

Министерство здравоохранения Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»

Кафедра лучевой диагностики с курсом ФПКП

Авторы:

А.М. Юрковский, зав. кафедрой, д.м.н., доцент

М.А. Бойко, ассистент

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

для проведения практического занятия

по учебной дисциплине

Лучевая диагностика и лучевая терапия

для студентов 3 курса лечебного факультета, обучающихся по специальности для  
специальности 1-79 01 01 «Лечебное дело»

Тема: Лучевые поражения в лучевой терапии. Ограничение медицинского облучения.

Время: 4 часа

Утверждены на заседании кафедры лучевой диагностики с курсом ФПКП  
(протокол от № 1) 22.01.2024

**Учебная цель:**

- формирование у студентов профессиональных компетенций, необходимых для решения диагностических задач при возникновении поражений при проведении лучевой терапии;
- формирование у студентов знаний о лучевых поражениях в лучевой терапии;
- уметь проводить базовую сердечно-легочную реанимацию и иные реанимационные мероприятия в случае возникновения осложнений при применении контрастных веществ

**Воспитательная цель:**

- развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;
- научить соблюдать учебную и трудовую дисциплину, этико-деонтологические нормы и правила в диагностическом процессе;
- уметь применять основные модели взаимодействия врача и пациента;

**Задачи:**

1. Изучить лучевые поражения, которые могут возникнуть при проведении лучевой терапии;
2. Изучить принципы и методы ограничения медицинского облучения;
3. Изучить основные документы, регламентирующие работу с источником ионизирующего излучения.

**В результате проведения учебного занятия студент должен  
знать:**

- Проявление лучевых поражений при лучевой терапии;
- принципы диагностики и лечения лучевых поражений;
- основные документы, регламентирующие работу с источником ионизирующего излучения;
- принципы радиационной безопасности в лучевой терапии.

**уметь:**

- определять лучевые поражения в лучевой терапии;
- применять принципы радиационной безопасности в лучевой терапии;
- оказать первую помощь при острых побочных реакциях.

**владеть:**

- навыками в диагностики и лечения лучевых поражений;
- навыками использования основных документов, регламентирующих работу с

источником ионизирующего излучения;

- навыками оказания первой помощи при возникновении острых побочных реакций.

**Мотивация для усвоения темы:** рейтинговая система оценки знаний

### **МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ**

Комплекты рентгенограмм, электронные средства демонстрации иллюстративного материала (интерактивная доска, телевизор, проектор), ультразвуковые сканеры.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗ СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН**

«Медицинская и биологическая физика»:

- характеристика ионизирующих излучений,
- радиоактивность
- взаимодействие ионизирующего излучения с веществом
- дозиметрия ионизирующих излучений.

### **Контрольные вопросы**

- лучевые поражения.
- диагностика и лечение лучевых реакций
- диагностика и лечение повреждений при лучевой терапии
- принципы радиационной безопасности и их реализация в лучевой терапии
- принципы радиационной безопасности и их реализация в рентгеновской и радионуклидной диагностике.
- основные документы, которые регламентируют работу с источником ионизирующего излучение.

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ ЧАСТЬ**

### **ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Лучевая диагностика [Электронный ресурс]: учебник / [Г. Е. Труфанов и др.]

; под ред. Г. Е. Труфанова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 484 с. – Режим доступа: [https://www.studentlibrary.ru/book/ ISBN9785970462102.html](https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970462102.html). – Дата доступа: 02.06.2023.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

2. Атлас лучевой диагностики (травматология и ортопедия): пособие для студентов учреждений высш. образования, обучающихся по специальностям 1-79 01 01 "Лечеб. дело", 1-79 01 02 "Педиатрия", 1-79 01 04 "Медико-диагност. дело" / [В. В. Лашковский, И. П. Богданович, В. С. Аносов и др.] ; под ред. В. В. Лашковского. – 3-е изд. – Гродно : ГрГМУ, 2022. – 315 с : ил., цв. ил., табл. – Рек. УМО по высш. мед., фармацевт. образованию.

3. Илясова, Е. Б. Лучевая диагностика: учеб. пособие / Е. Б. Илясова, М. Л. Чехонацкая, В. Н. Приезжева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 432 с. – Режим доступа: [https://www.rosmedlib.ru/book/ ISBN9785970458778.html](https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970458778.html). – Дата доступа: 02.06.2023

4. Лучевая диагностика и лучевая терапия : учеб. пособие / А.И. Алешкевич [и др.]. – Минск : Новое знание, 2017. – 381 с. – Допущено М-вом образования Респ. Беларусь.

5. Терновой, С. К. Ультразвуковая диагностика [Электронный ресурс] / С. К. Терновой, Н. Ю. Маркина, М. В. Кислякова ; под ред. С. К. Тернового. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 240 с. – Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970456194.html>. – Дата доступа: 02.06.2023.

6. Трутень, В. П. Рентгенология: учеб. пособие / В. П. Трутень. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 336 с. – Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970460986.html>. – Дата доступа: 02.06.2023

## ЭЛЕКТРОННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ

7. Консультант студента. Электронная библиотека медицинского вуза. Расширенный пакет = Student consultant. Electronic library of medical high school. Extended package [Электронный ресурс] / Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», ООО «ИПУЗ». – Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru>. – Дата доступа: 03.04.2023. (Включает: «Электронную библиотеку медицинского ВУЗа»; ГЭОТАР-Медиа. Премиум комплект; Книги из комплекта «Консультант врача»).

## ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

### Осложнения лучевой терапии:

- лучевые реакции (местные и общие) — временные, обычно самостоятельно проходящие, функциональные изменения в окружающих опухоль здоровых тканях и органах, попавших в зону облучения;

- лучевые повреждения (местные и общие) — стойкие функциональные и структурные изменения в окружающих опухоль здоровых тканях и органах, попавших в зону облучения (ранние — в первые 3 мес. после облучения, поздние — после 3 мес.).

*Прим.: общие лучевые реакции — реакции всего организма на воздействия ионизирующих излучений (повышение температуры, нарушение функции желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой, кроветворной, эндокринной и нервной систем), местные лучевые реакции — реакции характеризующиеся развитием изменений непосредственно в зоне облучения.*

### Ранние лучевые осложнения

Орган/ткань	Степень			
	I	II	III	IV
Кожа	Очаговая слабо выраженная эритема, эпиляция, сухое шелушение, пониженная потливость	Яркая эритема, очаговое влажное шелушение, умеренный отек	Сливной влажный эпидермит	Некроз
Слизистая оболочка	Гиперемия, слабые боли	Серозно-геморрагический отек, умеренные боли	Выраженный серозно-геморрагический отек,	Изъязвление, некроз кровотечения
Слюнные железы	Небольшая сухость во рту, изменение вкуса металлический привкус	Выраженная сухость, густая слюна, заметные изменения вкуса	Отсутствие слюны, извращение вкуса	Острый некроз слюнных желез

### Поздние лучевые осложнения

Орган/ ткань	Степень			
	I	II	III	IV

Кожа	Пигментация, слабо выраженная атрофия, выпадение волос	Очаговая атрофия, телеангиоэктазии, гипертрофический дерматит	Выраженные телеангиоэктазии, атрофический или гипертрофический дерматит, занимающий все поле	Лучевая язва, лучевой рак
Подкожная ткань	Небольшое уплотнение	Умеренный смещаемый фиброз	Выраженный фиброз	Некроз
Слизистая оболочка	Незначительная атрофия	Умеренная атрофия, телеангиоэктазии, небольшое количество слизи	Выраженная атрофия, телеангиоэктазии	Изъязвление
Слюнные железы	Легкая сухость во рту, сохранение реакции на стимуляцию	Умеренная сухость во рту, слабая реакция на стимуляцию	Полная сухость во рту (нет реакции на стимуляцию)	Фиброз
Кости	Остеонекроз, бессимптомное течение	Остеорадионекроз с бессимптомным течением, задержка роста	Остеорадионекроз, остеомиелит с болевым синдромом	Патологический перелом
Суставы	Небольшая ригидность сустава с незначительным ограничением движений	Ускоренная ригидность с нарушением движений, слабые боли в суставе	Выраженная ригидность сустава с резким ограничением движений и болевым синдромом	Некроз, контрактура или анкилоз сустава

### **Принципы нормирования воздействия ионизирующих излучений при лучевой диагностике**

Для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения устанавливаются пределы доз, допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения и другие требования по ограничению облучения.

Нормы распространяются в том числе и в случае воздействия ионизирующего излучения на человека при медицинском облучении, и в результате радиационной аварии.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Систему радиационной безопасности определяют также современные

международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт.

В основе системы радиационной безопасности лежат следующие главные принципы:

- нормирования — не превышение допустимого предела индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

- обоснования — запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;

- оптимизации — поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Установлены следующие категории облучаемых лиц:

- 1) персонал (лица, работающие с техногенными источниками — группа А или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия — группа Б);

- 2) все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц предусмотрено 3 класса нормативов основного дозового предела.

Система радиационной защиты включает в себя комплекс различных мероприятий. Это прежде всего планировочно-конструктивные меры (выбор участка радиологического отделения, особенности внутренней планировки помещений, размещение специального оборудования, защитных устройств, защитных конструкций), затем индивидуальная защита персонала и текущий дозиметрический контроль работников, обстановки, окружающей среды.

Радиационная защита регламентируется законодательными материалами — нормативами, инструкциями по безопасности в радиологическом учреждении. Большое значение имеют предварительные и периодические медицинские осмотры персонала. Организационные мероприятия включают в себя строгий отбор кадров, повышение профессионального мастерства, точное соблюдение всех правил работы с радиоактивными веществами, высокую исполнительскую и трудовую дисциплину персонала.

Конкретная система защиты будет зависеть от типа источника и вида излучения.

В случае возникновения аварии должны быть приняты практические меры для восстановления контроля над источником излучения и сведения к минимуму доз облучения, количества облученных лиц, радиоактивного загрязнения окружающей среды, экономических и социальных потерь, вызванных радиоактивным загрязнением.

Ответственность за соблюдение настоящих норм устанавливается в соответствии с Законами Республики Беларусь «О санитарноэпидемиологическом благополучии населения», «О радиационной безопасности населения».

### **Международная система безопасности при медицинском облучении**

Оправданность практической деятельности при медицинском облучении

Оправданность практической деятельности при медицинском облучении должна рассматриваться так же, как и оправданность любой другой практической деятельности. Наибольшие польза и ущерб выпадают на долю лиц, подвергающихся диагностике или лечению, но следует учитывать все сопряженные с этим облучения, включая облучения персонала и населения и любые потенциальные облучения. Прежде всего, практическую деятельность следует понимать в широком смысле. Но каждая диагностическая процедура является предметом отдельного решения, так что существует возможность последовательно, шаг за шагом, оправдывать каждую процедуру. Этого не требуется для простых диагностических процедур, основанных на обычных показаниях, однако может оказаться важным при комплексных исследованиях. Руководящие указания приведены в публикациях МКРЗ.

### **Оптимизация защиты при медицинском облучении**

Поскольку большинство процедур с медицинскими облучениями вполне оправданны и обычно приносят непосредственную пользу облучаемому человеку, то при медицинском облучении уделяют меньше внимания оптимизации защиты, чем при большинстве других применений источников излучения. В результате имеется широкое поле деятельности для уменьшения доз в диагностической радиологии. Разработаны простые, дешевые меры для снижения доз без потери диагностической информации, но степень использования этих мер сильно различается. При сходных исследованиях дозы могут различаться на два порядка величины. Следует учитывать использование граничных доз или уровней исследования, выбранных соответствующим специалистом или регулирующим органом, для применения при некоторых обычных диагностических процедурах. Они должны использоваться с определенной гибкостью, допускающей более высокие дозы там, где на это имеются разумные клинические обоснования.

Ограничения при оптимизации защиты следует также рассматривать в тех случаях, когда процедура не должна представлять непосредственную ценность для облучаемого человека, что имеет место в научных или клинических исследованиях, включающих облучение добровольцев.

### **Пределы дозы при медицинском облучении**

Обычно подразумевают, что медицинские облучения приносят непосредственную пользу пациенту. Если это облучение оправдано и защита оптимизирована, то доза, которую получает пациент, будет настолько мала, насколько это согласуется с медицинскими целями. Любое дальнейшее использование пределов дозы может быть лишь в ущерб пациенту. Поэтому Комиссия рекомендует не применять пределы доз при медицинских облучениях.

### **Медицинское облучение беременных женщин**

Маловероятно, чтобы облучение эмбриона в течение первых трех недель после зачатия привело к детерминированным или стохастическим эффектам у новорожденного. Беременная пациентка должна знать или, по крайней мере, предполагать, что она беременна, так что необходимая информация о возможной беременности может и должна быть получена от нее самой. Если нет соответствующей информации, то следует считать женщину беременной.

В отсутствие весомых клинических показаний следует избегать диагностических процедур, которые требуют облучения живота женщин с вероятной беременностью.



## **Обеспечение радиационной безопасности при проведении рентгенологических исследований**

Следует отметить, что одним из эффективных направлений снижения доз облучения является использование в диагностических учреждениях цифровых технологий при получении изображения, так как такие методы снижают лучевую нагрузку при исследовании одних и тех же органов в 1,5–3 раза в сравнении с аналоговыми технологиями.

Обеспечение радиационной безопасности при проведении рентгенологических исследований включает:

- проведение комплекса мер технического, санитарногигиенического, медико-профилактического и организационного характера;
- осуществление мероприятий по соблюдению правил, норм и нормативов в области радиационной безопасности;
- информирование населения (пациентов) о дозовых нагрузках, возможных последствиях облучения, принимаемых мерах по обеспечению радиационной безопасности;
- обучение лиц, назначающих и выполняющих рентгенологические исследования, основам радиационной безопасности, методам и средствам обеспечения радиационной безопасности.

Регламентация дозовых нагрузок должна предусматривать практическую реализацию трех основополагающих принципов радиационной безопасности - нормирования, обоснования и оптимизации.

Принцип нормирования в системе обеспечения радиационной безопасности при проведении медицинских рентгенологических исследований реализуется установлением гигиенических нормативов (допустимых пределов доз) облучения для различных групп (категорий).

Группа А облучаемых лиц, или персонал (профессиональные работники) — лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений (ИИИ).

Группа Б облучаемых лиц, или ограниченная часть населения — лица, которые не работают непосредственно с ИИИ, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждении и (или) удаляемых во внешнюю среду. Уровень облучения лиц категории Б определяется по критической группе (небольшая по численности группа лиц категории Б, однородная по условиям жизни, возрасту, полу или другим факторам, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию в пределах учреждения, его санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения).

Группа В облучаемых лиц или население — население страны, республики. Также устанавливаются три группы критических органов:

- I группа — все тело, гонады и красный костный мозг;
- II группа — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к I и III группам;
- III группа — кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Принцип обоснования при проведении рентгенологических исследований реализуется с учетом следующих требований:

- приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов;
- проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям;
- выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований;
- риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Принцип обоснования при проведении рентгенотерапии реализуется с учетом следующих требований:

- использование метода только в случаях, когда ожидаемая эффективность лечения с учетом сохранения функций жизненно важных органов превосходит эффективность альтернативных (нерадиационных) методов;
- риск отказа от рентгенотерапии должен заведомо превышать риск от облучения при ее проведении.

Принцип обоснования при проведении рентгенологических исследований реализуется с учетом следующих требований:

- приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов;
- проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям;
- выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований;
- риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Принцип оптимизации или ограничения уровней облучения при проведении рентгенологических исследований осуществляется путем поддержания доз облучения на таких низких уровнях, какие возможно достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества диагностической информации или терапевтического эффекта. Принцип оптимизации или ограничения уровней облучения при проведении рентгенологических исследований осуществляется путем поддержания доз облучения на таких низких уровнях, какие возможно достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества диагностической информации или терапевтического эффекта.

Защита от действия ионизирующей радиации является одним из важных направлений деятельности врача-рентгенолога и руководителя отделения или службы и подразумевает защиту от ионизирующего излучения пациентов и медицинского персонала.

Рентгеновские аппараты, применяемые в диагностике и терапии, генерируют рентгеновское излучение с энергией от 60 до 150 кэВ. Система защитных мероприятий будет зависеть от активности излучателя, вида излучения, технологии работы с источником. Надежность защиты персонала определяют дозы облучения, не превышение уровня, установленного НРБ-99. Доза внешнего облучения пропорциональна активности источника и времени его действия и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. Отсюда вытекают основные принципы защиты: «защита количеством», т. е. уменьшением мощности излучения источника; «защита временем», т. е. уменьшением времени работы с источником; «защита расстоянием», т. е. увеличением расстояния от источника до работающего. Излучение можно ослабить с помощью поглощающих материалов («защита экраном»).

«Защита количеством» в медицинской практике не получила большого распространения, так как уменьшение активности источника неизбежно приводит ослаблению лечебного эффекта и вынужденному увеличению времени контакта больного с излучателем.

«Защита временем» возможна при работе с источниками малой активности при ручных манипуляциях с ними. Автоматизм рабочих операций и высокая квалификация медицинского персонала позволяют сократить время контакта с радиоактивными веществами (уменьшение «активного» времени).

«Защита расстоянием» чаще всего реализуется использованием дистанционных инструментов, что достаточно эффективно снижает дозу на руки персонала.

Наибольшее значение при работе с закрытыми источниками имеет «защита экранами». Лучшим материалом для ослабления гамма-излучения и рентгеновского излучения являются материалы с большой атомной массой (свинец), где создаются благоприятные условия для процессов взаимодействия гамма-излучения и рентгеновского излучения с веществом. Если экранируются соседние помещения, то перекрытия помещения с гаммаизлучателем делают из бетона, баритобетона, железобетона. Большая толщина таких строительных конструкций создает надлежащую защиту от излучения. Для защиты от бета-излучения используют более легкие материалы — алюминий, стекло, пластмассу. Защита от бета-излучения свинцовым экраном опасна, так как в поле ядра атома свинца бетачастицы теряют энергию, приводя к выходу тормозного излучения. Для защиты от потока быстрых нейтронов применяют экраны из материалов с большим количеством атомов водорода (парафин, вода). Поскольку поглощение нейтронов сопровождается излучением квантов энергии, необходимо предусмотреть для их ослабления экран из свинца в качестве второго слоя. Тепловые нейтроны эффективно поглощают боркадмийсодержащие вещества.

По назначению и конструкции защитные экраны могут быть самыми разнообразными: в виде контейнеров для транспортировки и хранения радиоактивных веществ, в виде строительных конструкций (пол, потолок, стены) помещения, где находится мощный излучатель. Защитными экранами оборудуют и защищают рабочие места персонала. Экраны могут быть использованы и в средствах индивидуальной защиты в виде фартуков и щитков, перчаток из просвинцованной резины, смотрового окна из специального стекла в процедурной кабинета рентгенодиагностики и т. д.

Безопасность работы в рентгеновском кабинете обеспечивается посредством:

- применения рентгеновской аппаратуры и оборудования, отвечающих требованиям технических и санитарно-гигиенических нормативов, создающих требуемую клиническую результативность при обеспечении требований радиационной безопасности;
- обоснованного набора помещений, их расположения и отделки;
- использования оптимальных физико-технических параметров работы рентгеновских аппаратов при рентгенологических исследованиях;
- применения стационарных, передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты персонала (рисунки 13–14), пациентов и населения;
- обучения персонала безопасным методам и приемам проведения рентгенологических исследований;
- соблюдения правил эксплуатации коммуникаций и оборудования;
- контроля за дозами облучения персонала и пациентов;

— осуществления производственного контроля за выполнением норм и правил по обеспечению безопасности при рентгенологических исследованиях и рентгенотерапии.

При оценке условий труда в рентгеновских кабинетах должно учитываться воздействие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- повышенный уровень ионизирующего излучения;
- опасный уровень напряжений в электрических силовых цепях, замыкание которых может пройти через тело человека;
- повышенная температура элементов технического оснащения;
- повышенные физические усилия при эксплуатации рентгеновского оборудования;
- возможность воздушной и контактной передачи инфекции;
- наличие следов свинцовой пыли на поверхности оборудования и стенах комнат;
- повышенный уровень шума, создаваемого техническим оснащением;
- пожарная опасность.

Проведение рентгенологических исследований лечебно-профилактическими учреждениями, другими юридическими и физическими лицами осуществляется при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий труда с источниками ионизирующих излучений санитарным правилам.

Методы диагностики, профилактики и лечения, основанные на использовании рентгеновского излучения, должны быть утверждены Министерством здравоохранения.

При обращении с рентгеновскими медицинскими аппаратами организации (лечебно-профилактические учреждения, стоматологические клиники, другие юридические лица) обеспечивают:

- планирование и осуществление мероприятий по обеспечению радиационной безопасности;
- осуществление производственного контроля за радиационной обстановкой на рабочих местах, в помещениях, на территории;
- проведение индивидуального контроля и учет индивидуальных доз персонала и пациентов. Контроль и учет индивидуальных доз облучения осуществляется в рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения;
- проведение подготовки и аттестации руководителей и исполнителей работ, специалистов, осуществляющих производственный контроль, других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с рентгеновскими аппаратами, по вопросам обеспечения радиационной безопасности;
- организацию, проведение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медосмотров персонала;
- регулярное информирование персонала об уровнях ионизирующего излучения на рабочих местах и величине полученных индивидуальных доз облучения;
- своевременное информирование федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление, государственный надзор и контроль в области радиационной безопасности, а также органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации об аварийных ситуациях;

— выполнение заключений, предписаний должностных лиц уполномоченных на то органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление, государственный надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности;

— реализацию прав граждан в области обеспечения радиационной безопасности.

Администрация учреждения обеспечивает сохранность рентгеновских аппаратов и такие условия их получения, хранения, использования и списания, при которых исключается возможность их утраты или бесконтрольного использования.

Администрация учреждения составляет и ведет радиационно-гигиенический паспорт организации в установленном порядке.

В учреждении, имеющем рентгеновский кабинет или рентгеновский аппарат, должна быть следующая документация:

— санитарно-эпидемиологическое заключение на вид деятельности: эксплуатация, хранение, испытания и др. рентгеновского аппарата (аппаратов) в рентгеновском кабинете (кабинетах);

— санитарно-эпидемиологическое заключение на рентгеновский аппарат, как на продукцию, представляющую потенциальную опасность для человека;

— санитарно-эпидемиологическое заключение на проект рентгеновского кабинета;

— технический паспорт на рентгеновский кабинет;

— инструкция по охране труда, включающая требования по радиационной безопасности, по предупреждению и ликвидации радиационных аварий;

— санитарные правила, иные нормативные и инструктивно-методические документы, регламентирующие требования радиационной безопасности.

К работе по эксплуатации рентгеновского аппарата допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие документ о соответствующей подготовке, прошедшие инструктаж и проверку знаний правил по обеспечению безопасности, действующих в учреждении документов и инструкций. Подготовка специалистов, участвующих в проведении рентгенологических исследований, осуществляется по программам, включающим раздел «Радиационная безопасность». Учреждение, проводящее обучение, должно иметь лицензию на образовательную деятельность.

Администрация учреждения организует проведение предварительных (при поступлении на работу) и ежегодных периодических медицинских осмотров персонала группы А. К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний для работы с источниками ионизирующих излучений. Это же требование распространяется на лиц, поступающих на курсы, готовящие кадры для работы в рентгеновских кабинетах.

При выявлении отклонений в состоянии здоровья, препятствующих продолжению работы в рентгеновском кабинете, вопрос о временном или постоянном переводе этих лиц на работу вне контакта с излучением решается администрацией учреждения в каждом отдельном случае индивидуально в установленном порядке.

Повышенные уровни облучения медицинского персонала возможны и при обследовании пациентов после травмы. Наибольшему облучению подвергаются руки, ноги и нижняя часть туловища медицинского персонала. При прямой пальпации пациента у экрана в прямом пучке излучения уровни облучения рук весьма значительны. При

горизонтальном положении штатива рентгенолог находится вне прямого пучка и подвергается облучению только рассеянным излучением. Индивидуальные средства защиты (просвинцованный фартук и перчатки) ослабляют рассеянное излучение в 10–30 раз. В последние годы широко используют рентгеновские аппараты с ЭОП. Как показали следования, дозы облучения персонала при этом уменьшаются в 10–100 раз, как правило, мощность дозы излучения на рабочих местах врача-рентгенолога и рентгенолаборанта значительно ниже допустимого уровня, составляя 1/10 годовой предельно допустимой дозы.

За последнее время увеличилось число сложных рентгенологических исследований с участием врачей различных специальностей (хирурги, анестезиологи). К таким исследованиям следует отнести бронхоскопию, ирригоскопию, ангиокардиографию, катетеризацию сердца и др. Эти процедуры связаны со значительным облучением персонала, не имеющего отношения к радиологической службе. При сложных рентгенодиагностических исследованиях среднемесячные дозы облучения грудной клетки врачей-рентгенологов (хирургов и анестезиологов) колеблются от 1,5 до 2,5 мЗв, таза — от 1,8 до 2,9 мЗв (рисунок 15). Уровни облучения кистей рук достигают в месяц 6–10 мЗв, т. е. приближаются к уровню облучения кистей рук профессиональных рентгенологов. Необходим постоянный дозиметрический контроль за уровнем облучения специалистов — не рентгенологов и нормирование числа сложных рентгенодиагностических процедур для каждого конкретного специалиста.

### **Обеспечение радиационной безопасности медицинского персонала рентгеновских отделений**

Основой радиационной безопасности персонала рентгеновских кабинетов являются:

- непревышение предела дозы для персонала;
- оптимизация радиационной защиты.

Наиболее подвержен облучению тот персонал, который непосредственно работает с источниками излучения или находится в зоне излучения (например, медсестры, поддерживающие маленьких детей).

При решении вопроса о защите медицинского персонала необходимо соблюдать следующие правила:

- при проведении рентгенологических исследований необходимо работать быстро, максимально ограничить диафрагмой рабочий пучок излучения;
- использовать защитную одежду;
- находиться при проведении процедур на достаточном удалении от источников радиации.

Важное значение имеет определение показаний, выбор метода и алгоритма исследования. Речь идет о необходимом соотношении пользы и вреда.

Очень важны для обеспечения радиационной безопасности устройства сигнализации и знаки безопасности, предупреждающие персонал и больных о том, что в данном помещении проводится рентгенологическое исследование и рентгеновский аппарат работает.

Защита персонала обеспечивается, в первую очередь, экранированием и сокращением времени пребывания в зоне облучения. Персонал должен максимально ограничивать рабочий пучок излучения диафрагмой, пользоваться стандартными защитными средствами: ширмами, фартуками, юбками, защитными очками, перчатками.

Сокращение времени облучения достигается более тщательной подготовкой к исследованию, выбором оптимального метода, сокращением времени самого исследования, более тщательным отбором больных, подлежащих обследованию.

Персонал, работающий в отделениях лучевой диагностики, редко подвергается прямому воздействию радиации (например, если руки врача находятся в зоне облучения при пальпации). На персонал воздействует вторичное излучение, которое образуется в связи с рассеянием прямого пучка, проходящего через тело пациента, и элементы конструкции оборудования. Интенсивность такого вторичного излучения в 100–1000 раз меньше, чем первичного, но оно распространяется во всех направлениях, не ограничиваясь зоной исследования.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

- ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;
  - знанием и соблюдением правил работы с источниками излучения;
  - достаточностью защитных барьеров, экранов и расстояния от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения;
  - созданием соответствующих условий труда;
  - применением индивидуальных средств защиты;
  - соблюдением установленных контрольных уровней;
  - организацией радиационного контроля;
  - организацией системы информации о радиационной обстановке;
  - выполнения принципов нормирования и оптимизации.
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае угрозы и возникновении аварии.

Радиационная безопасность персонала рентгеновского кабинета обеспечивается в том числе системой защитных мероприятий конструктивного характера при производстве рентгеновских аппаратов, планировочными решениями при их эксплуатации, использованием стационарных, передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты, выбором оптимальных условий проведения рентгенологических исследований, осуществлением радиационного контроля.

Защита персонала отделений лучевой диагностики, имеющих допуск к работе с источниками ионизирующей радиации, обеспечивается следующими факторами:

- использованием средств радиационной защиты (ширмы, экраны), в том числе индивидуальных (очки, перчатки, фартуки и пр.);
- специальной планировкой и защитой кабинетов рентгенодиагностики и пультовых;
- постоянным обучением персонала правилам и принципам соблюдения радиационной безопасности; допуском к самостоятельной работе только сертифицированных врачей-радиологов и рентгенолаборантов;
- проведение регулярного радиационного и дозиметрического контроля.

Рентгенодиагностические процедуры с гигиенических позиций по характеру технологии могут быть условно разделены на 2 группы:

- рентгенография;
- рентгеноскопия.

Как правило, при рентгенографии с помощью стационарных аппаратов персонал находится за надежной защитой ширм. При обычной рентгеноскопии (положение торакоскопии) врач-рентгенолог защищен просвинцованным стеклом экрана, малой защитной ширмой и подэкранным фартуком. При пальпации тела пациента кисти рук рентгенолога могут оказаться в поле прямого пучка излучения. При горизонтальном положении штатива (положение трохоскопии) врач-рентгенолог находится сбоку от штатива в зоне максимальной интенсивности рассеянного излучения, что повышает радиационную опасность процедуры, поэтому обязательно должны быть подэкранный и индивидуальный защитные фартуки.

Защита врача-рентгенолога обеспечивается:

- свинцовым стеклом, которое закрывает флуоресцентный экран;
- многослойным в напуск фартуком из просвинцованной резины, который подвешивается к экрано-съемочному устройству;
- малой защитной ширмой;
- использованием при специальных исследованиях средств индивидуальной защиты (перчатки, фартук с просвинцованной резины (в тканевом чехле для защиты от распыления свинца)).

Защита рентгенолаборанта обеспечивается размещением его рабочего места в отдельном сопредельном помещении, которое называют комнатой управления (пультовой). Это рабочее место оборудуется окном со свинцовым стеклом в процедурную и селекторной связью с врачом.

Пребывание младшего медицинского персонала в процедурной или комнате управления (пультовой) во время проведения рентгенологических процедур не допускается.

Размещение кабинетов или отделений для рентгенологических исследований проводится таким образом, чтобы в соседних помещениях не было помещений для медперсонала других отделений. В настоящее время отделения для радионуклидных исследований и лучевой терапии размещаются в отдельных строениях, а рентгенодиагностические отделения обычно располагают между лестничными пролетами или в торцевых отделах зданий. Рабочие места персонала должны быть максимально удалены от источников излучения. Так, пульт управления рентгенодиагностического аппарата и кабинета лучевой терапии всегда находятся в соседней комнате (пультовой).

Принцип нормирования облучения персонала определяется следующими положениями КЗОТа:

- сокращенный рабочий день;
- непосредственная работа с рентгеновскими лучами не более 60 минут;
- общее время на проведение РДИ должно составлять 80 % рабочей смены;
- удлиненный отпуск;
- сокращенный профессиональный стаж на право получения пенсии;
- уменьшение возрастного ценза для выхода на пенсию.

Принцип оптимизации осуществляется, прежде всего, с помощью защитных устройств или приспособлений и индивидуальных средств защиты. К устройствам и приспособлениям относятся более толстые, чем в обычных кабинетах, стены, создаваемые в кабинетах для рентгенологических исследований; листовой свинец, которым обивают двери в эти кабинеты; баритовая штукатурка, которой покрывают стены диагностических и



терапевтических кабинетов изнутри, стационарные ширмы, покрытые также листовым свинцом, просвинцованное стекло, которое устанавливается между процедурной и пультовой малые и большие передвижные ширмы, выполненные из материалов с большим атомным весом для полного поглощения ионизирующих лучей. Индивидуальные средства защиты — это те же приспособления, что и для больных, и ещё перчатки из просвинцованной резины для медперсонала, которые используются при проведении диагностических процедур (так называемая рентгенопальпация, поддержка детей, больных в тяжелом состоянии).

По степени радиационного риска персонал рентгенорадиологических отделений делится на две категории: лица, непосредственно работающие с техногенными источниками (группа А), и лица, находящиеся по условиям работы в сфере действия ионизирующего излучения (группа Б). К группе А относятся врачи-рентгенологи, врачи-радиологи, лаборанты и санитарки отделений лучевой диагностики, инженеры и техники по наладке и эксплуатации рентгеновской и радиологической аппаратуры. К группе Б относятся сотрудники, работающие в смежных с рентгеновским кабинетом помещениях, специалисты, не входящие по должностным обязанностям в штат рентгеновского отделения, но участвующие в проведении рентгеновских исследований. Для категорий А и Б установлены основные дозовые пределы.

К работе по эксплуатации рентгеновского аппарата допускаются лица не моложе 18 лет, имеющие документ о соответствующей подготовке, прошедшие инструктаж и проверку знаний правил по обеспечению безопасности, действующих в учреждении документов и инструкций. Подготовка специалистов, участвующих в проведении рентгенологических исследований, осуществляется по программам, включающим раздел «Радиационная безопасность». Учреждение, проводящее обучение, должно иметь лицензию на образовательную деятельность.

Администрация учреждения организует проведение предварительных (при поступлении на работу) и ежегодных периодических медицинских осмотров персонала группы А. К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний для работы с источниками ионизирующих излучений. Это же требование распространяется на лиц, поступающих на курсы, готовящие кадры для работы в рентгеновских кабинетах.

При выявлении отклонений в состоянии здоровья, препятствующих продолжению работы в рентгеновском кабинете, вопрос о временном или постоянном переводе этих лиц на работу вне контакта с излучением решается администрацией учреждения в каждом отдельном случае индивидуально в установленном порядке.

Женщины освобождаются от непосредственной работы с рентгеновской аппаратурой на весь период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Персонал должен регулярно (согласно нормативным документам) проходить инструктаж и по технике безопасности, и по радиационной безопасности. При проведении сложных рентгенологических процедур, когда персонал должен находиться в процедурной (ангиографии, рентгеноэндоскопические процедуры, исследование детей, пациентов в тяжелом состоянии), необходимо использование индивидуальных средств защиты. Организация радиационного контроля заключается в наличии индивидуальных дозиметров.

Система инструктажа с проверкой знаний по технике безопасности и радиационной безопасности включает:

— вводный инструктаж — при поступлении на работу;

- первичный — на рабочем месте;
- повторный — не реже двух раз в году;
- внеплановый — при изменении характера работ (смене оборудования рентгеновского кабинета, методики обследования или лечения и т. п.), после радиационной аварии, несчастного случая.

Лица, проходящие стажировку и специализацию в рентгеновском кабинете, а также учащиеся высших и средних специальных учебных заведений медицинского профиля, допускаются к работе только после прохождения вводного и первичного инструктажа по технике безопасности и радиационной безопасности. Для студентов и учащихся, проходящих обучение с источниками ионизирующих излучений, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

В рентгенологических исследованиях, сопровождающихся сложными манипуляциями, проведение которых не входит в должностные обязанности персонала рентгеновского кабинета, могут участвовать специалисты (стоматологи, хирурги, урологи, ассистенты хирурга, травматологи и другие), относящиеся к категории облучаемых лиц персонала группы Б, обученные безопасным методам работы, включая обеспечение радиационной безопасности пациента, и прошедшие инструктаж.

Не допускается проведение работ с рентгеновским излучением, не предусмотренных должностными инструкциями, инструкциями по технике безопасности, радиационной безопасности и другими регламентирующими документами. Не допускается работа персонала рентгеновского кабинета без средств индивидуального дозиметрического контроля.

Не допускается проводить контроль качества монтажа, ремонта и юстировки рентгеновской аппаратуры путем рентгенологического исследования людей.

Рентгенолаборант не может обслуживать два и более одновременно работающих рентгеновских аппарата, в том числе в случае расположения их пультов управления в одной комнате.

Во время рентгенографии и сеанса рентгенотерапии персонал из комнаты управления через смотровое окно или иную систему наблюдает за состоянием пациента, подавая ему необходимые указания через переговорное устройство. Разрешается нахождение персонала в процедурной за защитной ширмой при работе: рентгенофлюорографического аппарата с защитной кабиной; рентгенодиагностического аппарата с универсальным столом-штативом поворотным при наличии защитных средств на экраноснимочном устройстве; костного денситометра, маммографа и рентгеностоматологического оборудования. Не допускается нахождение в процедурной лиц, не имеющих прямого отношения к рентгенологическому исследованию.

Во время рентгенологического исследования врач-рентгенолог должен соблюдать длительность перерывов между включениями высокого напряжения в соответствии с паспортом на аппарат, следить за выбором оптимальных физико-технических режимов исследования (анодное напряжение, анодный ток, экспозиция, толщина фильтров, размер диафрагмы, компрессия, расстояние, фокус-кожа и др.), проводить пальпацию дистанционными инструментами (дистинкторы и др.) и использовать передвижные и индивидуальные средства радиационной защиты в необходимом объеме и номенклатуре.

При проведении сложных рентгенологических исследований (ангиография, рентгеноэндоскопия, исследование детей, пациентов в тяжелом состоянии и т. д.) весь

работающий в процедурной (рентгенооперационной) персонал использует индивидуальные средства защиты.

Также следует отметить, что документально подробно определены специальные многочисленные требования для обеспечения радиационной безопасности персонала к размещению и структуре помещений, организации работы и технологических операций на каждом этапе, и к размещению и обслуживанию диагностического оборудования.

### **Обеспечение радиационной безопасности пациентов при рентгенологических исследованиях**

Следует обратить внимание на тот факт, что широкое применение цифровой рентгенографии позволит существенно уменьшить дозу излучения при рентгенографии. Выбор цифровых технологий при получении изображения приводит к снижению лучевой нагрузки при исследовании одних и тех же органов в 1,5–3 раза в сравнении с аналоговыми технологиями.

Основой радиационной безопасности пациентов, подвергающихся медицинским рентгенологическим процедурам, являются:

- обоснование проведения рентгенологических процедур;
- оптимизация радиационной защиты пациентов.

В «Санитарных правилах и нормах. Гигиенических требованиях к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» указывается, что система обеспечения радиационной безопасности при проведении медицинских рентгенологических исследований должна предусматривать практическую реализацию трех основополагающих принципов радиационной безопасности — нормирования, обоснования и оптимизации.

Принцип нормирования реализуется установлением гигиенических нормативов (допустимых пределов доз) облучения.

Для практически здоровых лиц годовая эффективная доза при проведении профилактических медицинских рентгенологических процедур и научных исследований не должна превышать 1 мЗв (0,001 Зв).

Принцип обоснования при проведении рентгенологических исследований реализуется с учетом следующих требований:

- Приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) диагностических методов.
- Проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям.
- Выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований.
- Риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Принцип обоснования требует, чтобы польза от проведенного исследования (т. е. постановка правильного и своевременного диагноза, или получение результатов, влияющих на тактику лечения) не превосходила возможный вред здоровью от применения сравнительно небольших доз облучения. Выполнение этого принципа базируется на следующих требованиях:

приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов;

проведение рентгенодиагностики (РД) по строгим клиническим показаниям; применение наиболее щадящих методик РД; риск отказа от РД должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Прежде всего необходимо заметить, что в настоящее время у лечащего врача есть широкий выбор лучевых нерадиационных методов — УЗИ, МРТ, радионуклидные исследования *in vivo*, что позволяет составить оптимальный алгоритм лучевого обследования больного. Приоритет РД отдаётся в том случае, если альтернативные методики отсутствуют, либо их нельзя применить, либо получаемая с их помощью информация не является достаточной.

Все рентгенодиагностические исследования (РДИ) должны проводиться по строгим клиническим показаниям. В направлении на РДИ, которое выписывается лечащим врачом, должны быть указаны предварительный диагноз, цель исследования, область исследования и дата последнего РДИ (с целью исключения необоснованного повторного РДИ или его дублирования при перемещении пациента из поликлиники в стационар).

Непосредственное разрешение на проведение РДИ дается врачом-рентгенологом, поэтому рентгенолаборант не имеет права принимать решение о проведении РДИ.

Например, показанием к назначению рентгенологических методов исследования ЖКТ являются:

- оценка функции (проходимость, моторика, тонус);
- выявление аномалий;
- диагностика новообразований;
- диагностика воспалительных заболеваний;
- диагностика язвенных поражений;
- диагностика перфорации полого органа (по прямым и косвенным признакам).

Также первичная диагностика онкологических заболеваний ЖКТ рентгенологическим методом не проводится, а выполняется только в случае невозможности проведения эндоскопии.

Наибольшей лучевой нагрузкой обладают рентгенологические исследования, связанные с методикой рентгеноскопии, т. е. длительным включением рентгеновской трубки во время исследования. К таким исследованиям относятся исследование пищевода и желудка с бариевой смесью, ирригоскопия, сопоставление отломков костей при переломах, локализация и

удаление инородных тел под рентгеноскопическим контролем, ангиографическое исследование и пр.

Лучевая нагрузка на пациента при этом зависит от многих факторов.

Это и вид излучения, и его энергия, длительность воздействия, частота облучений, различная чувствительность тканей к излучению, возраст пациентов, наличие сопутствующих заболеваний и ряда других параметров. В этой связи все методики, обладающие повышенной вероятностью облучения пациента, назначаются с особой тщательностью и только в том случае, если их нельзя заменить другими видами исследования. Исследования организма детей и беременных проводятся, как правило, только по жизненным показаниям.

Учитывая эти факторы, врач-рентгенолог, к которому направлен больной с недостаточно обоснованными показаниями к подобным процедурам, в соответствии с

существующими правилами может и должен уточнить показания к исследованию и по возможности заменить их другими, не связанными с лучевой нагрузкой (УЗИ, МРТ).

Принцип оптимизации или ограничения уровней облучения при проведении рентгенологических исследований осуществляется путем поддержания доз облучения на таких низких уровнях, какие возможно достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества диагностической информации.

При достижении накопленной дозы медицинского диагностического облучения пациента 500 мЗв должны быть приняты меры по дальнейшему ограничению его облучения, если лучевые процедуры не диктуются жизненными показаниями.

При получении лицами из населения эффективной дозы излучения за год более 200 мЗв или накопленной дозы более 500 мЗв от одного из источников облучения, или 1000 мЗв от всех источников облучения необходимо специальное медицинское обследование, организуемое органами управления здравоохранения.

Принцип оптимизации направлен на снижение доз облучения при проведении РДИ и направлен, помимо выбора рациональных методик облучения, на правильный выбор параметров работы рентгеновского аппарата и использование индивидуальных средств радиационной защиты пациентов при проведении РДИ.

Правильный выбор параметров работы рентгеновского аппарата заключается следующем. Это, прежде всего, использование цифровых технологий при получении изображения, так как они снижают существенно, уменьшают лучевую нагрузку в сравнении с аналоговыми технологиями.

При классических рентгенологических исследованиях к правильному выбору параметров относится:

- соблюдение надлежащего расстояния при рентгенографии от трубки до поверхности тела пациента — оно должно быть не меньше пятикратной толщины снимаемого органа;

- максимальное диафрагмирование рентгеновского пучка;
- использование рентгеновской пленки с большей чувствительностью;
- использование высокочувствительных усиливающих экранов;
- использование напряжения на рентгеновской трубке 60–90 кВ;
- использование коротких выдержек при включении рентгеновской трубки — сотые и тысячные доли секунды.

На получаемую пациентом дозу радиации влияют следующие факторы:

- Рентгенография (величина  $\times$  мА  $\times$  с  $\times$  число изображений) или рентгеноскопия (величина мА  $\times$  с  $\times$  длительность обследования).

- Высокое напряжение (кВ) и его стабильность. Так, повышение напряжения на 10 % снижает облучение на 15%. При напряжении 125–150 кВ облучение снижается в 2–2,5 раза по сравнению с напряжением 70–80 кВ.

- Фильтрация рентгеновского луча. Применение алюминиевых фильтров порядка 2–3 мм при повышенных напряжениях уменьшает экспозиционную дозу излучения на поверхности тела исследуемого в 3–5 раз.

Применение дополнительного фильтра 0,2 мм меди снижает дозу, в среднем, еще на 25 %.

- Коллимация рентгеновского луча (блендирование). Использование диафрагмы и тубусов позволяет регулировать величину поля облучения. При снимке только одно

блендирование шириной 2 см по краю пленки 30×40 см уменьшает поверхностную дозу на 10 %, а при снимке 18×24 см — на 20 %.

Кроме того, улучшается и качество снимка.

— Кожно-фокусное расстояние (КФР). При увеличении КФР уменьшается не только входная, но и выходная экспозиционная доза.

— Правильное определение позиции при рентгенографии. Например, снимок черепа в переднезадней проекции вызывает 50–100-кратную органную дозу на хрусталик глаза, по сравнению с заднепередней проекцией. Далее, переднезадний снимок легких вместо заднепереднего дает 5-кратное увеличение дозы на молочную железу.

— Чувствительность экрана, усилители и детекторы изображения.

Комбинации: рентгеновская пленка — экран усиливающий (РП-ЭУ) имеют важнейшее значение. В настоящее время стандартной является усиливающая фольга, содержащая материалы из группы редкоземельных металлов (например, гадолиний, лантан). Она является (при одинаковой четкости изображения) более чувствительной, чем фольга из вольфрамата кальция.

— Использование сохранения изображения (при проведении исследований, при хирургических вмешательствах). Внедрение программноаппаратных комплексов по обработке и архивации видеоизображений позволяет также значительно снизить дозу облучения пациентов.

При рентгеноскопии доза облучения существенно выше, чем при рентгенографии. Однако во многих случаях необходимо наблюдение просвечиваемого объекта в динамике. Наиболее значительное продвижение в решении проблемы снижения дозовой нагрузки при рентгеноскопии было достигнуто благодаря применению электронно-оптического преобразователя (ЭОП) в сочетании с телевизионной системой. Принцип действия ЭОП, или усилителя рентгеновского изображения (УРИ), состоит в преобразовании рентгеновского изображения в электронное с дальнейшим превращением электронного изображения в световое с повышенной, по сравнению с обычным флюоресцентным экраном, яркостью. Применение телевизионной установки в сочетании с ЭОП позволяет снизить в 3–5 раз получаемую при просвечивании дозу и значительно улучшить качество диагностического изображения. В последнее время для снижения дозы облучения при рентгеноскопии используется пульсовое просвечивание. Пульсовое просвечивание является методом, который, не уменьшая времени исследования, уменьшает время воздействия излучения. Это означает преобразование непрерывного излучения в отдельные лучевые импульсы и переработку сохраненного изображения в вариант полного изображения. При этом снижается доза облучения при сохранении качества диагностического изображения.

Определение доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях

В 1996 г. Международное агентство по атомной энергии выпустило стандарт безопасности «Международные основные стандарты безопасности для защиты от ионизирующих излучений и при применении радиоактивных источников», в котором были установлены дозовые пределы при проведении рентгенологических процедур. В нашей республике такие величины носят рекомендательный характер, но международные дозовые пределы нужно понимать и по возможности использовать в работе.

До начала функционирования в лечебно-профилактических учреждениях республики разрабатываемой единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения было

предложено временно использовать примерные расчетные эффективные дозы при основных видах рентгенодиагностических исследований, полученные при фантомных измерениях.

Основными направлениями радиационной защиты пациентов являются:

- проведение исследований по строгим показаниям;
- исключение дублирующих друг друга повторных исследований, преемственность результатов исследований между медицинскими учреждениями;
- высокая квалификация персонала, проводящего исследования;
- использование исправного диагностического оборудования, оптимальных протоколов исследования, регулярный контроль качества работы оборудования и его безопасности;
- применение индивидуальных средств защиты для участков тела, находящихся вне зоны облучения (в особенности это относится к таким органам, как гонады, щитовидная железа, молочная железа, хрусталик);
- правильное позиционирование пациентов, ограничение зоны облучения и времени воздействия излучения.

Радиационная безопасность пациентов должна быть обеспечена при всех видах радиологического облучения — диагностического, профилактического, научно-исследовательского. Пациент имеет право отказаться от процедуры, за исключением профилактических исследований, т. е. право на принятия решения о применении рентгенодиагностического исследования (РДИ) предоставляется пациенту или его законному представителю.

По требованию пациента ему представляется полная информация об ожидаемой или полученной дозе, о возможных последствиях облучения, о возможных последствиях в случае отказа от РДИ.

Также следует отметить, что документально подробно определены специальные многочисленные требования для обеспечения радиационной безопасности пациентов к организации работы и технологических операций на каждом этапе, и к размещению и обслуживанию диагностического оборудования.

Направление пациента на медицинские рентгенологические процедуры осуществляет лечащий врач по обоснованным клиническим показаниям. Врачи, выполняющие медицинские рентгенологические исследования, должны знать ожидаемые уровни доз облучения пациентов, возможные реакции организма и риски отдаленных последствий.

Окончательное решение о целесообразности, объеме и виде исследования принимает врач-рентгенолог, в случае отсутствия врача-рентгенолога решение принимает врач, направивший на рентгенологическое исследование, прошедший обучение по радиационной безопасности в учреждении, имеющем лицензию на образовательную деятельность в данной области.

При необоснованных направлениях на рентгенологическое исследование (отсутствие диагноза и др.) врач-рентгенолог может отказать пациенту в проведении рентгенологического исследования, предварительно проинформировав об этом лечащего врача и зафиксировав отказ в истории болезни (амбулаторной карте).

Врач-рентгенолог (или рентгенолаборант) регистрирует значение индивидуальной эффективной дозы пациента в листе учета дозовых нагрузок при проведении рентгенологических исследований (лист вклеивается в медицинскую карту амбулаторного

больного или историю развития ребенка) и в журнале учета ежедневных рентгенологических исследований. При выписке больного из стационара или после рентгенологического исследования в специализированных лечебно-профилактических учреждениях значение дозовой нагрузки вносится в выписку. Впоследствии доза переносится в лист учета дозовых нагрузок медицинской карты амбулаторного больного (историю развития ребенка). Определение и учет дозовых нагрузок проводится с использованием утвержденных методов, методик выполнения измерений и типов средств измерений.

С целью предотвращения необоснованного повторного облучения пациентов на всех этапах медицинского обслуживания учитываются результаты ранее проведенных рентгенологических исследований и дозы, полученные при этом в течение года. При направлении больного на рентгенологическое исследование, консультацию или стационарное лечение, при переводе больного из одного стационара в другой результаты рентгенологических исследований (описание, снимки) передаются вместе с индивидуальной картой.

Произведенные в амбулаторно-поликлинических условиях рентгенологические исследования не должны дублироваться в условиях стационара. Повторные исследования проводятся только при изменении течения болезни или появлении нового заболевания, а также при необходимости получения расширенной информации о состоянии здоровья пациента.

Проведение профилактических обследований методом рентгеноскопии не допускается.

### **Средства радиационной защиты персонала и пациентов**

В настоящее время для защиты от рентгеновского излучения при использовании его в целях медицинской диагностики сформировался комплекс защитных средств, которые можно разделить на следующие группы:

- средства защиты от прямого неиспользуемого излучения;
- средства индивидуальной защиты персонала (рисунок 20);
- средства индивидуальной защиты пациента (рисунок 21);
- средства коллективной защиты, которые, в свою очередь, делятся на стационарные и передвижные.

Наличие большинства из этих средств в рентгенодиагностическом кабинете и основные их защитные свойства нормируются «Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.6.1.1192-03», а также ОСПО РБ. Данные правила распространяются на проектирование, строительство, реконструкцию и эксплуатацию рентгеновских кабинетов независимо от их ведомственной принадлежности и формы собственности, а также на разработку и производство рентгеновского медицинского оборудования и защитных средств.

Средства радиационной защиты персонала и пациентов подразделяются на передвижные и индивидуальные.

К передвижным средствам радиационной защиты относятся:

- большая защитная ширма персонала (одно-, двух-, трехстворчатая) — предназначена для защиты от излучения всего тела человека;
- малая защитная ширма персонала — предназначена для защиты нижней части тела человека;



— малая защитная ширма пациента — предназначена для защиты нижней части тела пациента;

— экран защитный поворотный — предназначен для защиты отдельных частей тела человека в положении стоя, сидя или лежа;

— защитная штора — предназначена для защиты всего тела; может применяться взамен большой защитной ширмы.

К индивидуальным средствам радиационной защиты относятся:

— шапочка защитная — предназначена для защиты области головы;

— очки защитные — предназначены для защиты глаз;

— воротник защитный — предназначен для защиты щитовидной железы и области шеи; должен применяться также совместно с фартуками и жилетами, имеющими вырез в области шеи;

— накидка защитная, пелерина — предназначена для защиты плечевого пояса и верхней части грудной клетки;

— юбка защитная (тяжелая и легкая) — предназначена для защиты со всех сторон области гонад и костей таза, должна иметь длину не менее 35 см (для взрослых);

— фартук защитный односторонний тяжелый и легкий — предназначен для защиты тела спереди от горла до голеней (на 10 см ниже колен);

— фартук защитный двусторонний — предназначен для защиты тела спереди от горла до голеней (на 10 см ниже колен), включая плечи и ключицы, а сзади от лопаток, включая кости таза, ягодицы, и сбоку до бедер (не менее, чем на 10 см ниже пояса);

— фартук защитный стоматологический — предназначен для защиты передней части тела, включая гонады, кости таза и щитовидную железу, при дентальных исследованиях или исследовании черепа;

— жилет защитный — предназначен для защиты спереди и сзади органов грудной клетки от плеч до поясницы;

— передник для защиты гонад и костей таза — предназначен для защиты половых органов со стороны пучка излучения;

— перчатки защитные — предназначены для защиты кистей рук и запястий, нижней половины предплечья;

— защитные пластины (в виде наборов различной формы) — предназначены для защиты отдельных участков тела;

— средства защиты мужских и женских гонад — предназначены для защиты половой сферы пациентов.

При рентгенологическом исследовании детей используют защитные средства меньших размеров и расширенный их ассортимент для различных возрастных групп.

Допустимая мощность дозы на рабочем месте персонала при стандартной принятой длительности генерирования рентгеновского излучения не должна превышать 0,03 мЗв для диагностических аппаратов и 0,3 мЗв/ч для флюорографов. Диагностические рентгеновские аппараты должны иметь подвижную диафрагму для ограничения пучка лучей, чтобы при расстоянии от опорной доски аппарата до экрана 25 см и максимальном раскрытии створок диафрагмы освещенное пятно на экране было меньше его размеров с каждой стороны на 1 см. Как показывают исследования, мощность дозы излучения на рабочем месте врача-рентгенолога за экраном у отечественных аппаратов составляет не более 0,03 мЗв/ч, что ниже

допустимых пределов. Однако при горизонтальном положении штатного аппарата, при исследовании пациента лежа, когда рабочий пучок рентгеновских лучей направлен вертикально, уровни облучения персонала могут быть несколько выше.

### **Обеспечение радиационной безопасности населения**

При проведении рентгенологических процедур облучению в малых дозах могут подвергаться отдельные лица из населения: посетители ЛПО, соседние пациенты и другие лица. Основой радиационной безопасности отдельных лиц из населения являются:

- непревышение предела дозы для населения;
- оптимизация радиационной защиты.

Среди населения имеются группы лиц, которые пациентами не являются, но подвергаются медицинскому облучению:

- помогающие в уходе за пациентами;
- проходящие медицинские обследования в связи с профессиональной деятельностью;
- добровольцы, участвующие в медицинских исследованиях.

Методы регулирования облучения данных групп лиц включают принципы обоснования, оптимизации и нормирования.

Лица, которые помогают в уходе за пациентами

Лица (за исключением персонала), которые сознательно и добровольно помогают в уходе за пациентами в лечебно-профилактическом учреждении, могут подвергаться облучению при оказании помощи (поддержке) пациентам (например, престарелым, тяжелобольным или младенцам) во время рентгенологических исследований. Обоснованием такой деятельности является необходимость помощи пациентам, которую не может предоставить персонал лечебного заведения.

Оптимизация радиационной защиты лиц, которые помогают в уходе за пациентами, включает: методы, позволяющие избежать или уменьшить необходимость в поддержке пациентов (например, назначение седативных средств для длительных процедур); исключение из их числа детей и беременных женщин, выбор положения и защитных средств таким образом, чтобы облучение было на разумно достижимом низком уровне.

Для взрослых лиц (за исключением персонала), которые помогают в уходе за пациентами, годовая эффективная доза медицинского облучения, обусловленная этой деятельностью, не должна превышать 5 мЗв.

Лица, проходящие медицинские исследования в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур

Медицинские рентгенологические исследования в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур требуют специального обоснования. Такие исследования, как правило, не являются обоснованными в смысле превышения пользы над вредом для обследуемого лица.

Запрещается проведение профилактических рентгенологических исследований при заключении договоров о страховании здоровья.

Если медицинские исследования с использованием рентгеновского

излучения в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур в порядке исключения признаны обоснованными в установленном

порядке, то при их проведении должна быть оптимизирована защита и годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв.

Лица, добровольно участвующие в медико-биологических исследованиях

Медико-биологические исследования на добровольцах с использованием рентгеновского излучения требуют специального обоснования. Проведение исследований методом рентгеноскопии не допускается.

Проведение медико-биологических исследований на добровольцах с использованием рентгеновского излучения может быть разрешено федеральным органом здравоохранения после рассмотрения связанных с ними научных и этических вопросов.

Если медико-биологическое исследование на добровольцах с использованием рентгеновского излучения признано обоснованным в установленном порядке, то при его проведении должна быть оптимизирована защита и годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв.

### **Обеспечение радиационной безопасности при радионуклидных исследованиях**

#### **Радиационная защита персонала при радионуклидной диагностике**

Различают закрытые и открытые источники. Закрытый источник — источник радиоактивного излучения, устройство которого исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан. Открытый источник — источник радиоактивного излучения, при использовании которого возможно попадание содержащихся в нем радиоактивных веществ в окружающую среду, а, следовательно, и поступление в организм человека. Таким образом, основным поражающим фактором при работе с закрытыми источниками является внешнее излучение, при работе с открытыми источниками, кроме внешнего излучения, имеется опасность внутреннего облучения в результате попадания радиоактивных частиц в легкие и желудочно-кишечный тракт. При работе с закрытыми источниками система радиационной защиты направлена на максимальное снижение внешнего излучения. Закрытые источники делятся на источники непрерывного и прерывистого (периодического) действия. К источникам непрерывного действия относятся установки с гамма-, бета-излучателями и нейтронными излучателями, к источникам периодического действия — рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц.

Все многообразные формы применения открытых радиоактивных источников по степени потенциальной опасности внутреннего переоблучения (в зависимости от количества радионуклидов на рабочем месте и относительной радиотоксичности нуклида) подразделяют на 3 класса работ.

Чем выше класс выполняемых работ в отделении, тем жестче гигиенические требования по защите персонала от внутреннего переоблучения. Вместе с тем главные принципы защиты остаются неизменными.

Принципы защиты при работе с открытыми радиоактивными источниками

Работа с открытыми радиоактивными источниками (открытыми радионуклидными источниками) связана с опасностью воздействия проникающего излучения и попадания внутрь организма радиоактивных веществ, что приводит к возможности как внешнего, так и внутреннего облучения персонала. При работе с открытыми радиоактивными источниками возможны загрязнение рабочей обстановки, одежды и рук, попадание радиоактивных веществ в воздух, образование радиоактивных газов. Наиболее часто радиоактивные

вещества вдыхаются, в меньшей степени заглатывают при загрязнении кожи рук и лица. Наибольшую опасность представляют радиоактивные аэрозоли, которые образуются в результате радиоактивных превращений (эманация, образование активных атомов отдачи и т. д.). Важно, что образование радиоактивных аэрозолей происходит постоянно, даже тогда, когда с радиоактивными веществами не ведется работа, связанная с измельчением. Низкие счетные и массовые концентрации аэрозоля в единице объема вовсе не являются гарантией отсутствия вредного биологического действия. Задержка радиоактивных аэрозолей в легких зависит от дисперсности аэрозоля, электрозарядности частиц, химических свойств, растворимости и т. д.

Значительную долю в сумме факторов радиационного воздействия при работе с открытыми источниками имеет загрязнение кожи рук, одежды, оборудования, рабочей обстановки. Загрязнение рабочей обстановки чаще всего происходит при нарушении правил работы с источником, а также в результате переноса загрязнения с одежды, рук, на рабочие поверхности.

Многие строительные материалы (кирпич, бетон, дерево, асфальт) и покрытия (плитка, линолеум) хорошо адсорбируют радиоактивные вещества и плохо поддаются дезактивации, что усугубляет опасность лучевого воздействия на персонал.

Основные принципы защиты при работе с открытыми радиоактивными источниками:

- при внешнем излучении используются все способы защиты, применяемые при работе с закрытыми веществами (защита количеством, временем, расстоянием, экранами);

- работа с открытыми радиоактивными веществами должна исключать их поступление в окружающую среду. Это достигается рациональной

планировкой и оборудованием рабочих помещений, санитарнотехническими устройствами по удалению и дезактивации жидких, твердых и газообразных радиоактивных отходов, максимальной механизацией и автоматизацией рабочих операций.

В соответствии с НРБ-99 для обеспечения радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды при нормальной работе с использованием любого радионуклидного источника излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- нормирования — недопущения превышения допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения;

- обоснования — запрещения всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением;

- оптимизации — поддержания на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого радионуклидного источника излучения.

При проведении радионуклидных диагностических исследований методом *in vivo* принцип нормирования в отношении пациентов не используется. Применительно к этим исследованиям принцип обоснования означает:

- польза для пациента от ожидаемой диагностической информации должна безусловно превосходить ожидаемый вред от полученной дозы облучения;

- радионуклидные диагностические исследования осуществляются по медицинским показаниям в тех случаях, когда отсутствуют или нельзя применить, или недостаточно информативны другие альтернативные методы диагностики;

— все применяемые методики радионуклидной диагностики утверждаются Министерством здравоохранения;

— в описаниях этих методик устанавливаются контрольные уровни облучения пациента при выполнении процедур в оптимальном режиме;

— для радионуклидной диагностики *in vivo* используются только те радиофармпрепараты, применение которых разрешено в установленном порядке Министерством здравоохранения;

— обеспечены все необходимые условия для получения достоверной диагностической информации соответствующего качества.

Принцип оптимизации при проведении радионуклидных диагностических исследований означает получение необходимой и полезной диагностической информации при минимально возможных уровнях облучения пациентов с учетом экономических и социальных факторов.

В соответствии с основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности числовые значения контрольных уровней эффективной дозы облучения пациента должны гарантировать отсутствие детерминированных эффектов и обеспечивать минимизацию радиационного ущерба при безусловном превосходстве пользы над вредом.

Радиационная безопасность в подразделении радионуклидной диагностики обеспечивается за счет:

— качества проекта помещений, в которых размещается подразделение радионуклидной диагностики *in vivo*;

— обоснованного выбора места и площадки для его размещения;

— штатной эксплуатации радиодиагностической аппаратуры и оборудования;

— физической защиты источников ионизирующего излучения;

— тщательного выполнения установленных технологий радиодиагностических исследований;

— санитарно-эпидемиологической оценки медицинских изделий, радиофармпрепаратов и технологий, используемых в радионуклидной диагностике;

— наличия и непрерывного функционирования системы радиационного контроля;

— планирования и проведения конкретных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности пациентов, персонала и населения при

нормальной работе подразделения радионуклидной диагностики, реконструкции его помещений и выводе из эксплуатации;

— повышения радиационно-гигиенической грамотности персонала и населения.

В целях обеспечения радиационной безопасности пациентов процедура проводится только по направлению лечащего врача и назначению врача-радиолога при наличии клинических показаний.

В организм пациента вводится оптимальная активность радиофармпрепарата, обеспечивающая получение достоверной диагностической информации. Пациенту следует соблюдать требования и рекомендации, установленные нормативной документацией, действующими инструкциями и правилами внутреннего распорядка в данном учреждении.

Радиационная безопасность персонала в подразделениях обеспечивается:

— ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего профессионального и (или) аварийного облучения;

— достаточностью коллективных средств радиационной защиты и ограничением продолжительности работ с радионуклидными источниками;

— тщательным соблюдением тех требований и рекомендаций для персонала, которые описаны в должностных инструкциях и в нормативнотехнической документации;

— применением индивидуальных средств радиационной защиты;

— организацией радиационного контроля;

— проведением эффективных мероприятий по профилактике и ликвидации радиационных аварий.

При проведении радионуклидных диагностических процедур администрация учреждения (клиники, больницы, другой организации) обеспечивает:

— планирование и осуществление мероприятий по обеспечению радиационной безопасности;

— осуществление контроля за радиационной обстановкой на рабочих местах, в помещениях и на территории учреждения;

— осуществление индивидуального контроля и учета индивидуальных доз облучения пациентов и профессионального облучения персонала в рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения;

— проведение обучения, регулярной переподготовки и аттестации руководителей и исполнителей работ в подразделениях радионуклидной диагностики, специалистов службы радиационной безопасности, а также других лиц, постоянно или временно выполняющих работы с источниками излучения, по вопросам обеспечения радиационной безопасности;

— регулярное проведение инструктажа и проверки знаний персонала в области радиационной безопасности;

— проведение предварительного (при поступлении на работу) и периодических (не реже одного раза в год) медицинских осмотров персонала;

— регулярное информирование персонала об уровнях облучения на рабочих местах и величинах полученных индивидуальных доз профессионального облучения;

— реализацию прав граждан в области обеспечения радиационной безопасности.

Получение, хранение (рисунок 26) и проведение работ с радионуклидными источниками излучения разрешается только при наличии санитарноэпидемиологического заключения на право работы с источниками ионизирующего излучения в данном подразделении.

Работа с радиофармпрепаратами разрешается только в тех помещениях и с теми радиофармпрепаратами, которые указаны в санитарно-эпидемиологическом заключении. На дверях каждого помещения указывается его назначение, класс проводимых работ с открытыми радионуклидными источниками и знак радиационной опасности.

В помещениях, где проводятся работы с радиофармпрепаратами, не допускается проводить другие работы и размещать оборудование, не предусмотренные в санитарно-эпидемиологическом заключении.

Количество работающих в помещении, где проводятся работы с открытыми радионуклидными источниками, ограничивается минимумом для данной технологии. Лицам, в том числе и относящимся к персоналу, но не участвующим в этих работах, находиться в данном помещении не следует.

Необходимо исключить загрязнение кожи рук и лица персонала, а также рабочих поверхностей. Для этого используют средства индивидуальной защиты, санитарную обработку. Персонал должен соблюдать правила личной гигиены и техники безопасности.

Планировочные мероприятия сводятся к строгому разделению помещений на радиационно «грязные» и «чистые», к созданию поточности помещений (хранилище — манипуляционная — процедурная — операционная — палаты). Для исключения загрязнения рабочей обстановки подбирают соответствующие покрытия, не адсорбирующие радиоактивные вещества, простую по конструкции, легко моющуюся мебель с гладкими поверхностями.

Герметизация аппаратуры и оборудования позволяет максимально ограничить поступление радиоактивных веществ в воздух рабочей зоны.

Для этой цели используют различные камеры-боксы, устройства приточновытяжной вентиляции и вытяжные шкафы.

В помещениях, где проводятся работы с радиофармпрепаратами, возможно применение «малой механизации», автоматических пипеток, защитных устройств для переливания жидкостей и т. д.

Образующиеся радиоактивные отходы должны дезактивироваться: газообразные путем очищения через соответствующие фильтры, жидкие — выстаиванием и разбавлением. Твердые отходы собирают в специальные емкости для отправления на централизованный пункт захоронения радиоактивных отходов.

В отделениях открытых радионуклидов широко используют меченые атомы для диагностических и лечебных целей. С помощью генераторов высокой активности получают различные меченые соединения короткоживущих радионуклидов непосредственно в медицинских учреждениях. Это позволяет включить доставку радиоактивных веществ в больницу, ликвидировать некоторые радиологически опасные процедуры, сократить время на обследование больных. В настоящее время объем радиодиагностических исследований с помощью генераторов короткоживущих радионуклидов увеличивается.

Короткоживущие радионуклиды чаще получают в специальном генераторе. В стеклянной колонке на алюминиевой ложке закрепляется радиоактивный нуклид-производитель, например, молибден-99 или олово-113.

Сверху в колонку нагнетают изотонический раствор хлорида натрия. Благодаря избыточному давлению происходит как бы вымывание короткоживущих радионуклидов в этот раствор (элюат). Затем элюат фильтруют, набирают в шприц и вводят больному. Вся конструкция генератора заключена в свинцовый футляр. Элюат используется для диагностики нарушений кровообращения и визуализации полостей сердца. Могут быть использованы коллоидные соединения (меченый желатин, альбумин, железоскорбиновый комплекс) для диагностики заболеваний внутренних органов и головного мозга. Вклад в суммарную дозу облучения этой рабочей операции невелик.

Доза облучения врачей при эксплуатации генераторов в среднем составляют 2 мЗв/мес, медсестер — 2–2,5 мЗв/мес. Конструкция генераторов постоянно

совершенствуется, что приводит к дальнейшему снижению мощностей доз на рабочих местах и сокращению длительности процедур.

Все работы с открытыми радиоактивными источниками делятся на несколько этапов: выгрузка из машины доставленного в отделение транспортного контейнера с радиоактивным веществом, его перенос в хранилище, вскрытие транспортного контейнера, перегрузка первичной упаковки с радиоактивным веществом в рабочий контейнер, его транспортировка из хранилища в фасовочную, где проводится подготовка препарата к использованию (фасовка, стерилизация), далее транспортировка подготовленных препаратов из фасовочной в процедурную, где препарат вводят больному.

Затем больного транспортируют в палату, где происходит его обслуживание, удаление радиоактивных биологических отходов, смена белья (белье доставляют в специальное помещение для выдержки в течение определенного времени в соответствии с периодом полураспада радионуклида и отправляют в прачечную). Персонал осуществляет также сбор твердых радиоактивных отходов, дезактивацию инструментария и рабочей обстановки. Все виды работ выполняют с использованием защитного оборудования, экранирующих устройств, контейнеров для сбора и хранения радиоактивных отходов.

Величина дозовых нагрузок у персонала будет зависеть от вида рабочей операции и времени ее выполнения. Как показали исследования, среднемесячные дозы облучения всего тела у врачей в отделениях открытых радионуклидов составляют 0,3–1,5 мЗв. Локальные дозы облучения кистей рук колеблются от 10 до 14 мЗв/мес. Доза облучения глаз врачей за счет бета-потокa при работе с радиоактивным золотом может составить 0,7–1 мЗв/мес.

В системе радиационной защиты при работе с открытыми радиоактивными источниками большое значение имеют средства индивидуальной защиты. К ним относятся спецодежда, спецобувь, средства защиты органов дыхания, глаз и рук. В медицинской практике используют халаты, шапочки, хлопчатобумажное белье, а также нарукавники и фартуки из эластичной и прочной пленки. Для защиты органов дыхания применяют фильтрующие респираторы типа «Лепесток» из легкой синтетической ткани. Такие респираторы задерживают аэрозоли до 99,99 % и могут быть одноразового пользования или кратковременного применения. После использования респиратор причисляют к твердым радиоактивным отходам.

Для защиты органов дыхания, особенно от бета-потокa и нейтронов, используют специальные щитки из оргстекла.

Все виды работ с открытыми радиоактивными источниками выполняют в резиновых перчатках. При работе перчатки не должны быть загрязнены радиоактивными веществами. Перчатки снимают с рук таким образом, чтобы их изнанка всегда оставалась внутри.

В рабочих помещениях запрещается принимать пищу, курить, пользоваться косметикой, хранить домашнюю одежду и обувь.

В случае загрязнения кожи, рабочей одежды и поверхностей необходимо немедленно вымыть руки теплой водой с хозяйственным мылом, провести дезактивацию поверхностей растворами поверхностно-активных веществ (стиральный порошок, сульфанол) или комплексообразующих соединений (аминополикарбоновые кислоты, лимонная, щавелевая кислоты и др.). Спецoдежду стирают в специальных прачечных и затем подвергают дозиметрическому контролю.

К числу основных профилактических мероприятий по обеспечению



радиационной безопасности персонала, работающего с открытыми радиоактивными источниками, относятся следующие:

1. Размещение и планировка помещений.
2. Отделка помещений.
3. Защитное и вспомогательное оборудование.
4. Рациональные системы вентиляции и канализации.
5. Сбор и удаление радиоактивных отходов.
6. Выбор технологических режимов.
7. Рациональная организация рабочих мест персонала.
8. Соблюдение правил личной гигиены.

Целью медицинского контроля является выявление лиц, имеющих противопоказания для работы с ионизирующим излучением, а также при обнаружении ранних признаков лучевого поражения.

Периодические медицинские осмотры проводятся не реже 1 раза в 12 мес., в случае переоблучения сотрудника или в аварийных ситуациях медицинское обследование осуществляется по показаниям.

Закрытые источники ионизирующего излучения в лучевой диагностике практически не применяются. Также, как и при работе с открытыми источниками ионизирующего излучения, документально предусмотрены специальные требования безопасности к получению, хранению и при работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения. Радиационная безопасность при работе с закрытыми источниками ионизирующих излучений и устройствами, генерирующими ионизирующее излучение, обеспечивается выполнением требований, установленных в главе 14 Санитарных норм и правил «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденных постановлением МЗ Республики Беларусь от 31 декабря 2013 г. № 137.

#### **Радиационная защита от внешнего облучения**

При хранении, фасовке и введении радиофармацевтических препаратов в количестве нескольких десятков МБк дозы, получаемые персоналом от внешнего облучения, могут оказаться большими. Защита от внешнего излучения открытых радиоактивных источников должна предусматриваться не только при их расфасовке (рисунок 28), но и в палатах, где находятся пациенты, которым радионуклиды введены в лечебных целях. На выбор средств защиты влияют многие факторы, главными из которых являются:

- 1) физические характеристики излучения;
- 2) время действия излучения на персонал;
- 3) расстояние между источником излучения и рабочим местом;
- 4) степень экранирования и радиационные свойства защитного материала.

Учет совокупностей этих факторов позволяет рассчитать и осуществить на практике радиационную защиту персонала от внешнего излучения и обеспечить непревышение основных дозовых пределов. Из перечисленных факторов вытекают 3 принципа радиационной защиты: защита временем, расстоянием и экранированием.

#### **Радиационная защита от внутреннего облучения**

Задача защиты при внутреннем облучении более сложная, чем при внешнем, так как когда радионуклид находится внутри организма, изменить

условия в сторону усиления защиты практически невозможно.

Количество радионуклида, поступившего в организм, как и пути его поступления, зависят от ряда факторов, в частности, от активности препарата, характера проводимых работ, использования защитных приспособлений, соблюдения требований радиационной безопасности и организации санитарно-дозиметрического контроля. ОСП-2002 регламентируют количества активности радионуклидов на рабочем месте (защита количеством). Поступление радиоактивных веществ во внешнюю среду предупреждается защитными мероприятиями с назначением не допустить бесконтрольное поступление радионуклидов в зону нахождения персонала. К этим мероприятиям относятся: автоматизация операций с открытыми источниками, использование герметизированных защитных камер, контейнеров и вытяжных шкафов, а также использование средств индивидуальной защиты.

Комплекс защитных мер при работе с радиоактивными веществами в открытом виде должен обеспечивать предотвращение загрязнения воздуха, рабочих поверхностей, кожных покровов и одежды персонала в рабочих и смежных помещениях. Защитные меры должны применяться также и против возможного загрязнения внешней среды — воздуха, воды и почвы.

На всех этапах работы с открытыми радиоактивными веществами, начиная от хранения и кончая непосредственным использованием, наряду с опасностью внешнего облучения существует также опасность внутреннего облучения персонала при попадании радионуклида внутрь организма через органы дыхания и пищеварения и отчасти через кожные покровы. Одно и то же количество радиоактивного вещества при внутреннем облучении представляет большую опасность, чем при внешнем облучении, поскольку в первом случае организм подвергается непрерывному облучению до тех пор, пока радиоактивное вещество не распадется или не будет выведено. При этом слабо проникающие излучения, такие как бета-частицы, полностью поглощаются тканями.

Профилактика внутреннего облучения предполагает радиационный контроль, который осуществляет сотрудник радиологического отделения, прошедший специальную подготовку. Контролируют мощность дозы всех видов излучений на рабочих местах, в смежных помещениях и на территории учреждения; индивидуальные дозы облучения персонала, загрязнения рабочих поверхностей, оборудования, кожных покровов и одежды персонала, содержание радиоактивных газов и аэрозолей в воздухе. Так же осуществляется наблюдение за сбором и удалением радиоактивных отходов.

Применяют разнообразную дозиметрическую аппаратуру для измерения мощности доз ионизирующей радиации и уровня загрязнений, а также индивидуальные дозиметры для оценки доз облучения работающих с источниками ионизирующей радиации.

### **Радиационная защита пациентов при радионуклидной диагностике**

Проведение радиодиагностических процедур, как и рентгенологических, связано с небольшой дозой излучения, неспособной вызвать нестохастические лучевые поражения, однако, как и в рентгеновской диагностике, не исключается возможность стохастических эффектов.

Также, как и в рентгеновской диагностике проводится регламентация дозовых нагрузок на пациентов и персонал при радионуклидной диагностике. Однако защита пациентов на основе физических принципов защиты от ионизирующей радиации в условиях

радионуклидной «in vivo» диагностики возможна только за счет уменьшения количества вводимых в организм радионуклидов. Снижение дозовых нагрузок достигается использованием современных аппаратурных и методических возможностей при сохранении необходимой диагностической информации. Так, натрий йодид (NaI 131), вызывающий сравнительно большое дозовое воздействие, в настоящее время для диагностики практически не применяется. Выше указывались противопоказания к проведению радионуклидных «in vivo» исследований. Противопоказаний к радионуклидным «in vitro» исследованиям нет, так как при этих исследованиях радионуклиды в организм больного не вводятся.

Детям до 14 лет и беременным профилактические исследования не проводятся. Детям в возрасте до 1 года радионуклидные исследования вообще не проводят ввиду их особо высокой чувствительности к ионизирующим излучениям. Не рекомендуется применение радиодиагностических процедур и подросткам в возрасте до 16 лет, если нет жизненных показаний.

Кроме того, радионуклидные исследования запрещаются у женщин в период беременности и у кормящих матерей. Исключение может быть сделано только в тех случаях, когда такое обследование совершенно необходимо в интересах здоровья матери.

При введении пациенту радиофармацевтического препарата с терапевтической целью врач должен рекомендовать ему временное воздержание от воспроизводства потомства.

Введение радиофармацевтических средств с целью диагностики и терапии беременным женщинам не допускается.

При введении с целью диагностики или терапии радиофармацевтических препаратов кормящим матерям должно быть временно приостановлено кормление ребенка грудью. Срок прекращения грудного кормления зависит от вида и количества вводимого препарата и определяется отдельными инструкциями.

### **Обеспечение радиационной безопасности при рентгеновской компьютерной томографии и интервенционной радиологии**

Рентгеновская компьютерная томография — это метод, основанный на технологии использования рентгеновского излучения. Его использование невозможно без воздействия на пациента потенциально вредного ионизирующего излучения. Однако из-за равномерного распределения излучения повреждения (эритема кожи) проявляются редко. При РКТ сердца наиболее существенны стохастические эффекты, когда клеточные мутации могут

привести к раку или генетическим изменениям. По данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Научного комитета ООН по действию атомной радиации, средняя годовая эффективная доза от медицинского облучения на каждого жителя Земли возросла с 0,3 мЗв в 1993 г. до 0,64 мЗв в 2008 г. При этом основной вклад в увеличение средней эффективной дозы обусловлен все более широким применением различных рентгенологических процедур, прежде всего КТ и интервенционной радиологии (ИР). В частности, в США количество процедур КТ увеличилось с 13 млн за 1990 г. до 62 млн за 2006 г. (из них — 7 млн у детей), что привело к повышению средней годовой эффективной дозы до 3,0 мЗв.

Дозообразующими факторами при многосрезовой КТ являются:

- скорость вращения рентгеновского излучателя в гентри КТ-сканера;
- ширина дуговой детекторной сборки многосрезового КТ-сканера;

- объем сканируемого участка тела;
- протокол КТ-сканирования, в том числе и количество серий сканирования.

### **Обеспечение радиационной безопасности персонала**

Как и для пациентов, для обеспечения радиационной безопасности персонала необходим целый комплекс мер, большинство из которых носит технологический характер.

В руководстве по снижению уровней облучения персонала при ИРпроцедурах, составленных Обществом интервенционной радиологии США и Европейским обществом сердечно-сосудистой и интервенционной радиологии, подчеркивается, что наиболее эффективной мерой общего обеспечения радиационной безопасности персонала является максимально возможное снижение уровня облучения пациента. Такая ситуация характеризуется взаимным выигрышем как для пациентов, так и для персонала

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

1. Минимизация продолжительности рентгеноскопии. Она должна быть использована только для наблюдения за объектами и структурами, находящимися в движении. Для идентификации, детального изучения, консультаций и обучения изображения надо получать в режиме рентгенографии вместо дополнительной рентгеноскопии. Если имеется возможность получения закольцовки рентгеноскопических изображений, то лучше пользоваться только ею. Предпочтителен режим импульсной рентгеноскопии вместо непрерывного просвечивания.
2. Минимизация количества рентгенографических съемок. Например, для цифровой артериографии рекомендуется использовать режим регистрации одного изображения за 6 с, потом по одному изображению за 24 с, вместо обычного режима 2 изображения за 30 с. При необходимости документирования снимка следует запомнить последнее по времени изображение вместо получения дополнительных изображений по завершению рентгеноскопии, либо опять использовать закольцовку.
3. Использование всех доступных технологий снижения доз облучения пациента. Это — снижение мощности дозы при рентгеноскопии, импульсная рентгеноскопия с низкой частотой накопления изображений, спектральная фильтрация пучка, некоторое повышение напряжения на трубке, использование катетеров с рентгенонепрозрачными дистальными окончаниями и, конечно, систем автоматического контроля экспозиции. Снижение качества получаемых в результате этого низкодозовых изображений можно компенсировать соответствующей компьютерной обработкой. Детей и худых взрослых следует визуализировать без антирассеивающей решетки.
4. Использование оптимальной геометрии визуализации, т. е. при максимально возможном расстоянии между рентгеновским излучателем и телом пациента и при минимально возможном расстоянии между телом пациента и детектором рентгеновского излучения.
5. Использование оптимальной коллимации излучения. Снижение площади облучаемого участка уменьшает уровень облучения пациента и улучшает качество визуализации за счет снижения влияния рассеянного излучения.
6. Использование всей доступной информации для планирования ИРпроцедуры, это, прежде всего, предварительно полученные данные УЗИ, МРТ и диагностической КТ.
7. Нахождение оператора в зонах отсутствия или наименьшего уровня рассеянного излучения.

8. Всемерное использование средств радиационной защиты. В практике ИР используют три вида средств радиационной защиты: архитектурностроительные (стационарные), монтируемые на оборудовании (мобильные) и индивидуальные (носимые оператором). Среди мобильных средств надо выделить подвижные экраны из просвинцованного прозрачного пластика (или с содержанием других тяжелых металлов), особенно с потолочной подвеской. Они снижают дозу облучения глаза в среднем в 12 раз, щитовидной железы — в 26 раз и руки — в 29 раз. Если подобные экраны отсутствуют, то тогда необходимо работать в защитных очках из просвинцованного стекла. При прямом падении излучения они ослабляют дозу облучения глаза в 8–10 раз, а при падении сбоку от оператора — только в 2–3 раза.

9. Использование специализированных рентгеновских аппаратов, компьютерных томографов и оборудования, адаптированных для проведения только ИР-процедур. Если применяется неспециализированное оборудование, то лучевая нагрузка на пациента и персонал неизбежно возрастет, а сама ИР-процедура будет выполняться с отклонениями от установленного стандартного протокола.

10. Проведение соответствующего обучения и тренинга, в том числе и непосредственно на рабочем месте. Под эгидой МАГАТЭ и Европейской комиссии разработано несколько обучающих программ по ИР, доступных через Интернет и распространяемых на компакт-дисках.

11. Все участвующие в ИР-процедуре должны постоянно носить индивидуальные дозиметры, зафиксированные на теле в правильных позициях. О полученных дозах облучения должны быть информированы как весь персонал, так и пациент.

12. Неукоснительное и регулярное выполнение предварительно составленных программ гарантии качества. Составной частью этих программ должен быть анализ доз профессионального облучения с последующей выработкой мер по их снижению в случаях нарушения протокола исследования и неоправданного повышения накопленных доз. Контролю должны также подвергаться не только аппараты и оборудование, но и мобильные и индивидуальные средства радиационной защиты.

### **Обеспечение радиационной безопасности пациентов**

По сравнению с обычными рентгенодиагностическими исследованиями спецификой методик интервенционной радиологии является резкое возрастание продолжительности облучения больного в режимах как рентгенографии, так и, в особенности, рентгеноскопии. Поэтому данный дозообразующий фактор становится доминирующим по сравнению со всеми остальными. При этом нужно помнить, что облучению подвергаются не только те биологические ткани пациента, которые лежат по направлению распространения первичного пучка рентгеновского излучения, но и окружающие исследуемый участок ткани, которые облучаются когерентно и некогерентно рассеянным излучением.

На современных многосрезовых КТ-сканерах продолжительность облучения существенно меньше, но вследствие конусной геометрии пучка рентгеновского излучения вклад рассеянных фотонов в эффективную дозу облучения пациента значительно выше, чем при техниках интервенционной радиологии.

Специфика ИР-процедур состоит в том, что уровни лучевой нагрузки на пациентов значительно превышают таковые для всех остальных видов лучевой диагностики и ядерной медицины, причем в ряде случаев они могут обусловить клинически выраженные радиационно-индуцированные поражения. Например, при транскатетерной эмболизации

опухолей эффективная доза может достигать 100 мЗв, тогда как при КТ туловища с контрастированием — 20 мЗв, типовой рентгенографии органов грудной клетки — только 0,1 мЗв.

При ИР-процедурах наибольшую опасность представляет собой облучение кожи пациента, особенно со стороны расположения рентгеновского излучателя. Все возникающие радиационно-индуцированные поражения кожи относятся к так называемым детерминированным эффектам радиационного воздействия, которые характеризуются тем или иным дозовым порогом. Его величина зависит от типа поражения и индивидуальной радиочувствительности пациента. Если полученная доза превышает порог, то выраженность и степень тяжести поражения монотонно возрастают с величиной дозы, хотя тяжесть того или иного поражения часто становится ясной только через несколько недель и даже месяцев после облучения при ИР-процедурах.

Также возможны, но очень маловероятны, стохастические радиационные поражения в виде возникновения злокачественных опухолей в тех органах, которые находятся в зоне действия пучка рентгеновского излучения при ИР-процедурах. Считается, что типичная ИР-процедура увеличивает риск возникновения фатального рака в среднем менее, чем на 0,5 %.

При наихудшем сценарии облучения, т. е. при  $E \geq 100$  мЗв риск возрастает на 5 % на каждый 1 Зв накопленной эффективной дозы.

Радиационную безопасность пациентов следует обеспечивать в рамках программы гарантии качества на всех трех основных технологических этапах ИР-процедуры, а именно при ее планировании, ее проведении и постпроцедурной курации пациента.

Основой гарантии качества является целевое обучение рентген-хирурга проведению планируемой ИР-процедуры конкретного типа, причем обучение должно носить не только чисто технологический характер, но и быть направлено на минимизацию уровня облучения пациента. Аппарат и соответствующее оборудование должны быть подвергнуты контролю основных технических характеристик в рамках принятых программ гарантии качества ИР-процедуры. При этом следует использовать только специализированные рентгеновские аппараты, адаптированные для проведения именно планируемой ИР-процедуры. Собственно, планирование должно быть основано на результатах предварительно проведенной диагностической визуализации. В плане снижения общей лучевой нагрузки на пациента здесь предпочтительны те методы, в которых ионизирующее облучение не используется (УЗИ, МРТ, МР-ангиография, МР-холангиопанкреатография и др.) или характеризуется невысоким уровнем (спиральная многосрезовая КТ, КТ-ангиография вместо цифровой разностной ангиографии и др.). При проведении КТ рекомендуется принимать меры по снижению эффективной дозы посредством некоторого снижения напряжения на трубке и использования режима автоматической модуляции тока рентгеновской трубки.

Решающим для снижения лучевой нагрузки на больного является квалифицированное выполнение второго технологического этапа — качественное проведение собственно ИР-процедуры. Первое важное условие качества ИР-процедуры — непрерывный радиационный мониторинг, т. е. непрерывный контроль накапливаемой дозы облучения. За его выполнение должен отвечать радиационный технолог (рентгенолаборант), который в ходе ИР-процедуры должен сообщать рентген-хирургу о достижении одного или нескольких дозовых порогов.

Факторы, увеличивающие дозу воздействия на пациента:

- тонкие срезы;
- нарушение центрации пучка;
- множественные сканы на одном уровне;
- смежные срезы;
- сканы с высоким разрешением;
- старые сканеры с неэффективными детекторами.

Для диагностической КТ и для КТ в составе ИР-процедуры также конкретизированы меры по снижению лучевой нагрузки на пациента. Прежде всего, это назначение диагностической КТ строго по клиническим показаниям, выбор геометрии облучения и режимов КТ-сканирования в соответствии с принятыми диагностическими референсными уровнями и размерами тела пациента.

Однако наиболее эффективным средством снижения дозы облучения пациента теперь является автоматический контроль экспозиции, который уже вводится на всех современных КТ-сканерах.

Функционирование подобных систем основано на 4 принципах, которые могут быть реализованы как самостоятельно, так и в различных сочетаниях.

Первый из них — автоматический выбор экспозиции с учетом отклонения размеров облучаемого участка тела от установленного среднего размера этого участка.

Второй — автоматическое изменение экспозиции в зависимости от локального ослабления пучка излучения для данной области тела; при этом ток трубки изменяется при переходе от одной позиции рентгеновского излучателя к другой.

Третий — автоматическая модуляция экспозиции в зависимости от угловой позиции излучателя: например, в боковой проекции ослабление всегда больше, чем в переднезадней проекции, и ток трубки соответствующим образом увеличивается.

Четвертый — ЭКГ-синхронизация тока при кардиологических исследованиях, позволяющая накапливать КТ-изображения, например, только в стадиях конца систолы и конца диастолы.

Использование автоматического контроля экспозиции позволяет снизить лучевую нагрузку при КТ живота на 25–62 % и грудной клетки — на 12–79 %.

С развитием более мощных КТ-систем доза облучения при КТ сердца постепенно увеличивалась от 10 мЗв и ниже при КТ с 4 рядами детекторов до 15–20 мЗв при КТ с 64 рядами детекторов. При использовании упомянутых выше мероприятий дозу можно понизить до 5–10 мЗв в зависимости от индивидуальных особенностей пациента (размера сердца и сердечного ритма), а также доступных дозоснижающих нововведений в КТ-системе.

Использование пошагового сканирования с ЭКГ триггером у некоторых пациентов может снизить дозу облучения даже менее 5 мЗв. Для сравнения, ежегодное радиационное облучение от естественных источников варьирует в диапазоне 2–4 мЗв, в зависимости от местоположения. Радиационное облучение при классической ангиографии составляет 4–5 мЗв.