных рентгенохирургов слабо информированы о возможных лучевых осложнениях у пациентов и о мерах по их предупреждению.

Практические рекомендации по снижению лучевой нагрузки на пациентов при рентгенодиагностике и интервенционной радиологии

Направление пациента на рентгенологические процедуры осуществляет лечащий врач по обоснованным клиническим показаниям. Окончательное решение о целесообразности, объеме и технологии процедуры принимает рентгенолог, и именно он несет ответственность за свое решение основных мер обеспечения радиационной безопасности больного при данном виде медицинского облучения. При необоснованных направлениях на рентгенологическое исследование (отсутствие предварительного диагноза, возможность проведения нерадиационного исследования аналогичного назначения и т. д.) специалист должен отказать пациенту в нем, предварительно проинформировав об этом лечащего врача и зафиксировав свой отказ в истории болезни (амбулаторной карте).

По требованию больного ему должна быть

предоставлена полная информация об ожидаемой или уже полученной им дозе облучения и о ее возможных последствиях. Последнее особенно важно при проведении различных интервенционных процедур под рентгеновским 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 процедур размеры поля облучения должны быть минимальными, продолжительность их проведения – возможно более короткой, но не в ущерб качеству исследования. Важно обеспечить оптимальное позиционирование больного на рентгенодиагностическом аппарате, использовать приборы с максимально возможной чувствительностью системы детектирования рентгеновских изображений, а также заменять рентгеноскопию рентгенографией, 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 любом 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 больных репродуктивного возраста. У малышей должно быть обеспечено экранирование всего тела за пределами исследуемого участка.

Врач-рентгенолог регистрирует значение индивидуальной эффективной дозы облучения пациента в специальном листке учета лучевых нагрузок при проведении рентгенорадиологических процедур, копии которого вклеиваются в историю болезни, амбулаторную карту и в эпикриз, передаваемый больным 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 процедуры проводят только при изменении течения болезни или появлении нового заболевания, а также при необходимости получения расширенной информации о состоянии здоровья больного и уточнения диагноза.

Как для конвенциональной рентгенодиагностики, так и для интервенционных процедур под рентгенологическим контролем должны выполняться такие технологические мероприятия:

- проведение рентгеноскопии только на установках с усилителями рентгеновских изображений или с цифровыми матричными детекторами рентгеновского излучения;
- получение сохраняемых копий изображений с экрана компьютерного монитора или телевизора вместо прицельной рентгенографии;
- использование аппаратов с максимально возможной чувствительностью детектора к рентгеновскому излучению;
- применение индивидуальных средств радиационной защиты (фигурные металлические экраны) для отдельных участков тела пациента, находящихся вне поля прямого облучения;
- ограничение поля облучения размерами исследуемого органа путем использования диафрагм и экранирующих блоков;
- оптимальное позиционирование больного, сводящее к минимуму облучение остальных участков тела;
- выбор оптимальных параметров аппаратуры, геометрии облучения и временных режимов рентгеноскопии и рентгенографии;
- регулярное выполнение программ гарантии качества рентгеновизуализации.

Для интервенционных процедур весьма эффективны и такие специфические мероприятия:

- выполнение рентгеноскопии в импульсном режиме с последующим компьютерным формированием последовательной серии цифровых изображений в режиме непрерывного кинопоказа;
- введение дополнительных рентгеновских фильтров (2–3 мм Cu) в пучок излучения с одновременным небольшим повышением

напряжения на трубке, приводящее к определенному ужесточению энергетического спектра фотонов и снижению поверхностной дозы.

В настоящее время нормирование лучевых нагрузок на больного решается в соответствии с основным регламентирующим документом в области радиационной безопасности (НРБ-99). В нем указано, что пределы доз облучения пациентов при рентгенорадиологических процедурах не устанавливаются. Требуется только обеспечить минимально возможный уровень, но при обязательном условии получения необходимой диагностической информации или терапевтического эффекта. При этом вводится единственное ограничение: если эффективная доза облучения больного, накопленная за год во всех рентгенорадиологических процедурах, превышает 500 мЗв, необходимо принять меры к снижению дальнейшего медицинского облучения пациента.

После продолжительных дискуссий в профильных международных организациях был положительно решен вопрос о необходимости установления контрольных (референсных) уровней облучения при рентгенодиагностике и интервенционных процедурах. В опубликованных стандартах и рекомендациях МКРЗ и МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергетике) такие уровни связывают как с типом и степенью сложности проводимой процедуры, так и с типом и тяжестью патологического процесса у пациента. При этом регламентируются продолжительность рентгеноскопии, полное количество рентгенограмм на процедуру и произведение доза \times площадь (DAP). Для отечественных рентгенологов и радиационных гигиенистов эти регламенты имеют чисто рекомендательный характер.

Основное значение референсных уровней в том, что заметное превышение реального значения DAP над ними означает, что в технологии рентгенодиагностической или интервенционной процедуры имеет место отклонение от общепризнанного протокола исследований и в рамках программы гарантии качества необходимо найти и устранить его причину.

Особую специфику имеют интервенционные процедуры, в ходе которых под рентгеновским или ультразвуковым контролем пациенту вводят терапевтический радиофармпрепарат или имплантируют миниатюрные закрытые радионуклидные источники. В таких ситуациях

требования к обеспечению радиационной безопасности больного и персонала резко возрастают и усложняются вследствие комбинированного воздействия разнотипных источников ионизирующих излучений.

Помимо уже перечисленных требований по радиационной защите пациента от рентгеновского излучения здесь приходится также выполнять установленные ранее аналогичные требования по защите от воздействия закрытых или открытых радионуклидных источников излучения.

Пока подобные интервенционные процедуры в отечественных клиниках практически не проводятся, за исключением имплантации гранульных источников ^{125}I под ультразвуковым или компьютерно-томографическим контролем для брахитерапии рака предстательной железы.

Нами уже подготовлен и в настоящее время находится в стадии официального утверждения проект санитарных правил и норм (СанПиН) по гигиеническим требованиям к обеспечению радиационной безопасности при интервенционно-радиологических процедурах, в том числе и с введением в организм радионуклидных источников.

Радиационная безопасность персонала

Для ее обеспечения необходим целый комплекс мер. Формирование доз облучения для него обусловлено такими радиационно-физическими факторами:

1. Первичный пучок рентгеновского излучения, попадающий из рентгеновской трубки на исследуемый участок поверхности тела пациента. Это основная по интенсивности компонента облучения при интервенционных процедурах, причем наибольшие локальные дозы получают кисти рук рентгенолога и (или) хирурга.

2. Рентгеновское излучение, рассеянное в теле пациента и в элементах конструкции рентгеновского аппарата. Это вторичная компонента по сравнению с первичной, характеризующаяся существенно меньшей интенсивностью, но гораздо более высокой разнонаправленностью распространения рентгеновских фотонов. Фактически же ее можно считать основным источником общего, а не локального облучения всех участвующих в проведении интервенционной процедуры.

3. Излучение утечки рентгеновской трубки (афокальное). Реальный вклад от этой компоненты пренебрежимо мал благодаря рациональной конструкции современных рентгеновских аппаратов.

Подавляющее большинство рентгенологов и тем более рентгенолаборантов имеют слабое представление о вкладах каждого из этих трех источников в общую дозу профессионального облучения. Особенно это относится к интервенционным процедурам под рентгеновским, в том числе и под компьютерно-томографическим контролем, когда рентгенохирург облучается в основном теми фотонами, которые претерпели рассеяние в теле пациента под углами, близкими к 90° по отношению к первичному пучку рентгеновского излучения аппарата. Поскольку рентгенохирург и другие члены операционной бригады практически не могут увеличивать расстояние между своим туловищем и телом пациента, основным средством от профессионального облучения здесь становятся специальные фартуки и другие индивидуальные средства радиационной защиты, без которых персонал не может быть допущен к проведению интервенционной процедуры.

Расчетные методы определения доз профессионального облучения используют только в научных исследованиях по обеспечению радиационной безопасности, тогда как в клинической практике интервенционной радиологии их не применяют. 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 размещают 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 и фотопленочные дозиметры.

Организация индивидуального дозиметрического контроля персонала рентгенологических подразделений – обязанность администрации учреждения, которая в соответствии с НРБ-99 должна сформировать самостоятельную службу радиационной безопасности. Если в клинике эксплуатируется немного генерирующих и радионуклидных источников излучения, вместо такой службы функции дозиметриста могут быть делегированы медицинскому физику или инженеру-эксплуатационнику, либо дозиметрическое сопровождение могут осуществлять сотрудники территориальных органов Роспотребнадзора или других лицензированных организаций на договорной основе.

Первостепенная проблема дозиметрии профессионального облучения – переход от показаний индивидуальных дозиметров, регистрирующих локальные дозы в немногих точках, к эффективной дозе, характеризующей облучение всего тела. Из-за пространственной и временной вариабельности поля облучения коэффициент перехода не может быть постоянным. Обычно ради простоты для дозиметра на туловище под защитным фартуком этот коэффициент принимают равным 1, что приводит к завышению показателя Е на 30–50%. Методически более правильно для решения этой проблемы воспользоваться расчетными формулами, приведенными в методических указаниях – МУ 2.6.1.2118–06 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений».

Можно утверждать, что чем выше лучевая нагрузка на пациента, тем больше уровень профессионального облучения персонала. Существуют многочисленные предложения оценивать его на основе измеренной для данной интервенционной процедуры корреляционной зависимости между произведением доза \times площадь для больного и эффективной дозой облучения рентгенолога.

Такое предложение выглядит достаточно заманчиво, поскольку по одному и тому же показанию DAP-дозиметра в единицах $\text{Гр} \times \text{см}^2$ можно одновременно определять лучевую нагрузку как на пациента, так и на персонал. Однако остается нерешенным вопрос о степени выраженности указанной корреля-

ции: одни авторы находят эту корреляционную зависимость статистически достоверной, другие – нет. Потому-то использование индивидуальных дозиметров для контроля уровней профессионального облучения остается безальтернативным.

В НРБ-99 установлены такие основные пределы доз профессионального облучения персонала, непосредственно работающего с источниками ионизирующего излучения (группа А):

- по эффективной дозе E – 20 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв/год;
- по эквивалентной дозе – 150 мЗв/год для хрусталика глаза и 500 мЗв/год для кожи.

Анализ многочисленных литературных данных показывает, что по показателю E установленный норматив для интервенционных рентгенологов не превышает, тогда как для хрусталика глаза и кожи реальные дозы облучения сравнимы и даже несколько превышают соответствующие нормативы.

В частности, значения E варьируют в очень широких пределах – от 0,5–1,0 мЗв/год до 10–15 мЗв/год (примерные значения диапазона) в зависимости от количества выполняемых интервенционных процедур, их типов, продолжительности и режимов рентгеноскопии и т. д., составляя в среднем приблизительно 30 мкЗв на одну процедуру. Благодаря развитию цифровой техники для рентгеновского контроля интервенционных процедур и средств индивидуальной защиты показатель E для рентгенохирурга удалось снизить в среднем с 1,2–2,0 Зв/год (дозиметр поверх защитного фартука) в 1988 году до 14 мЗв/год (дозиметр под фартуком) в 2006 году. Локальные эквивалентные дозы облучения также сильно варьируют: для хрусталика глаза – от 20–40 до 700–800 мЗв/год, а кистей рук – от 100–150 до 900–1200 мЗв/год. Значит, необходимо обязательное применение дополнительных мер радиационной защиты этих органов.

Как у нас в стране, так и за рубежом существует еще одна проблема профессионального облучения персонала. Дело в том, что указанные выше основные пределы дозы по НРБ-99 относятся лишь к группе А (только к рентгенологам и рентгенолаборантам). Однако в современных интервенционных процедурах, особенно сложных по хирургической технике, принимают участие и другие специалисты (хирурги, кардиологи, гастроэнтеро-

логи, анестезиологи и др.), которые формально относятся к группе Б персонала – к находящимся по условиям работы в сфере воздействия ионизирующего излучения, но непосредственно не работающим с источниками излучения.

Для группы Б в НРБ-99 установлены пределы дозы в 4 раза ниже, чем приведенные ранее нормативы для группы А. Естественно превышение реальных доз над нормативами для группы Б будет существеннее, хотя реальное радиационное воздействие на организм практически одинаково по сравнению с группой А. Очевидно, данная проблема может быть решена на основе официального включения указанных специалистов в группу А персонала, для чего необходимо внести нужные изменения в соответствующие нормативные документы.

Конкретные рекомендации по обеспечению радиационной безопасности персонала

Снижение уровней оправданного и особенно неоправданного профессионального облучения должно быть обеспечено посредством выполнения таких мероприятий:

- использование рентгенодиагностических аппаратов и компьютерных томографов, специально предназначенных для выполнения 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 индивидуальная дозиметрия всех участвующих в процедуре и находящихся в кабинете интервенционной радиологии, а также контроль мощности дозы на каждом рабочем месте;
- сертификация персонала, регулярные переподготовка и повышение его квалификации, а также систематическое проведение инструктажа по радиационной безопасности, 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 методики проведения интервенционной процедуры.

В них входят:

- минимизация размеров поля облучения на коже пациента путем оптимального диафрагмирования пучка рентгеновских фотонов. Этим 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 возможное снижение продолжительности рентгеноскопии, но не в ущерб качеству и информативности получаемых изображений. Ведь лучевая нагрузка на рентгенолога практически прямо пропорциональна этой продолжительности;
- 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. Это особенно эффективно при сильно диафрагмированном поле облучения (например, при работе на компьютерном томографе);
- членам операционной бригады, которые не должны находиться в непосредственной близости к больному, необходимо быть 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.

Список нормативных документов по обеспечению радиационной безопасности в рентгенологии

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 обеспечении единства измерений» № 4871-1 от 27.04.93.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99.
5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СП 2.6.1.799-99.
6. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.1192-03.
7. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгеноло-

гических исследованиях. МУК 2.6.1.1797-03.

8. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений. МУ 2.6.1.2118-06.
9. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. СанПиН 2.6.2368-07.
10. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении интервенционно-радиологических процедур. СанПиН 2.6.1-09 (в стадии утверждения).
11. О дальнейшем развитии рентгенохирургических методов диагностики и лечения. Приказ министра здравоохранения РФ № 198 от 22.06.98.
12. Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров. СанПиН 2.1.3.1375-03.
13. Радиационная защита при профессиональном облучении. Серия норм МАГАТЭ

14. по безопасности. № RS-G-1.1, 1999.
15. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. № RS-G-1.5, 2004.
16. Радиационная защита при использовании источников внешнего ионизирующего излучения в медицине. Публикация 33 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1985.
17. Радиационная защита пациента при рентгенодиагностике. Публикация 34 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1985.
18. Общие принципы радиационного контроля облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений. Публикация 35 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат. 1985.
19. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 12.0.004–90.
20. Applying of Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional. Procedures Using x Rays. Safety Reports Series № 39. IAEA. Vienna. 2006.
21. Radiological Protection Issues in Endovascular Use of Radiation Sources. TECDOC-1488. IAEA. Vienna. 2006.
22. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Report Series № 457. IAEA. 2007.
23. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radionuclide Sources. IAEA. Vienna. 2003.
24. ICRP Publication 73. Protection and Safety in Medicine. *Annals of the ICRP*. 1996; 2: 26.
25. ICRP Publication 85. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures. *Annals of the ICRP*. 2001; 2: 30.
26. ICRP Publication 105. Radiological Protection in Medicine. *Annals of the ICRP*. 2008; 6: 37.
27. ICRU Report 57. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. *ICRU*. 1998.
28. Radiation Protection 109. Guidance on Diagnostic Reference (DRLs) for Medical Exposures. *Eur. Commission*. 1999.
29. Radiation Protection 118. Referral Guidelines for Imaging. *Eur. Commission*. 2000. ■

Адрес для корреспонденции:

Долгушин Борис Иванович

Тел.: (495) 324-63-60

e-mail: dolgushinb@mail.ru



ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ

Л.С. Коков

М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008; 192 с.: ил.

ISBN 978-5-9704-0867-4

В атласе представлена ангиографическая структура разных отделов кровеносной системы и желчевыводящих путей, описаны самые современные методики цифровой субтракционной ангиографии. Включены разделы, посвященные доступам в сосудистое русло, ангиографическим исследованиям брахиоцефальных сосудов и мозговых артерий, коронарных артерий, брюшной аорты и висцеральных сосудов, флебографии, чрескожной чреспеченочной холангиографии в норме и при различных заболеваниях. Особое место уделено атеросклерозу, порокам сердца, тромбозам легочной артерии, артериовенозным дисплазиям. Пособие рекомендовано Учебно-методическим объединением по медицинскому и фармацевтическому образованию вузов России в качестве учебного пособия для системы послевузовского профессионального образования врачей.

Атлас предназначен рентгенохирургам, сердечно-сосудистым хирургам, рентгенологам, врачам широкого профиля, клиническим ординаторам, студентам медицинских вузов.