

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Физический факультет



БИБЛИОТЕКА МЕДИЦИНСКОГО ФИЗИКА

А. П. Черняев, М.В. Желтоножская, С.М. Варзарь

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

*Рекомендовано методической комиссией
отделения ядерной физики
физического факультета МГУ*

Москва
2019

УДК 61:53(075.9)

ББК 53.6

Б 69

Б 69 Черняев А. П., Желтоножская М.В., Варзарь С.М.

Радиационная безопасность: Учеб. пособие — М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. — 98 с. — (Серия «Библиотека медицинского физика»)

ISBN 978-5-6042768-9-1

Серия основана в 2017 году.

Редакционная коллегия: д. ф.-м. н. А. П. Черняев (главный редактор); д. б. н. В. В. Розанов (зам. главного редактора); д. т. н. Б. Я. Наркевич; к. ф.-м. н. С. М. Варзарь; к. ф.-м. н. А. В. Белоусов; к. ф.-м. н. П. Ю. Борщеговская; к. ф.-м. н. У. А. Близнюк; к. т. н. М. В. Желтоножская; Е. Н. Лыкова

Пособие предназначено для слушателей дополнительной профессиональной образовательной программы профессиональной переподготовки в области медицинской физики, для студентов, обучающихся по специальностям «Ядерная физика», «Физика и техника ускорителей», «Медицинская физика», а также полезным студентам, аспирантам докторантам и специалистам, планирующим работать в области медицинской физики. В настоящем пособии рассматриваются основные понятия радиационной безопасности, нормативные документы и методические указания для основных технологических процессов ядерной медицины.

УДК 61:53(075.9)

ББК 53.6

ISBN 978-5-6042768-9-1

© Коллектив авторов, 2019

Содержание

Введение	5
Глава 1. Общие принципы радиационной безопасности	8
1.1. Принцип обоснования радиационной безопасности практической деятельности	11
1.2. Оптимизация защиты.....	12
1.3. Нормирование и пределы индивидуальных доз.....	13
Глава 2. Физические основы радиационной безопасности	14
2.1. Ионизирующее излучение	14
2.2. Взаимодействие заряженных частиц с веществом...	15
2.3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом	17
2.4. Дозиметрические величины	18
Глава 3. Биологические основы радиационной безопасности	20
3.1. Детерминированные эффекты	26
3.2. Стохастические эффекты.....	27
Глава 4. Нормы радиационной безопасности при нормальных условиях эксплуатации источников излучения (НРБ-99).....	30
Глава 5. Особенности реализации радиационной безопасности пациентов в ядерной медицине	33
5.1. Обеспечение радиационной безопасности в подразделениях лучевой терапии	37

5.2. Радиационная безопасность при проведении лучевой терапии с использованием закрытых источников ионизирующего излучения	40
Глава 6. Общие требования радиационной безопасности к помещениям для лучевой терапии	45
Глава 7. Перечень типичных помещений для дистанционного гамма- терапевтического облучения и требования к их радиационной защите	51
Глава 8. Перечень типичных помещений для контактного гамма-терапевтического облучения и требования к их радиационной защите	54
Глава 9. Требования к техническому оснащению подразделений лучевой терапии.....	59
Глава 10. Требования к методам проведения лучевой терапии.....	66
Глава 11. Профилактика и устранение последствий радиационных аварий	69
Глава 12. Обеспечение радиационной безопасности пациентов	75
Глава 13. Обеспечение радиационной безопасности персонала.....	78
Глава 14. Методы контроля обеспечения радиационной безопасности	83
14. 1. Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения	86
14. 2. Радиационно-дозиметрический контроль	89
внутреннего облучения персонала	89
14. 3. Групповой дозиметрический контроль.....	91
Литература.....	96

Введение

Под радиационной безопасностью (РБ) понимается комплекс научно-обоснованных мероприятий по обеспечению защиты настоящего и будущего поколения людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения (ИИ). Главной целью РБ является охрана здоровья населения, включая категории лиц, работающих с техногенными источниками излучений, от вредного воздействия ИИ путем установления и соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности при использовании излучения в медицине, науке и в различных областях хозяйства.

Создание нового поколения линейных ускорителей электронов и протонов для проведения высокотехнологичной лучевой терапии, гамма-терапевтических аппаратов для дистанционного и контактного облучения, компьютерных рентгеновских, магниторезонансных, позитронно-эмиссионных томографов для получения трехмерной информации о внутренней структуре тела и расположении в ней опухолевых очагов и органов риска, компьютерных систем планирования облучения, симуляторов для нанесения на тело облучаемых пациентов маркеров, по которым они будут размещаться на лечебных столах аппаратов для облучения усилило потребность в медицинских физиках и инженерах, обеспечивающих качество лучевого лечения пациентов. Существенно возросла сложность компьютерного планирования облучения с модулированной интенсивностью излучения, стереотаксического облучения, оптимального подвижного облучения с динамически изменяющимися

мощностью дозы, скоростью вращения штативов ускорителей, размерами и конфигурацией полей облучения за счет применения программ инверсной оптимизации. В связи с этим медицинские физики стали играть ведущую роль в предлучевой подготовке пациентов к облучению, а контроль качества современного технологического процесса лучевой терапии стал одной из главных задач физиков и инженеров радиологических отделений наряду с расчетами сложных планов облучения.

Поэтому важными требованиями, которые предъявляются к медицинским физикам, работающим в медицинских учреждениях, являются:

- обеспечение технического обслуживания оборудования и аппаратуры в организациях здравоохранения;
- осуществление своевременной поверки и калибровки медико-физического оборудования;
- обеспечение точности и безопасности физических методов, применяемых в клинической практике для проведения диагностики и лечения заболеваний пациентов;
- разработка и внедрение приспособлений и технологий для обеспечения качества диагностических и терапевтических процедур;
- участие в проведении экспертной оценки проектов реконструкции и строительства помещений для размещения медицинского оборудования для лучевой диагностики, терапии и ядерной медицины;
- ведение необходимой медико-физической и технической документации;
- организация работы по разъяснению работникам организации здравоохранения вопросов обеспечения безопасности пациентов и работников, рационального использования медико-физических технологий и аппаратуры;
- составление необходимой отчетности;

- знание основ нормативных правовых актов, регулирующих их деятельность в области здравоохранения.

Новая сложная техника лучевой терапии требует более тщательного контроля качества ее работы, особенно в процессе многолетней эксплуатации. В этих условиях решающее значение имеет гарантия качества лучевой терапии, представляющая собой систему мероприятий, направленных на соблюдение качества технологического процесса лучевого лечения на всех его этапах.

Применение высокотехнологичной лучевой терапии привело к усложнению процедур радиационной защиты пациентов и персонала. Усложнились методы расчета защиты процедурных помещений, в которых устанавливаются ускорители.

Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ), Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и др. организациями выпущено большое количество рекомендательных документов по радиационной защите персонала и пациентов при проведении высокотехнологичной лучевой терапии, а также по контролю ее качества. На основании этих рекомендаций были разработаны национальные нормативные документы и методические указания по радиационной безопасности для основных технологических процессов ядерной медицины, которые и приведены в этом учебном пособии.

Глава 1.

Общие принципы радиационной безопасности

Радиационная безопасность — это наука и практика ограничения ущерба, наносимого человеку ионизирующим излучением (ИИ). И если риск определяется как комбинация вероятности вредных последствий и их величины, то риск от ионизирующего излучения можно выявить путем исследования заболеваемости населения, подвергшегося облучению высокими дозами.

Методологической основой РБ является разработка критериев для оценки ионизирующего излучения как вредного фактора воздействия на человека, популяцию в целом и на объекты окружающей среды. Эта задача решается на основе анализа радиобиологических данных о воздействии ИИ на живые организмы. Наиболее важным результатом является установление количественной связи между уровнями облучения и эффектом от воздействия излучения. В конечном итоге это приводит к установлению системы величин для оценки уровня облучения (так называемых дозиметрических величин), которые однозначно связаны с эффектом и подлежат определению с помощью различных средств измерений (дозиметров, радиометров, спектрометров и т.д.). На основе установленных дозиметрических величин и критериев безопасности законодательно утверждаются количественные допустимые пределы (основные пределы доз) воздействия ИИ.

В настоящий момент существует разработанная система допустимых пределов воздействия ионизирующего излучения на человеческий организм, оформленная в виде законодательных документов Норм Радиационной Безопасности (НРБ).

Деятельность человека, которая повышает общее облучение, в радиационной безопасности называется практической деятельностью. Практическая деятельность может заключаться в использовании нового оборудования или технологий (например, новая технология в ядерной медицине, новый метод рентгенографии грудной клетки) или в изменении существующих одной или нескольких радиационных технологий, приводящем к увеличению облучения или образования радиоактивных отходов, загрязняющих окружающую среду (например, изменение химической технологии, в результате которого наблюдается увеличение содержания летучих радиоактивных веществ, выброшенных в атмосферу).

Поэтому второй немаловажной задачей радиационной безопасности является разработка систем радиационного контроля. Различные условия эксплуатации радиационных установок, набор используемых радиоактивных источников, экономия материальных средств диктуют необходимость осознанного выбора средств и частоты измерения уровня радиации, концентрации радиоактивных веществ.

Облучение определяется как текущий процесс воздействия на человека излучений и радиоактивных веществ. Облучение ионизирующим излучением сопровождается получением дозы облучения, а уровень получаемой дозы зависит от многих факторов. Облучение может быть внешним (т.е. от источников вне тела человека) или внутренним (т.е. от источников внутри тела человека).

Понятие потенциального облучения введено, чтобы охватывать ситуации вероятного воздействия, которое не

обязательно должно происходить. Система радиационной защиты призвана контролировать вероятность и размер потенциального облучения. МКРЗ определяет три типа облучения.

- *Профессиональное облучение* — это облучение человека на рабочем месте и главным образом в результате работы, которую он выполняет. Оно может контролироваться на трех уровнях: уровень источника (например, контроль физической защиты), уровень окружающей среды (например, вентиляция) и уровень работника (методика работы, защитная одежда).

- *Медицинское облучение* — это облучение человека в ходе медицинской диагностики или лечения. Облучение контролируется на тех же трех уровнях, что и при профессиональном облучении, но включенных в схему диагностики и лечения, а не системы радиационной защиты.

- *Облучение населения* — это облучение людей другим путем, кроме профессионального или медицинского облучения. Контроль должен быть применен к источнику. Его следует применять к окружающей среде или людям, если контроль источника неэффективен, как, например, при серьезных авариях.

Естественный уровень облучения — это облучение от природных источников.

Для того чтобы сравнивать величину (или уровень) облучения от различных источников, необходимо количественно определять степень облучения.

Система радиационной защиты, рекомендованная МКРЗ, основана на трех основных принципах. Эти принципы известны как *обоснование*, *оптимизация* и *нормирование* (ограничение доз). МКРЗ рекомендует, чтобы эти три главных принципа применялись для контроля новой и текущей практической деятельности. На рис.1 показана взаимосвязь между системой

радиационной защиты и этими тремя принципами. Важно помнить, что ни один из принципов не должен использоваться самостоятельно. Эффективная система радиационной защиты должна использовать все три принципа, чтобы гарантировать, что дозы облучения поддерживаются на настолько низком уровне, насколько это возможно.

1.1. Принцип обоснования радиационной безопасности практической деятельности

В терминах радиационной защиты решения, касающиеся осуществления новой или продолжения существующей практической деятельности, должны принимать во внимание риски возникновения радиационных эффектов в результате такой деятельности. Практическая деятельность, которая связана с облучением или потенциальным облучением, должна осуществляться только при условии, что она принесет достаточную пользу отдельному человеку или обществу, которая превысит вред или ущерб здоровью, которые связаны с этой деятельностью.

Принцип обоснования реализуется с учетом следующих требований:

- лучевая терапия проводится строго по медицинским показаниям лишь в тех случаях, когда отсутствуют альтернативные методы лечения, пациент отказывается от альтернативных методов лечения или альтернативные методы лечения приводят к клинически худшему результату;
- польза для пациента от ожидаемого терапевтического эффекта, безусловно, должна превосходить ожидаемый вред от полученной дозы облучения;
- риск отказа от лучевой терапии должен заведомо превышать риск от облучения при ее проведении.

1.2. Оптимизация защиты

Индивидуальные дозы, количество облучаемых лиц, вероятность и величина потенциального облучения должны поддерживаться на разумно достижимом низком уровне, принимая во внимание экономические и социальные факторы. Так формулируется принцип ALARA. Эта аббревиатура расшифровывается следующим образом:

[A]s	<i>так</i>
[L]ow	<i>низко</i>
[A]s	<i>насколько</i>
[R]easonably	<i>разумно</i>
[A]chievable	<i>достижимо</i>

Согласно этому принципу к источникам излучения и оборудованию должна быть применена лучшая практически-реализуемая защита и возможные меры безопасности, с учетом совместного рассмотрения всех социальных и экономических факторов.

Принцип оптимизации или ограничения уровней облучения при проектировании и эксплуатации кабинетов лучевой терапии осуществляется посредством:

- поддержания доз облучения пациентов на таких низких уровнях, которые возможно достичь при условии обеспечения необходимого объема и качества терапевтического эффекта, с учетом экономических и социальных факторов;
- максимально возможного снижения поглощенной дозы облучения нормальных органов и тканей, окружающих мишень, при обеспечении терапевтически эффективной дозы облучения мишени и исключении высокой вероятности поздних постлучевых повреждений;
- поддержания доз профессионального облучения персонала на таких низких уровнях, которые возможно достичь с учетом экономических и социальных факторов.

1.3. Нормирование и пределы индивидуальных доз

МКРЗ рекомендует, чтобы индивидуальное облучение было ограничено дозовыми пределами, которые вводятся с целью предотвращения неприемлемого риска, исключения детерминированных эффектов и минимизации стохастических эффектов для любого человека.

Дозовые пределы определяются как уровень дозы, который не должен быть превышен при нормальных контролируемых условиях практической деятельности. Дозовые ограничения — это способ контроля доз от нескольких источников. Граничная доза — это ограничение максимальной дозы, которая может быть получена от отдельного источника. Установленные законом ведомства контролируют потенциальные дозы облучения местного населения, применяя соответствующие дозовые ограничения.

Принципы радиационной защиты должны осуществляться на трех уровнях: регулирующем, административном и эксплуатационном.

Глава 2.

Физические основы радиационной безопасности

2.1. Ионизирующее излучение

Ионизирующим излучением называется любое излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разных знаков. Ионизирующее излучение представляет собой поток частиц, обладающих дискретным или непрерывным спектром энергии. Эти частицы могут обладать электрическим зарядом (α -частицы и электроны) или не иметь (гамма-кванты и нейтроны) электрического заряда.

Ионизирующее излучение делится на *непосредственное* и *косвенное*. Непосредственное ионизирующее излучение состоит из заряженных частиц, например, из электронов, протонов, α -частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении, которые выбивают орбитальные электроны из атомов прямо при кулоновском взаимодействии.

Косвенное ионизирующее излучение состоит из незаряженных частиц, например, из нейтронов или фотонов, создающих непосредственно ионизирующее излучение и (или) вызывающих ядерные превращения. Энергия этих частиц передается вначале заряженной частице (электрону или протону), а затем эти вторичные частицы уже производят ионизацию атомов и (или) вызывают ядерные превращения.

К фотонному излучению относятся: γ -излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер, при ядерных превращениях или при аннигиляции частиц; тормозное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц; характеристическое излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома; рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений.

К корпускулярному излучению относится ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля, т.е. α -и β -частицы, нейтроны, протоны, мезоны и др.

Ионизирующее излучение, состоящее из частиц различного вида или частиц и фотонов, называется *смешанным ионизирующим излучением*.

Различают *моноэнергетическое* и *немоноэнергетическое* ионизирующее излучение. Под моноэнергетическим понимается ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой кинетической энергией. Немонэнергетическое излучение имеет фотоны разной энергии или частицы одного вида с разной кинетической энергией.

Законы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом являются теоретической и практической основой радиационной защиты, на них базируются методы расчета защиты и методы регистрации ионизирующего излучения.

2.2. Взаимодействие заряженных частиц с веществом

Заряженные частицы, проходя через вещество, постепенно теряют энергию в основном в результате взаимодействия

с электронами атомов, а также с электрическим полем ядра. В процессе взаимодействия с электронами атомов кинетическая энергия α - и β -частиц растрачивается на ионизацию, т.е. на отрыв электронов от атома, и на возбуждение атомов и молекул (ионизационные потери энергии).

Взаимодействуя с электрическим полем ядра, заряженная частица тормозится и меняет направление своего движения, при этом происходит испускание излучения, которое по своей характеристике близко к рентгеновскому и называется тормозным рентгеновским излучением. Уменьшение кинетической энергии заряженных частиц в электрическом поле ядра составляет радиационные потери, которые будут тем значительнее, чем больше порядковый номер атомов среды (плотность вещества) и энергия частиц.

Исходя из этого, в практической работе для защиты от бета-излучения целесообразно использовать материалы малой плотности, такие, как плексиглас, стекло, полимеры и т.п. При прохождении через вещество заряженных частиц происходит передача ими своей энергии, расходуемой на возбуждение и ионизацию атомов и молекул. Для количественного определения переданной веществу энергии вводят понятие линейной передачи энергии S :

$$S = dE/dl,$$

где dE — энергия, теряемая заряженной частицей в среде при прохождении элемента пути dl .

Заряженные частицы проходят разное расстояние в веществе в зависимости от их энергии и свойств мишени. Для количественного определения этого расстояния вводят понятие длины свободного пробега частицы. Можно показать, что длина свободного пробега обратно пропорциональна отношению Z/A , где Z — атомный номер атомов мишени,

а A — их массовое число. В воздухе на 1 см пути α -частица образует несколько десятков тысяч пар ионов, в то время как β -частица — 50–100 пар ионов.

Проходя через вещество, заряженные частицы постепенно теряют энергию и скорость, поэтому плотность ионизации вдоль пути частицы возрастает и достигает наибольшей величины в конце пути. Процесс ионизации будет происходить до тех пор, пока энергия α - и β -частиц будет способна производить ионизацию. В конце пробега α -частица присоединяет к себе два электрона и превращается в атом гелия, а β -частица (электрон) может включиться в один из атомов среды или на какое-то время остается свободным электроном.

Путь, проходимый α - или β -частицей в веществе, на протяжении которого она производит ионизацию, называется пробегом частицы. Пробег α -частиц в воздухе может достигать 10 см, а в мягкой биологической ткани — нескольких десятков микрон. Пробег бета-частиц в воздухе достигает 25 см, а в биологической ткани до 1 см.

2.3. Взаимодействие гамма-излучения с веществом

Гамма-кванты при прохождении через вещество способны взаимодействовать с ним тремя путями:

- *фотозффект*, при котором γ -квант выбивает из электронной оболочки атома электрон и передает ему свою энергию;
- *комптоновское рассеяние*, при котором γ -квант выбивает из электронной оболочки атома электрон и передает ему часть своей энергии;
- для γ -квантов с энергиями превышающими 1.02 МэВ возможно образование *электрон-позитронных пар* при прохождении квантов в поле атомного ядра.

Нейтроны, проходя через вещество вызывают ядерные реакции так, что в конечном итоге образуются заряженные частицы.

2.4. Дозиметрические величины

Основной физической величиной, используемой в радиационной защите для оценки эффектов влияния ионизирующих излучений на живой организм, является поглощенная доза, усредненная по органу или ткани (т.е. средняя поглощенная доза; энергия, полученная органом, деленная на массу этого органа или ткани). Для детерминированных эффектов (тканевых реакций) поглощенная доза усредняется по сильно облученной части ткани, такой как объем облученной кожи в прямом поле излучения. Единицей СИ поглощенной дозы является джоуль на килограмм (Дж/кг) и ее специальное наименование — грей (Гр).

При медицинской визуализации с использованием рентгеновских лучей поглощенные дозы в органах или тканях пациента, подвергающегося диагностическим или интервенционным процедурам, обычно не могут быть прямо измерены. Поэтому для управления дозой, получаемой пациентом, используются измеряемые величины, которые характеризуют поле внешнего излучения. К ним относятся такие простые величины, как поглощенная доза в тканеэквивалентном материале на поверхности тела или в фантоме, но также и ряд других величин различной сложности в зависимости от природы рентгеновского оборудования. В ядерной медицине используемой измеряемой величиной является введенная активность в беккерелях (Бк).

Некоторые виды излучений более эффективны, чем другие, в отношении вызываемых ими последствий влияния ионизирующих излучений на живой организм. Чтобы

учесть это, была введена величина эквивалентной дозы (средняя поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на безразмерный весовой фактор излучения). Для всех основных излучений, используемых в медицине (фотоны и электроны), весовому фактору излучения присваивается значение 1, так что поглощенная доза и эквивалентная доза численно равны. Для альфа-частиц и тяжелых ионов весовой фактор излучения равен 20, для протонов весовой фактор излучения равен 2, а для нейтронов весовой фактор излучения является непрерывной функцией энергии нейтронов, падающих на тело. Специальное название единицы эквивалентной дозы — зиверт.

Облучение различных органов и тканей в организме приводит к различным вероятностям вреда и различным степеням тяжести. Сочетание вероятности и степени тяжести называется «ущербом», имеется в виду ущерб здоровью. Чтобы выразить комбинированный ущерб от стохастических эффектов, связанный с эквивалентными дозами во всех органах и тканях тела, эквивалентная доза в каждом органе и ткани умножается на весовой фактор ткани, и результаты суммируются по всему телу, что дает эффективную дозу. Специальное название для единицы эффективной дозы — также зиверт (Зв).

Глава 3.

Биологические основы радиационной безопасности

Ионизирующие излучения обладают чрезвычайно высокой биологической эффективностью. Мера чувствительности различных организмов к воздействию ИИ варьирует в широком диапазоне и называется радиочувствительностью. Радиочувствительность отдельного индивида зависит от возраста (наиболее устойчив зрелый возраст), пола и сильно различается уже в пределах одного вида. На уровне организма также существуют свои критические, к действию ИИ, органы, ткани и клетки.

Энергия ИИ передается атомам и молекулам окружающей среды. При первичных радиационно-химических изменениях молекул среды различают прямое и косвенное воздействие ИИ. При прямом воздействии молекула претерпевает изменения непосредственно при взаимодействии с ионизирующим излучением. При косвенном воздействии молекула непосредственно не поглощает энергию от ионизирующих излучений, а получает ее от других молекул.

Поскольку живая материя на 70–90 % состоит из воды, то большая часть энергии излучения первично поглощается именно молекулами воды. Таким образом, в основе косвенного действия ионизирующего излучения лежит воздействие продуктов радиолитиза воды на биомолекулы. В целом для продуктов радиолитиза воды наиболее характерны реакции окисления или восстановления субстрата, образования радиотоксинов.

При воздействии ионизирующего излучения в воде идут процессы ионизации или возбуждения. В результате ионизации из молекулы воды выбивается электрон, и образуется положительно заряженная молекула воды. Если энергии для ионизации недостаточно, то возможно образование возбужденной молекулы воды (H_2O^*). Освободившийся при ионизации молекулы воды электрон постепенно теряет свою энергию и может быть захвачен другой молекулой воды, которая превращается в отрицательно заряженную молекулу воды.

Все перечисленные первичные продукты взаимодействия молекулы воды с излучением (H_2O^+ , H_2O^- , H_2O^*) являются нестабильными и могут распадаться с образованием ионов и свободных радикалов.

Кроме того, выбитый электрон может окружить себя четырьмя молекулами воды и превратиться в гидратированный электрон e_{aq}^- , а затем может быть захвачен молекулой H_2O^+ с образованием возбужденной молекулы воды. Возбужденная молекула воды распадается на атомарный водород H^+ и гидроксильный радикал $\text{OH}^\cdot$. Образовавшиеся радикалы могут вступать в реакцию с другими молекулами воды.

Продукты радиолитического распада воды способны вырывать атом водорода из органических молекул, превращая их в радикалы.

Также продукты радиолитического распада воды могут реагировать с молекулами растворенного кислорода, в результате чего образуются перекисные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью.

Необходимо отметить, что в присутствии кислорода образуются дополнительные реакционноспособные радикалы, которые обладают выраженным поражающим действием. Кроме того, молекула кислорода обладает электроакцепторными свойствами, активно взаимодействует с образующимися при действии излучения радикалами биологических

молекул — фиксирует возникшие в них потенциальные повреждения и делает их труднодоступными для репарации.

То есть, в присутствии кислорода отмечается усиление лучевого повреждения по сравнению с анаэробными условиями. Это явление известно в радиобиологии как кислородный эффект. Количественной мерой кислородного эффекта служит коэффициент кислородного усиления. При облучении отдельных клеток он равен 3, т. е. в присутствии кислорода лучевое повреждение усиливается втрое.

Таким образом, в формировании лучевого повреждения кислород ведет себя двояко: усиливая первичные процессы повреждения в момент воздействия излучения, он одновременно стимулирует процессы внутриклеточного восстановления после облучения.

Также кислородный эффект зависит от линейной передачи энергии (ЛПЭ): с увеличением ЛПЭ он уменьшается и при действии, например, альфа-излучения исчезает.

Таким образом, в клетках живого организма крупные органические молекулы повреждаются прямым действием ИИ либо продуктами радиолиза воды. В результате, спровоцированные свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением, что, в конечном итоге, приводит к нарушению биохимических процессов в организме.

Степень и характер лучевого поражения организма при больших дозах обусловлены радиочувствительностью облученных тканей и органов, а также поглощенной дозой, в том числе и ее распределением во времени. Факторы, определяющие радиочувствительность на тканевом уровне — пролиферативная¹ активность клеток ткани и степень дифференцирования клеток, составляющих данную ткань.

¹ Пролиферация (от лат. *proles* — отпрыск, потомство и *fero* — несу): разрастание ткани организма путём размножения клеток.

На тканевом уровне выполняется правило Бергонье-Трибондо, что радиочувствительность ткани прямо пропорциональна пролиферативной активности и обратно пропорциональна степени дифференцирования составляющих ее клеток. То есть, наиболее радиочувствительные ткани в организме имеют резерв активно размножающихся малодифференцированных клеток — это кроветворная ткань, гонады, эпителий тонкого кишечника. Наименее радиочувствительные (наиболее радиорезистентные) ткани в организме — высокоспециализированные малообновляющиеся (мышечная, костная, нервная ткани). Исключением из правила Бергонье-Трибондо являются лимфоциты, высокоспециализированные клетки с высокой радиочувствительностью.

На органном уровне радиочувствительность зависит не только от радиочувствительности тканей, составляющих данный орган, но и от его функций.

Семенники. Их клетки находятся на разных стадиях развития, наиболее радиочувствительные — сперматогонии, наиболее радиорезистентные — сперматозоиды. После однократного облучения в дозе 0,15 Гр количество спермы может уменьшиться, после облучения в дозе 3,5-6 Гр наступает постоянная стерильность².

Яичники. В яичниках взрослой женщины содержится популяция первичных и вторичных овоцитов, находящихся на разных стадиях развития (их образование заканчивается в ранние сроки после рождения). Данная особенность определяет высокую радиочувствительность женских половых клеток и их неспособность к регенерации. Воздействие однократного облучения в дозе 1-2 Гр на оба яичника вызывает временное бесплодие и прекращение менструаций на

2 Следует отметить, что облучение не оказывает видимого влияния на половую потенцию.

1-3 года, при остром облучении в дозе 2,5-6 Гр развивается стойкое бесплодие.

Желудочно-кишечный тракт — наиболее радиочувствителен тонкий кишечник, далее по снижению радиочувствительности следуют: полость рта, язык, слюнные железы, пищевод, желудок, прямая и ободочная кишки, поджелудочная железа, печень.

Сердечно-сосудистая система. Наиболее радиочувствителен в сосудах наружный слой сосудистой стенки (из-за высокого содержания в нем коллагена). Сердце является радиорезистентным органом, однако при локальном облучении в дозах 5-10 Гр обнаруживается изменения миокарда, при дозе 20 Гр отмечается поражение эндокарда.

Органы дыхания. Легкие у взрослого человека — это стабильный орган с низкой пролиферативной активностью, поэтому последствия облучения проявляются не сразу. При локальном облучении может развиваться радиационный пневмонит с гибелью эпителиальных клеток, воспалением дыхательных путей и легочных альвеол и фиброзом, часто ограничивающим проведение лучевой терапии.

Мочевыделительная система. Почки достаточно радиорезистентны, поэтому влияние на них облучения, кроме высоких доз, проявляется поздно. Облучение в дозах более 30 Гр за 5 недель может вызвать хронический нефрит, что может оказаться ограничивающим фактором при проведении лучевой терапии опухолей органов брюшной полости.

Органы зрения. Для них возможны два типа поражения: воспалительные процессы в конъюнктиве и склере (при дозах облучения 3-8 Гр и лучевая катаракта (при дозах облучения 3-10 Гр), для развития катаракты наиболее опасным является бета-облучение.

Нервная система. Нервная ткань является высоко специализированной и радиорезистентной, поэтому гибель нервных клеток наблюдается при дозах облучения свыше 100 Гр.

Эндокринная система. Эндокринные железы обладают низкой скоростью обновления клеток и у взрослых являются относительно радиорезистентными, у детей эндокринные железы более радиочувствительны.

Костно-мышечная система. У взрослых костная, хрящевая и мышечная ткани достаточно радиорезистентны, однако в детском возрасте или при заживлении переломов радиочувствительность этих тканей повышается. Наибольшая радиочувствительность скелетной ткани характерна для эмбрионального периода на 38-85 сутки эмбрионального развития.

На популяционном уровне радиочувствительность зависит от следующих факторов:

- от особенностей генотипа — в человеческой популяции 10–12% отличаются повышенной радиочувствительностью, что связано с наследственно-сниженной способностью к ликвидации разрывов ДНК либо со сниженной точностью процесса репарации.
- от физиологического состояния организма (сон, бодрость, усталость, беременность) или патофизиологического состояния организма (хронические заболевания, ожоги, механические травмы)
- от пола — мужчины обладают большей радиочувствительностью.
- возраста — наименее радиочувствительны люди зрелого возраста.

Радиочувствительность проявляется и на эволюционном уровне — чем более высокоорганизованным является организм, тем он более радиочувствителен (наиболее радиорезистентны бактерии, наименее радиорезистентны собаки, овцы, обезьяны, человек).

Причиной гибели организма обычно является поражение какого-либо одного органа, критического в данной ситуации. В диапазоне доз 3–9 Гр критической является кровеносная система. Гибель облученного организма наблюдается на 7–15 сутки после лучевого воздействия. Поражение кроветворения проявляется и при не смертельных лучевых поражениях. При этом снижается количество тромбоцитов, что является одной из причин кровоточивости. При лучевом поражении снижается также количество лейкоцитов. И в сочетании все эти факторы способствует развитию инфекционных осложнений.

При увеличении дозы радиации до 10–100 Гр, организмы погибают на 3–5 сутки, когда «костномозговой синдром» еще не успел развиваться. Это происходит по причине поражения другого критического органа — кишечника. Он поражается и при меньших дозах, в диапазоне, когда гибель происходит из-за угнетения кроветворения, но при этом «синдром кишечника» не определяет исхода лучевой болезни, хотя и усугубляет ее тяжесть.

При еще больших дозах радиации (200–1000 Гр), непосредственной причиной гибели облученного организма является массовое разрушение клеток центральной нервной системы.

Таким образом биологические эффекты воздействия радиации на человека могут быть сгруппированы в два типа: детерминированные эффекты (тканевые реакции) и стохастические эффекты (рак и наследственные эффекты).

3.1. Детерминированные эффекты

Если эффект имеет место только в результате гибели многих клеток в органе или ткани, он будет клинически

наблюдаться только при дозах излучения выше некоторого порога. Величина этого порога зависит от мощности дозы (т.е. дозы в единицу времени) и линейной передачи энергии излучения, облучаемого органа или ткани, объема облучаемой части органа или ткани, и рассматриваемого клинического эффекта.

С увеличением дозы выше порога вероятность возникновения эффекта резко возрастает до 100% (т.е. эффект будет наблюдаться у каждого человека, подвергшегося облучению), а тяжесть эффекта будет тоже возрастать с дозой. Такие эффекты называются «детерминированными» (тканевыми реакциями) и могут возникнуть при применении ионизирующего излучения в лучевой терапии, и при интервенционных процедурах, особенно когда интервенционные процедуры под рентгеноскопическим контролем сложны и требуют длительного времени рентгеноскопии или получения многочисленных изображений.

3.2. Стохастические эффекты

Существуют надежные данные клеточной и молекулярной биологии о том, что радиационное повреждение ДНК в одной клетке может привести к измененной клетке, все еще способной к размножению.

Несмотря на защитные силы организма, которые обычно очень эффективны, есть небольшая вероятность того, что этот вид повреждения под влиянием других агентов, не обязательно связанных с излучением, может привести к злокачественным новообразованиям (соматический эффект). Поскольку вероятность мала, это может произойти только у немногих лиц из числа, подвергшихся облучению. Если начальное повреждение нанесено половым

клеткам в гонадах, это может привести к наследственным эффектам.

Вероятность стохастического эффекта, обусловленного излучением, увеличивается с дозой и, вероятно, пропорциональна дозе при низких дозах. При более высоких дозах и мощностях дозы вероятность часто увеличивается с дозой более заметно, чем в простой пропорции. При еще более высоких дозах, близких к порогам детерминированных эффектов (тканевых реакций), вероятность увеличивается более медленно, и может начать снижаться из-за конкурирующего эффекта гибели клеток.

Эти эффекты, как соматические, так и наследственные, называются «стохастическими». Вероятность таких эффектов увеличивается при использовании ионизирующего излучения в медицинских процедурах. Хотя отдельное радиологическое исследование приводит лишь к незначительному увеличению вероятности индукции рака у пациента, в промышленно-развитых странах каждый житель проходит, в среднем, одно такое обследование каждый год, соответственно, увеличивается и совокупный риск.

Расчеты, проведенные в предположении о линейной беспороговой модели воздействия излучения, показывают, что доля случаев смерти от рака в целом у населения, связанных с облучением при радиологических процедурах, может достигать уровня от одного до нескольких процентов смертности от рака.

Кроме того, риск неравномерно распределен среди населения. Некоторые группы пациентов подвергаются обследованиям гораздо чаще из-за состояния их здоровья. Кроме того, некоторые группы показывают более высокую, чем средняя, чувствительность в отношении индукции рака (например, эмбрионы/плоды, младенцы, дети младшего возраста, лица с генетической предрасположенностью).

Более того, рак, возникающий в раннем возрасте, приводит к более значительным потерям времени жизни, чем раковые заболевания, проявившиеся в конце жизни. Все эти обстоятельства указывают на то, что надлежащее обоснование использования излучения и оптимизация радиационной защиты в медицине являются неотъемлемыми принципами радиационной защиты.

Глава 4.

Нормы радиационной безопасности при нормальных условиях эксплуатации источников излучения (НРБ-99)

Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 1;
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА) и среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 1

Основные пределы доз

Нормируемые величины ³	Пределы доз	
	персонал (группа А) ⁴	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза ⁵	150 мЗв	15 мЗв
коже ⁶	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. Исключение

³ Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

⁴ Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы А.

⁵ Относится к дозе на глубине 300 мг/см².

⁶ Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

составляют пределы доз для персонала, которые включают в себя дозы от природного облучения в производственных условиях.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) — 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 г.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 1.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 мес. невыявленной беременности не превысит 1 мЗв.

При установлении беременности женщина обязана информировать об этом администрацию и должна переводиться на работу, не связанную с источниками излучения, на периоды беременности и грудного вскармливания ребенка.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Глава 5.

Особенности реализации радиационной безопасности пациентов в ядерной медицине

В связи с преднамеренным облучением пациентов ионизирующим излучением при проведении лучевой терапии, требуется совсем иной подход к их радиационной защите.

В медицине требуется управлять дозой у пациента так, чтобы она была соизмерима с лечебной целью. Цель состоит в использовании соответствующих доз для получения нужного изображения или желаемого лечения.

Медицинское применение излучения для пациентов носит добровольный характер и сочетается с ожиданием индивидуальной пользы для здоровья пациента. Добровольное решение принимается с той или иной степенью информированного согласия, которое включает не только ожидаемую пользу, но также потенциальные риски (включая излучение). Объем информации, предоставляемой пациенту для получения его информированного согласия, меняется в зависимости от уровня облучения (например, диагностического, интервенционного, или терапевтического) и возможных медицинских условий, которые могут быть возникнуть в связи с радиационным облучением. Как правило, малоинформированное согласие получают при процедурах с низким уровнем риска (таких, как рентген

грудной клетки), более информированное согласие получают для интервенционных процедур, а согласие высокого уровня (как правило, письменное) обычно получают перед лучевой терапией.

Использование излучения в области биомедицинских исследований стоит особняком от добровольного облучения, приводящего к прямой медицинской пользе для индивидуума. В этих условиях добровольного облучения польза приносится обычно обществу, а не отдельному индивидууму. В этом случае всегда необходимо информированное согласие.

Медицинский скрининг бессимптомных пациентов проводится с целью выявления процесса заболевания, который не проявляется клинически. Цель состоит в том, что ранняя диагностика приведет к более раннему и более эффективному лечению и лучшим результатам с точки зрения качества жизни и выживания. Например, нынешняя практика скрининга с использованием ионизирующего излучения (например, маммография), является действенной мерой и рекомендуется для определенных групп населения. С другой стороны, растет использование КТ (в том числе по собственной инициативе) и позитронно-эмиссионной томографии для скрининга заболеваний у бессимптомных пациентов, и большинство из них не оправданы с позиций современной научной литературы.

Пациенты, проходящие скрининг, должны быть полностью информированы о потенциальной пользе и рисках, в том числе о радиационных рисках. Каждое использование ионизирующего излучения для скрининга бессимптомных лиц должно быть оценено и обосновано в отношении его клинической полезности.

В лучевой терапии цель заключается в ликвидации опухолевой ткани-мишени или в смягчении симптомов у пациента. Неизбежны некоторый детерминированный вред

(тканевые реакции) в окружающих тканях и некоторый риск стохастических эффектов в облученных тканях вне мишени, но целью всей лучевой терапии является оптимизация соотношения между вероятностью воздействия на опухоль и осложнений в нормальных тканях.

В медицинской практике имеется широкий диапазон потенциального радиационного ущерба для конкретных пациентов. Ущерб ранжируется от минимального (чаще всего) до (редко) летального исхода.

Примером минимального ущерба будет рентген грудной клетки очень пожилого пациента. В этом случае из-за низкой поглощенной дозы не будет никакой вероятности, детерминированных эффектов (тканевых реакций) и, по существу, никакого риска проявления стохастических эффектов в течение жизни человека из-за возраста пациента.

Примером более значительного потенциального ущерба от излучения является компьютерная томография, при которой пациенты могут получать относительно высокие дозы. Поглощенные дозы в тканях при компьютерной томографии всего тела, как правило, находятся в диапазоне 10–100 мГр. Поэтому бессимптомный 45-летний взрослый человек, который, начиная с этого возраста, подвергается добровольно (по своей инициативе) ежегодной КТ всего тела в течение 30 лет, может получить значительную кумулятивную поглощенную дозу в тканях, т.е. 300–3000 мГр. Эта накопленная поглощенная доза находится на уровне, при котором в эпидемиологических исследованиях человека наблюдалось увеличение вероятности рака.

Также наблюдается растущее число детерминированных поражений (тканевых реакций) в результате неоправданно высоких доз при использовании рентгеноскопии во время интервенционных процедур. Кроме того, в радиационной онкологии допуск на отклонение от режимов

лечения очень мал. Как правило, передозировка свыше 10% приведет к недопустимо высокому риску осложнений. Недостаточная доза приведет к неудаче лечения рака и увеличению числа случаев смерти от рака по сравнению с ожидаемым.

Кроме того, существуют связанные с радиацией риски при внутриутробного облучения для эмбриона/плода во время беременности, которые зависят от срока беременности и дозы, поглощенной эмбрионом/плодом.

При дозах ниже 100 мГр летальные эффекты, связанные с чувствительностью эмбрионов к облучению в доимплантационный период эмбрионального развития очень редки.

В период основного органогенеза, условно принятый с третьей по восьмую неделю после зачатия, излучением могут быть вызваны пороки развития, в особенности в органах, развивающихся в период облучения. Эти эффекты имеют порог около 100 мГр.

С 8-й по 25-ю неделю после зачатия центральная нервная система особенно чувствительна к ИИ. Снижение коэффициента интеллекта не определяется клинически при дозе у плода ниже 100 мГр. В этот же период дозы, полученные плодом, в диапазоне 1 Гр приводят к высокой вероятности тяжелой умственной отсталости. Чувствительность наиболее высока с 8-й по 15-ю недели после зачатия, и более низка с 16-й по 25-ю неделю беременности. На протяжении большей части беременности риск потенциальных канцерогенных эффектов эмбриона/плода считается примерно таким же, как у детей (т.е. примерно в три раза больше, чем у населения в целом). Таким образом важно соблюдать баланс между интересами здоровья пациента и потенциальным пагубным воздействием на здоровье эмбриона/плода, сопровождающим конкретную радиологическую процедуру.

5.1. Обеспечение радиационной безопасности в подразделениях лучевой терапии

Оценка действующей системы обеспечения радиационной безопасности в подразделениях лучевой терапии базируется на основных показателях, предусмотренных Федеральным законом «О радиационной безопасности населения»:

- характеристика возможного и реального радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- анализ обеспечения мероприятий по радиационной безопасности и выполнение санитарных правил в области радиационной безопасности;
- вероятность возникновения радиационных аварий и их возможных последствий;
- степень готовности учреждения к ликвидации радиационных аварий и их последствий;
- анализ доз облучения, получаемых персоналом и отдельными группами населения за счет облучения при нормальной работе подразделений;
- количество лиц, подвергшихся облучению выше установленных пределов доз.

Все вышеперечисленные показатели указываются в радиационно-гигиеническом паспорте организации, заполняемом в установленном порядке и характеризующем уровень обеспечения радиационной безопасности в данной организации.

При проведении лучевой терапии администрация учреждения (клиники, больницы, др. организации) обеспечивает:

- контроль сроков действия разрешительных документов (лицензия, разрешение, санитарно-эпидемиологическое заключение и проч.) органов государственного регулирования радиационной безопасности, а также их своевременное переоформление;

- контроль состояния, обслуживания и ремонта оборудования, влияющего на обеспечение безопасности разрешенной деятельности, в объеме, необходимом для поддержания его исправного состояния; указанное оборудование должно иметь необходимую эксплуатационную документацию;
- беспрепятственный доступ должностных лиц органов государственного регулирования радиационной безопасности на объекты осуществления разрешенного вида деятельности для проведения инспекций, а также предоставление им необходимых справок и сведений по возникающим вопросам;
- разработку и реализацию плана мероприятий по приведению системы обеспечения радиационной безопасности в соответствие с требованиями введенных в действие новых нормативных и организационно-распорядительных документов;
- наличие нормативной документации по обеспечению радиационной безопасности в полном объеме действующих документов и своевременную корректировку ее перечня;
- выполнение требований нормативной документации по обеспечению радиационной безопасности в условиях нормальной эксплуатации радиационных источников и в аварийных ситуациях;
- периодический анализ и оценку радиационной безопасности в учреждении, реализацию мер по совершенствованию обеспечения радиационной безопасности;
- выполнение постановлений и предписаний должностных лиц органов исполнительной власти, осуществляющих государственный надзор и контроль в области обеспечения радиационной безопасности;
- ведение учета и контроля радионуклидных источников по формам государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов;

- сдачу радионуклидных источников, дальнейшее использование которых не предусматривается (включая радионуклидные источники с истекшим сроком службы), в специализированные организации по обращению с радиоактивными отходами для их захоронения;

- осуществление эксплуатации радиационных источников только в назначенный срок эксплуатации. При необходимости эксплуатации сверх назначенного срока — проведение оценки возможности его продления или вывода из эксплуатации в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99;

- физическую защиту радионуклидных источников с целью исключения их хищения и несанкционированного использования;

- необходимую численность и квалификацию работников (персонала), осуществляющих разрешенный вид деятельности;

- планирование и осуществление повышения квалификации работников (персонала) по радиационной безопасности, радиационному контролю, учету и контролю радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, физической защите;

- контроль радиационной обстановки на рабочих местах, в помещениях и на территории учреждения;

- индивидуальный дозиметрический контроль персонала группы А;

- обучение, регулярную переподготовку и аттестацию руководителей и исполнителей работ в подразделениях лучевой терапии, 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;
- своевременное информирование органов Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека о радиационных авариях;
- выполнение заключений и предписаний органов указанной службы;
- реализацию прав граждан в области обеспечения радиационной безопасности.

Ответственность за обеспечение безопасности при работе в кабинетах и отделениях лучевой терапии возлагается на администрацию учреждения.

Администрация учреждения разрабатывает и утверждает инструкцию по радиационной безопасности, включающую положения о порядке работ с источниками ионизирующего излучения, учете, хранении, выдаче источников излучения, производственном контроле, в том числе, радиационном контроле, мерах личной гигиены, а также о действиях персонала в случаях возникновения радиационных аварий в соответствии с требованиями нормативных документов.

5.2. Радиационная безопасность при проведении лучевой терапии с использованием закрытых источников ионизирующего излучения

При проведении дистанционной, контактной (внутриполостной и интратканевой) лучевой терапии закрытыми

радионуклидными источниками ионизирующего излучения в кабинетах и отделениях лучевой терапии лечебно-профилактических учреждений, научно-исследовательских институтов, учреждений высшего и дополнительного профессионального образования и др. регламентируются следующие аспекты радиационной безопасности.

В соответствии с классификацией радиационных объектов по потенциальной опасности кабинеты лучевой терапии должны отвечать требованиям III или IV категории радиационной опасности. Конкретная категория опасности устанавливается на стадии проектирования кабинета лучевой терапии.

Радиационная безопасность в подразделении лучевой терапии обеспечивается:

- обоснованным выбором места и площадки для размещения радиологического корпуса (подразделения лучевой терапии);
- технологически и санитарно-гигиенически обоснованными характеристиками проекта помещений, в которых размещается подразделение лучевой терапии;
- конструкцией и физико-техническими характеристиками радиационно-терапевтических аппаратов и качеством их изготовления;
- рациональной организацией рабочих мест и работ с источниками ионизирующих излучений;
- штатной эксплуатацией радиационно-терапевтической аппаратуры и оборудования;
- использованием средств и технологий коллективной и индивидуальной радиационной защиты от воздействия источников ионизирующего излучения;
- наличием и непрерывным функционированием системы радиационного контроля;
- планированием и проведением конкретных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности

пациентов, персонала и населения при нормальной работе подразделения, реконструкции его помещений и выводе из эксплуатации;

- государственным санитарно-эпидемиологическим над-зором за соблюдением требований радиационной безопасности;
- обучением персонала радиационно-безопасным методам и приемам работы с закрытыми радионуклидными источниками;
- повышением радиационно-гигиенической грамотности пациентов и населения.

Кабинет лучевой терапии может быть введен в эксплуатацию только после оформления санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы санитарным правилам и получения лицензии.

Не допускается использование радиационных источников без санитарно-эпидемиологических заключений и лицензий.

Сведения по текущей профилактике и ремонту оборудования указываются в контрольно-техническом журнале данного кабинета.

Все применяемые методики лучевой терапии должны быть утверждены Федеральным агентством в сфере здравоохранения и социального развития России в виде методических указаний или рекомендаций, или стандартов противоопухолевого лечения. В описаниях этих методик устанавливаются контрольные уровни облучения пациента при выполнении процедур в оптимальном режиме. Числовые значения контрольных уровней облучения пациента должны обеспечивать минимизацию радиационного ущерба при безусловном превосходстве пользы над вредом.

Проектирование, строительство помещений подразделений лучевой терапии, изготовление, монтаж, наладка,

ремонт и сервисное обслуживание аппаратуры, технологического оборудования и средств радиационной защиты осуществляются только организациями, имеющими специальное разрешение (лицензию) на осуществление указанной деятельности.

Санитарно-эпидемиологический надзор за обеспечением радиационной безопасности в отделениях лучевой терапии включает оценку всех условий и факторов, оказывающих влияние на уровни облучения персонала, пациентов и населения, перечисленных в настоящих указаниях.

При работах в подразделениях лучевой терапии возможно воздействие на персонал следующих опасных и вредных производственных факторов, уровни которых не должны превышать величины, указанные в действующих нормативных документах.

Ионизирующее излучение:

- внешнее облучение гамма-квантами от радионуклидных закрытых источников ионизирующего излучения;
- внешнее облучение потоками бета-частиц от радионуклидных закрытых источников ионизирующего излучения;
- возможное радиоактивное загрязнение рабочих поверхностей и повышенное содержание радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений в случае разгерметизации закрытых радионуклидных источников излучения.

Нерадиационные факторы:

- опасный уровень напряжения в электрических цепях аппаратуры и оборудования, замыкание которых может произойти через тело человека;
- повышенный уровень шума, создаваемого электроприборами радиационной аппаратуры, холодильными установками, воздушными вентиляторами и другими установками;
- повышенные физические усилия при эксплуатации оборудования;

- токсичные компоненты защитных материалов (свинец и т.п.);
- лазерное излучение, применяемое в аппаратах лучевой терапии и предлучевой подготовки (прямое, отраженное, рассеянное);
- открытые движущиеся элементы аппаратов, машин и механизмов;
- возможность воздушной и контактной передачи инфекции.

Глава 6.

Общие требования радиационной безопасности к помещениям для лучевой терапии

При выборе мест размещения помещений для подразделений лучевой терапии следует руководствоваться требованиями СанПиН 2.1.3.1375–03 «Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных учреждений», настоящих указаний.

Размещение этих помещений или радиологического корпуса согласовывается с органами Роспотребнадзора. Проектирование, строительство новых и реконструкцию действующих радиологических корпусов, помещений для подразделений лучевой терапии должны выполнять организации, имеющие соответствующие лицензии на проведение данных работ.

Запрещается размещать кабинеты для дистанционного и контактного терапевтического облучения в жилых и общественных зданиях.

Вновь строящиеся отделения и кабинеты дистанционной лучевой терапии должны размещаться в отдельно стоящем радиологическом корпусе, пристройке или отдельном крыле здания медицинского учреждения.

Состав и площади помещений вновь строящихся и реконструируемых кабинетов и отделений, требования к вен-

тиляции, отоплению и освещению помещений должны соответствовать требованиям санитарных правил.

Основными принципами планировочно-функционального расположения помещений кабинетов и отделений должны быть:

- сосредоточение помещений, в которых проводятся работы с радионуклидными источниками ионизирующих излучений, в одном блоке;
- расположение пультов управления радиационно-терапевтических аппаратов в отдельных помещениях;
- возможность организации механизированного транспортирования радионуклидных источников к рабочим местам и автоматизации процесса подготовки радионуклидных источников к эксплуатации.

Помещения для гамма-терапевтических аппаратов дистанционного облучения, требующие усиленных нижних перекрытий или фундамента, как правило, располагаются на первом или цокольном этажах, либо в подвальном помещении (ниже уровня земли).

Вход в процедурные помещения аппаратов лучевой терапии должен быть выполнен в виде защитного лабиринта не менее чем с одним коленом.

Радиационная защита производственных помещений в подразделении лучевой терапии должна рассчитываться и проектироваться специализированной проектной организацией, обладающей соответствующей лицензией на проведение данных работ. Конфигурация, материал и толщина защиты должны обеспечивать не превышение установленных в НРБ-99 основных пределов дозы для персонала и населения.

Расчет радиационной защиты основан на определении кратности ослабления (K) мощности эквивалентной дозы излучения в данной точке в отсутствии защиты до значения проектной мощности дозы:

$$K = \frac{H}{H_{\text{пр}}}$$

где $H_{\text{пр}}$ — проектная мощность дозы, мкЗв/ч; H — средняя за смену мощность дозы в данной точке без защиты, мкЗв/ч:

а) для гамма-терапевтических аппаратов дистанционного облучения:

$$H = \frac{W \cdot 10^2 r^2}{T_{\text{нед}} \cdot R^2},$$

где W — рабочая нагрузка, т.е суммарная доза облучения пациентов за неделю, Гр/нед.; r — расстояние от источника до изоцентра, м; R — расстояние от источника до расчетной точки, м; 10^6 — коэффициент перевода Гр в мкЗв; $T_{\text{нед}}$ — продолжительность работы в неделю, для односменной работы отделения $T_{\text{нед}} = 30$ ч, для двухсменной работы $T_{\text{нед}} = 60$ ч;

б) для гамма-терапевтических аппаратов контактного облучения:

$$H = \frac{H_1 \cdot K_{\text{об}}}{R^2},$$

где H_1 — мощность дозы на расстоянии 1 м от источника, мкЗв/ч; R — расстояние от источника до расчетной точки, м; $K_{\text{об}}$ — доля продолжительности облучения от общей продолжительности работы.

Величина рабочей нагрузки и доли продолжительности облучения указываются в техническом задании на разработку проекта отделения лучевой терапии.

Значения проектной мощности эквивалентной дозы рассчитываются, исходя из основных пределов доз для соответствующих категорий облучаемых лиц и возможной продолжительности их пребывания в помещениях различного назначения или на территории по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{0.5 \cdot 10^3 \cdot \text{ПД}}{t_c n T},$$

где 0.5 — коэффициент, учитывающий коэффициент запаса, равный 2, вводимый при проектировании защиты; 10^3 — коэффициент перевода мЗв в мкЗв; ПД — предел дозы для соответствующей категории лиц по НРБ-99; t_c — стандартизированная продолжительность работы на аппарате лучевой терапии в течение года при односменной работе персонала группы А, $t_c \sim 1500$ ч/год (30-часовая рабочая неделя); n — коэффициент сменности, учитывающий возможность двухсменной работы на аппарате лучевой терапии и связанную с ней продолжительность облучения персонала группы Б, пациентов и населения, $t_p = t_c \cdot n$; T — коэффициент занятости помещения, учитывающий максимально возможную продолжительность нахождения людей в зоне облучения.

Стационарные средства радиационной защиты (стены, пол, потолок, защитные двери и др.) должны обеспечивать ослабление излучения до уровня, при котором не будет превышен предел дозы (ПД) для соответствующей категории облучаемых лиц.

Планировка помещений подразделения лучевой терапии, конструкция стационарных защитных ограждений и перекрытий должны обеспечивать снижение уровней мощностей доз на рабочих местах персонала, в смежных помещениях и на территории, прилегающей к наружным стенам здания, где размещается отделение лучевой терапии, до значений, приведенных в табл. 2.

В помещениях кабинетов, в которых пол расположен непосредственно над грунтом, защита от излучения в этом направлении не предусматривается.

В помещениях кабинетов лучевой терапии, потолок которых находится непосредственно под крышей, защита верхнего перекрытия определяется при проектировании с учетом продолжительности возможного пребывания персонала на крыше во время сеансов облучения, а также

Таблица 2

Допустимая мощность дозы $H_{пр}$, используемая при проектировании стационарной защиты, рассчитанная исходя из значений основных пределов доз (ПД), параметров T , N , t_p для помещений различного назначения

Помещение, территория	$H_{пр}^*$ мкЗв/ч	T, отн. ед.	N отн. ед.	t_p, ч/год	ПД, мЗв/ год
Помещения постоянного пребывания персонала группы А (все помещения, входящие в состав отделений лучевой терапии)	6.0	1	1	1000	20
Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии, в которых размещены постоянные рабочие (места персонала группы Б)	1.2	1	1.2	2000	5
Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии, без постоянных рабочих мест (холл, гардероб, лестничная площадка, коридор, комната отдыха, уборная, кладовая, архив и др.)	5	0.25	1.2	2000	5
Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б (технический этаж, подвал, чердак и др.)	20	0.06	2	2000	5
Палаты стационара (нерадиологические), смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии	0.6	0.25	2	3000	11
Территория, прилегающая к наружным стенам отделений, кабинетов лучевой терапии	1.2	0.12	2	3000	1

с учетом не превышения допустимых уровней излучения в остальных помещениях радиологического корпуса, на прилегающей территории и в соседних зданиях (с учетом возможности последующей застройки). Расчет защиты должен проводиться на прямой пучок излучения и излучения, рассеянного в материале перекрытия и в воздухе.

Все проемы, коммуникационные и технологические каналы в радиационной защите должны быть спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы эффективность защиты в местах их расположения была не ниже расчетной для остальной защиты. Мощность дозы от гамма-терапевтических аппаратов с закрытыми источниками ионизирующего излучения не должна превышать 20 мкГр/ч (мкЗв/ч) на расстоянии 1 м от поверхности защитного блока с источником, находящимся в положении «хранение».

Глава 7.

Перечень типичных помещений для дистанционного гамма-терапевтического облучения и требования к их радиационной защите

Помещения для ожидания больными своей очереди на облучение и на остальные технологические процедуры лучевой терапии должны быть изолированы от других помещений клиники аналогичного назначения, где пациенты ожидают своей очереди на проведение диагностических, лечебных и других процедур, не относящихся к лучевой терапии. Площадь помещения для ожидания на облучение рекомендуется рассчитывать на количество 12 пациентов на 1 радиационно-терапевтический аппарат, а для больных, ожидающих своей очереди в кабинет врача-радиолога (радиационного онколога), — 8 пациентов на 1 врача. Площадь проектируемых помещений для ожидания должна обеспечивать также размещение и свободный провоз в каньон аппарата каталок с больными.

Габаритные размеры кабинетов для размещения рентгеновского симулятора, компьютерного симулятора-томографа или кабинета для предлучевой подготовки должны обеспечивать беспрепятственное и безопасное для больного и персонала

перемещение всех подвижных частей, в том числе и до их крайних положений. Здесь же следует предусмотреть выделенное место или отдельное помещение для хранения средств иммобилизации и формирующих блоков. Защитные смотровые окна в кабинетах предлучевой подготовки должны располагаться вне прямого пучка излучения при всех возможных положениях источника. Расчет радиационной защиты, кабинетов, оснащенных рентгеновскими симуляторами или симуляторами-томографами, должен проводиться согласно требованиям СанПиН 2.6.1.1192–03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

Кабинет дозиметрического планирования должен быть размещен поблизости от кабинета с симулятором, но они могут быть несмежными. Рекомендуется оба кабинета связать коммуникационными линиями локальной компьютерной сети с целью передачи топометрической информации для дозиметрического планирования. Площадь кабинета должна обеспечивать размещение нескольких рабочих мест (в зависимости от кадрового обеспечения), оборудованных компьютерами и периферийными устройствами к ним.

Размеры кабинета для изготовления средств формирования пучка излучения и индивидуальных средств иммобилизации больного должны обеспечивать свободное размещение оборудования для разметки, отливки, резки и монтажа формирующих блоков и индивидуальных средств иммобилизации, а также рабочего стола для их подгонки к антропометрическим данным пациента. Необходимо предусмотреть выделенное место или отдельную кладовую для хранения расходных материалов и использованных блоков и иммобилизаторов. Один или несколько кабинетов должны быть выделены для размещения средств модификации радиочувствительности облучаемых патологических тканей.

Размеры (площадь и высота) кабинета для терапевтического облучения или каньона гамма-терапевтического аппарата должны обеспечивать беспрепятственное и безопасное для пациента и персонала перемещение всех подвижных частей аппарата, в том числе и до их крайних положений. Также размеры каньона должны обеспечивать возможность облучения всего тела пациента, находящегося в положении стоя. Проход в каньон из помещения для ожидания должен быть удобным как для перемещения персонала и пациента, расположенного на каталке, так и для перевозки и монтажа оборудования. При невозможности выполнения последнего из этих требований следует предусмотреть наличие в радиационной защите монтажного проема с размерами, которые несколько превышают соответствующие габариты устанавливаемого в каньоне оборудования; после выполнения монтажа проем должен быть заложен защитными блоками. Их совокупность должна обеспечивать такую же кратность ослабления излучения, как и остальная часть стены вне проема. В каньонах для размещения гамма-терапевтических аппаратов дистанционного и контактного облучения не должно быть оконных проемов.

Пультовая для размещения системы управления облучением, как правило, является смежной с каньоном аппарата. Размеры пульта должны обеспечивать рациональное размещение пульта управления, устройств телевизионного наблюдения за пациентом, контроля продолжительности облучения, двусторонней аудиосвязи, электронной портальной визуализации и всех остальных систем компьютерного управления процессом облучения. Если каньон и пултовая являются смежными, то конфигурация и размеры пульта должны обеспечивать удобный подход и подвоз каталки с больным к входной двери каньона.

Глава 8.

Перечень типичных помещений для контактного гамма-терапевтического облучения и требования к их радиационной защите

В кабинете-хранилище источников и подготовки их к введению в тело пациента должен находиться защитный сейф для хранения источников, снабженный надежным замком и схемой размещения источников во внутреннем пространстве сейфа. Площадь помещения должна быть достаточной для обеспечения всех процедур получения источников, их хранения, подготовки к облучению, калибровки и возвращения источников в сейф после завершения терапевтических процедур, а также для их выдержки на распад после истечения срока эксплуатации. Выдержка на распад может также производиться и при перемещении отработавших источников в специальное хранилище радиоактивных отходов с рассчитываемой при проектировании радиационной защитой. Хранилище радионуклидных источников должно быть смежным с помещением для приемки источников излучения или должно быть связано с этим помещением отдельным лифтом, транспортером или другими транспортными средствами, имеющими соответствующую радиационную защиту.

В кабинете-операционной производится введение эндостатов и аппликаторов в тело больного и осуществляется контроль правильности расположения катетеров, эндостатов и аппликаторов с помощью рентгеноскопического аппарата и (или) ультразвукового сканера, установленного здесь же.

Аппарат также должен обеспечивать возможность многопроекционной визуализации для дозиметрического планирования облучения. Здесь же должно быть размещено оборудование для: анестезии, хранения и стерилизации зондов, катетеров, эндостатов и т.п. Необходимо предусмотреть раковину для промывки аппликаторов и эндостатов с защитной сеткой для предотвращения потери источника при промывании, оборудованную системой водоотведения.

Кабинет дозиметрического планирования должен быть поблизости от операционной, но не обязательно смежным с ней. Его площадь должна быть достаточной для размещения компьютерного оборудования и устройств оцифровки изображений на такое количество рабочих мест, которое необходимо для обеспечения бесперебойной работы блока низкодозового контактного облучения.

Палаты для пациентов, куда больные доставляются после введения эндостатов с источниками для достаточно продолжительного контактного облучения, рекомендуется проектировать одноместными. В палатах должно быть установлено все необходимое оборудование для надежной и безопасной эксплуатации используемых для контактного облучения источников, в том числе контейнер для их аварийного удаления, радиационный монитор с устройством бесперебойного электропитания и т.д.

При проектировании или наличии двухместных палат для размещения больных с введенными в тело закрытыми радионуклидными источниками низкой мощности дозы, в непосредственной близости от каждой кровати могут быть

установлены радиационно-защитные барьеры. Решение об установке барьеров, их конфигурации, материале и толщине принимается при проектировании на основе принципа оптимизации облучения с учетом необходимости обеспечить снижение облучения каждого больного от другого пациента в той же палате,

Все помещения *блока контактного терапевтического облучения с низкой мощностью дозы (LDR)* должны находиться рядом друг с другом, чтобы минимизировать расстояния транспортирования, как больных, так и источников излучения. Должна быть исключена необходимость транспортирования больных с введенными в организм закрытыми радионуклидными источниками излучения. Стены хранилища блока контактного облучения с низкой мощностью дозы в дополнительной радиационной защите не нуждаются, так как при правильном хранении в защитном сейфе радионуклидных источников низкой активности обеспечивается необходимый уровень радиационной безопасности персонала.

В *блоке контактного облучения с высокой мощностью дозы (HDR)* рекомендуется проектировать такие же помещения, как и для блока с низкой мощностью дозы: операционную, радиографическую, помещение дозиметрического планирования и лечебный кабинет. Дополнительно вводится помещение пультавой. При проектировании радиационной защиты кабинетов контактного облучения с высокой мощностью дозы такой расчет выполняется исходя из геометрии расположения источников в своих крайних положениях, определяемых конструкцией гамма-терапевтического аппарата и его расположением в кабинете. При этом следует учитывать, что в отличие от дистанционных аппаратов при контактном облучении с высокой мощностью дозы источник жестко не фиксируется и не коллимируется, в связи с чем расчет толщины стен и потолка должен выполняться по

исходному нерассеянному излучению источника, т.е. как для первичных радиационно-защитных барьеров.

Все вышеперечисленные помещения должны быть расположены вблизи друг от друга, чтобы обеспечивать максимальную пропускную способность и, одновременно, выполнять все необходимые требования по обеспечению радиационной безопасности. Допустимы следующие комбинации помещений:

- объединение операционной, радиографической и лечебного кабинета в одном и том же помещении — положение эндостата контролируется сразу же после его введения, исключается транспортирование пациента из одного кабинета в другой, но снижается пропускная способность;
- объединение только операционной и радиографической — пропускная способность при этом возрастает;
- все три кабинета отдельные, но должны быть расположены рядом друг с другом, чтобы исключить возможность смещения уже введенного эндостата внутри тела пациента в процессе его транспортирования из кабинета в кабинет.

Требования к операционной и кабинету дозиметрического планирования такие же, как в блоке низкодозового контактного облучения. При большом потоке больных целесообразно иметь также дополнительную операционную для амбулаторных больных, которым не требуется анестезия для размещения катетера или аппликатора, в связи с чем все хирургические манипуляции производятся по упрощенной схеме. Здесь же следует установить рентгеноскопический аппарат для оперативного контроля положения эндостата и коррекции этого положения в случае необходимости, а также для двухпроекционной рентгенографии или рентгеностереосъемки для дозиметрического планирования.

Пультовая должна находиться рядом с лечебным кабинетом. Пультовая и лечебный кабинет должны быть оснащены

замкнутой телевизионной системой наблюдения за больным и двусторонним переговорным устройством, негатоскопом для просмотра рентгенограмм и КТ изображений. Необходимо также оборудование для аварийного удаления источника из тела больного в контейнер временного хранения в безопасном положении, если только источник нельзя извлечь в штатном режиме.

Глава 9.

Требования к техническому оснащению подразделений лучевой терапии

В помещениях, в которых находятся источники излучения, запрещается проводить работы, не связанные с их применением, и размещать оборудование, не предусмотренное для выполнения запланированных технологических процессов.

В кабинетах и отделениях лучевой терапии должна быть установлена автономная приточно-вытяжная вентиляция.

Рециркуляция воздуха в рабочих помещениях запрещена.

Температура и влажность воздуха должны быть стабильными и находиться в следующих пределах:

- температура 20–25 °С;
- относительная влажность 30–75%.

Для исключения сквозняков необходимо ограничить изменения характеристик воздуха, связанных с вентиляционной системой:

- по температуре — до 1 °С/мин;
- по давлению — до 10 гПа/мин.

Устройства забора воздуха из атмосферы должны быть расположены на расстоянии не менее 15 м по горизонтали от устройств выброса воздуха из производственных помещений.

Устройства управления системой вентиляции должны располагаться вне каньонов гамма-терапевтических аппаратов.

Водоснабжение и канализация в помещениях подразделения лучевой терапии должны соответствовать требованиям НРБ-99, ОСПОРБ-99.

Отопление помещений подразделения лучевой терапии должно быть водяным или воздушным.

Электроснабжение и заземление в кабинетах и отделениях лучевой терапии должно удовлетворять требованиям действующих правил устройства электрооборудования.

Запрещается использовать линии водоснабжения, канализации и отопления для заземления электрооборудования.

Зануление аппаратов не допускается.

В кабинетах лучевой терапии должны быть установлены стационарные штепсельные розетки для подключения измерительных приборов, видеоконтрольных и переговорных устройств, а также электроинструментов для технического обслуживания.

Каждый гамма-терапевтический аппарат должен быть присоединен к сети электроснабжения через силовой распределительный щит, доступ к которому должен быть удобным и безопасным.

Для отключения электропитания от аппарата и других устройств, находящихся в каньоне и пультовой, должны быть предусмотрены аварийные выключатели. Они должны быть четко различимы, легко доступны и защищены от случайного срабатывания и автоматического возврата в рабочее положение.

Аварийные выключатели должны быть установлены вне зоны действия первичного пучка излучения на внутренней стороне стены процедурной таким образом, чтобы персоналу был обеспечен легкий доступ к аварийным выключателям:

- на пульте управления или вблизи него, или у двери в каньон, или на стене возле ввода электропитания в аппарат;

- в плохо просматриваемых местах процедурной, где случайно могут оставаться люди, не замеченные персоналом в момент начала лечебной процедуры.

В кабинетах дистанционной гамма-терапии и других помещениях, где ведутся работы с применением лазерных оптических центраторов, должно быть предусмотрено искусственное освещение пониженного уровня в пределах 5–20 лк.

В каньонах и пультовых подразделениях лучевой терапии должно быть предусмотрено аварийное освещение от автономного источника аварийного электроснабжения.

Входная дверь в каньон должна отвечать следующим требованиям:

- легкость открывания и закрывания;
- материал и толщина полотна двери должны обеспечивать непревышение установленных пределов дозы профессионального облучения персонала, находящегося в пультовой. Данное требование должно быть обеспечено, главным образом, конфигурацией защитного лабиринта в каньоне и, в меньшей степени, конструкцией самой двери;
- на двери должен быть хорошо различимый знак радиационной опасности установленной формы;
- дверь должна свободно открываться изнутри каньона во избежание возможного возникновения аварийной ситуации в каньоне в ходе сеанса облучения, а также аварийного облучения лиц из персонала.

На входе в каньон должно быть установлено не менее двух полностью автономных систем блокировки: система, связывающая оборудование на двери с аппаратом, и система, связывающая механизм открывания двери с мощностью дозы. Изготовитель гамма-терапевтического аппарата обязан предоставить пользователю монтажные схемы соединения блокировок с аппаратом, установленным в каньоне.

Системы блокировки должны отвечать следующим требованиям:

- блокировка открывания двери в режиме облучения, срабатывающая от сигнала аппарата и от аппаратуры контроля мощности дозы;
- блокировка включения режима облучения при открытой двери;
- отключение и блокировка режима облучения на аппарате при отказе любой из двух систем блокировки;
- перекрывание пучка излучения или возвращение радионуклидного источника из радиационной головки гамма-терапевтического аппарата в камеру-хранилище при открывании входной двери каньона, при изменении параметров облучения, выходящих за пределы установленных для данного сеанса облучения, выключении электроснабжения и возникновении опасности нанесения пациенту травм подвижными частями аппарата;
- повторное включение пучка должно выполняться только при закрывании двери и активации пусковой кнопки на управляющем пульте;
- надежное гарантирование от сбоев и отказов в работе.

В каньоне должна быть смонтирована красная кнопка аварийного выключения аппарата и блокировки двери, причем удобный доступ к кнопке персонала должен быть обеспечен без необходимости пересечения первичного пучка излучения при любых положениях радиационной головки аппарата относительно облучаемого пациента. Кроме того, красная кнопка аварийного выключения блокировки двери должна быть установлена на пульте управления аппаратом.

Механическая или электромеханическая блокировка входной двери в каньон не допускается.

Система сигнализации должна обеспечивать персонал световой, звуковой и визуальной информацией о положе-

нии радионуклидного источника гамма-терапевтического аппарата.

Во время работы гамма-терапевтического аппарата на пульте управления, над входом в процедурное помещение, в защитном лабиринте и в каньоне должны гореть предупреждающие световые сигналы:

- зеленый свет сигнализирует о положении хранения источника в защитной камере аппарата;
- желтый свет сигнализирует о предстоящем включении излучения;
- красный свет сигнализирует о наличии источника в рабочем положении в радиационной головке аппарата.

Световая сигнализация должна быть размещена в поле зрения персонала и пациента.

Звуковая сигнализация может информировать:

- о предстоящем включении режима дистанционного облучения (работает одновременно с сигналом желтого света);
- о начале дистанционного терапевтического облучения (срабатывает при включении сигнала красного цвета);
- о несанкционированном выходе из «активной» палаты пациента с введенным в его тело радионуклидным источником для контактного терапевтического облучения.

Визуальная информация должна быть обеспечена установкой предупредительных и запрещающих знаков, в том числе знаков: «Радиационная опасность», «Не входить», «Не включать! Работают люди» и др. Знаки должны быть однозначно читаемыми и доступными для восприятия персоналом и пациентами.

Проверка систем блокировок и сигнализации производится в соответствии с установленными протоколами контроля качества гамма-терапевтических аппаратов. Неисправности систем блокировок и сигнализации должны фиксироваться в рабочем журнале оператора и своевременно устраняться.

В каньоне для дистанционного терапевтического облучения должны быть смонтированы:

- устройства для настенного прикрепления систем лазерной центрации пучка на изоцентр поля облучения;
- устройства видеонаблюдения за больным без «мертвых» зон всего пространства каньона;
- устройства двусторонней аудиосвязи между больным и оператором, проводящим облучение;
- радиационный монитор для выдачи сигнала о превышении заданного уровня мощности дозы на световую сигнализацию и на блокировку двери; монитор должен быть снабжен источником бесперебойного электропитания, причем показания монитора должны быть ясно различимыми уже при входе в защитный лабиринт;
- устройство плавного регулирования уровня освещенности;
- автономная система аварийного освещения.

Оснащение блока контактного терапевтического облучения с высокой мощностью дозы должно отвечать следующим требованиям:

- пультовая и каньон должны быть оснащены замкнутой телевизионной системой наблюдения за больным и двусторонним переговорным устройством;
- в пультовой могут быть установлены негатоскоп для просмотра рентгенограмм, а также видеотерминал для просмотра компьютерно-томографических, ультразвуковых и других медицинских изображений;
- должно быть установлено оборудование для аварийного удаления источника из тела больного в контейнер временного хранения в безопасном положении, если только источник нельзя извлечь в штатном режиме;
- на входной двери должна быть установлена блокировка, которая автоматически возвращает источник в кон-

тейнер-хранилище аппарата при несанкционированном открывании входной двери, а также световой индикатор наличия облучения типа «Идет облучение — выключено»;

- на наружной поверхности двери должна быть нанесена маркировка со знаком радиационной опасности, указанием типа радионуклида и его номинальной активности;

- в каньоне должен быть установлен монитор излучения с источником бесперебойного электропитания для выдачи сигнала о превышении заданного уровня мощности дозы на световую сигнализацию и на блокировку двери.

При проведении облучения пациентов не допускается проведение операций, не предусмотренных установленным технологическим процессом, если эти действия не направлены на принятие мер по предотвращению аварий и других нештатных ситуаций, угрожающих жизни и здоровью пациентов и персонала.

Глава 10.

Требования к методам проведения лучевой терапии

Работы с радионуклидными источниками излучения при ручных методах их введения в тело пациента должны проводиться с применением защитно-технологического оборудования и дистанционного инструментария.

Работы при подготовке и проведении терапевтического облучения, связанные с подниманием частей оборудования массой свыше 20 кг, должны проводиться с применением средств механизации.

Усилие установки съемных устройств и принадлежностей должно быть не более 100 Н, при этом максимальная высота подъема съемных устройств вручную должна быть не более 1.5 м.

Облучение должно осуществляться только при полностью закрытой входной двери каньона, что контролируется системами блокировки двери. Во время сеанса облучения в каньоне или «активной» палате должен находиться только пациент, доступ в них других лиц запрещен.

Вспомогательные устройства и принадлежности гамма-терапевтических аппаратов (формирующие блоки, фильтры, устройства иммобилизации, эндостаты и т.п.) должны быть размещены так, чтобы был обеспечен удобный подход к ним, их перемещение к пациенту и возвращение обратно. Не допускается наличие открытых свинцовых и свинецсодержащих поверхностей.

Оборудование, инструменты и мебель должны быть закреплены за соответствующими помещениями и промаркированы.

Рабочие места в помещениях подразделения лучевой терапии должны быть организованы так, чтобы при проведении радиационноопасных операций технологических процессов обеспечивалось минимально возможное облучение персонала с постоянным визуальным и (или) инструментальным контролем положения источников излучения.

Размещение рабочего места оператора гамма-терапевтического аппарата в пультовой рекомендуется сделать таким, чтобы обеспечивать постоянное нахождение в поле зрения оператора входной двери в каньон и всех сигнальных табло.

Ремонтно-профилактические работы должны проводиться персоналом в составе не менее двух человек, имеющих допуск к таким работам, а при выполнении особо опасных работ — с оформлением наряда-допуска на их проведение. При работах должны использоваться коллективные и индивидуальные средства радиационной защиты, набор которых определяется характером этих работ.

Запрещается пребывание посторонних лиц в помещениях, где проводятся пуско-наладочные и ремонтно-профилактические работы, в том числе и лиц из персонала, непосредственно не занятых в этих работах.

Получение, хранение, транспортирование и учет наличия радионуклидных источников в подразделении лучевой терапии должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов.

В подразделении лучевой терапии должны быть обеспечены такие условия получения, хранения, применения, расходования и списания радионуклидных источников, которые исключали бы возможность их бесконтрольного использования.

Транспортирование радионуклидных источников в помещениях подразделения лучевой терапии и на территории медицинского учреждения должны осуществляться соблюдением всех мер радиационной безопасности.

Радионуклидные источники должны храниться в специально оборудованных помещениях, хранилищах, защитных сейфах и контейнерах.

Хранилище источников должно быть оборудовано охранной сигнализацией.

В хранилище должна быть вывешена схема размещения радионуклидных источников.

Общая активность радионуклидных источников, находящихся в хранилище, не должна превышать значения, указанного в санитарно-эпидемиологическом заключении.

Выдача источников излучения из хранилища должна производиться ответственным лицом на основании требования и фиксироваться в специальном приходно-расходном журнале.

Радионуклидные источники, не пригодные к дальнейшему использованию, должны рассматриваться как твердые радиоактивные отходы и своевременно списываться и сдаваться на захоронение.

В отделении лучевой терапии должны быть аттестованы:

- все радионуклидные источники;
- все дозиметрические и радиометрические приборы, применяемые для определения активности источников, дозы и мощности дозы;
- все контрольно-измерительные приборы, встроенные в гамма-терапевтические аппараты;
- аппаратура, применяемая для проверки состояния систем электропитания, заземления, вентиляции и т.д.

Глава 11.

Профилактика и устранение последствий радиационных аварий

В подразделении лучевой терапии возможно возникновение радиационных аварий, происходящих вследствие:

- технических погрешностей и сбоев в работе аппаратуры и вспомогательного оборудования (особое внимание необходимо уделять новым аппаратам и/или технологиям, исключая ошибки при калибровке пучка излучения или активности радионуклидных источников);
- человеческих ошибок при взаимодействии специалистов различного профиля, включая неправильное оформление медицинской и технической документации;
- ошибочной интерпретации результатов топометрии, считывания показаний контрольных приборов и аварийных пороговых дозиметров,
- данных дозиметрического планирования, динамическо-го наблюдения за состоянием больного в ходе курса лучевой терапии и т.д.;
- ошибочного распознавания нештатной ситуации. Поскольку персонал обучен действиям в основном в штатных ситуациях, а нештатные инциденты возникают сравнительно редко, то в ходе развития подобных инцидентов недостаток нужного опыта приводит к усугублению ошибок и, в результате, к радиационной аварии;

- нерегулярного или небрежного выполнения программ гарантии качества аппаратуры и радиационных технологий;
- внешних воздействий природного характера (землетрясение, наводнение, смерч, ударная волна и т.д.) и техногенного характера (поражение персонала электрическим током, отключение электричества, пожар, разрывы линий водопровода и канализации и т.д.).

К радиационным авариям в подразделении лучевой терапии относятся:

- потеря радионуклидного источника излучения;
- заклинивание радионуклидного источника в рабочем положении, или в подводящих каналах внутри радиационной головки дистанционного гамма-терапевтического аппарата, или внутри эндостата при контактном облучении;
- возникновение радиоактивных загрязнений на различных рабочих поверхностях и на теле больного (или внутри него) вследствие нарушения целостности герметической оболочки закрытого радионуклидного источника;
- подведение к опухоли и окружающим нормальным тканям (особенно критическим по радиочувствительности) поглощенных доз излучения, значительно превосходящих запланированные дозы, в результате ошибок топометрии, дозиметрического планирования, проведения собственно облучения и человеческого фактора;
- переоблучение персонала, которое является, как правило, результатом нарушений установленных технологий работы с источниками излучения, собственной невнимательности или ошибочной интерпретации показаний контрольных приборов, индикаторов и аварийных дозиметров.

К нерадиационным авариям относятся:

- возгорание (задымление) или пожар в рабочих помещениях подразделения лучевой терапии;

- несанкционированное действие или несанкционированный доступ в отношении радионуклидных источников и помещений их использования, транспортирования и хранения;
- нарушение нормального санитарного состояния помещений и оборудования в подразделении лучевой терапии, в том числе вследствие протечек водопровода, отопления, хозяйственно-бытовой канализации, но без контакта протекающей воды с радионуклидными источниками;
- отключение электроснабжения, сбои или неисправности электропитания аппаратуры и оборудования, которые ведут к нарушениям правил электробезопасности для пациентов и персонала, но без нарушения радиационной безопасности людей.

В качестве профилактических мероприятий по предотвращению радиационных аварий (радиационных и нерадиационных происшествий) следует применять:

- выполнение наиболее важных технологических процедур несколькими специалистами независимо друг от друга, в частности, калибровку пучков излучения должны проводить два различных медицинских физика с последующим сравнением результатов измерений, результаты дозиметрического планирования должны обязательно перепроверяться;
- обучение персонала распознаванию сбоев и технологических ошибок;
- разработку программ подготовки и методик проведения противоаварийных тренировок персонала для отработки действий в условиях аварии (происшествия) и проведение тренировок; персонал должен быть подготовлен к действиям при авариях (происшествиях) и действиям по ликвидации их последствий;
- составление подробного описания всех этапов радиационно-терапевтических процедур, включая общение между специалистами различного профиля;

- письменный анализ всех радиационных аварий и необходимых действий персонала по ликвидации или смягчению их последствий;
- проверку наличия и регулярный контроль состояния системы пожарной безопасности;
- регулярную проверку комплектности и исправности гамма-терапевтического аппарата и остального радиационно-технического оборудования;
- регулярный контроль уровня знаний персонала с официальной последующей аттестацией сотрудников, в том числе по действиям персонала при радиационных авариях, пожарах и задымлении.

В производственных помещениях подразделения лучевой терапии должны быть средства по предупреждению и ликвидации нештатных ситуаций, пожара и радиационных аварий:

- аварийный комплект для ликвидации последствий радиационных аварий;
- комплект для оказания первой медицинской помощи;
- комплект оборудования для ликвидации пожара и задымления (огнетушители, песок, покрывала и т.д.);
- вывешенная на стене помещения выписка из инструкции по действиям персонала при возникновении радиационных аварий и других нештатных ситуаций.

В состав аварийного комплекта средств для ликвидации последствий радиационных аварий должны входить:

- комплект защитной одежды, включая хирургические перчатки, пластиковые бахилы, шапочку и респиратор;
- средства дезактивации, включая впитывающие материалы для вытирания загрязненных рабочих поверхностей, детергенты и фильтровальную бумагу;
- инструменты для дистанционного сбора использованных впитывающих материалов и загрязненных предметов;

- пластиковые мешки для сбора, временного хранения и удаления твердых радиоактивных отходов;
- комплект аварийных знаков радиационной опасности на устойчивых штативах, выставляемых у места радиационной аварии;
- инструкция по дезактивации загрязненных рабочих поверхностей различного типа.

В подразделении лучевой терапии должны быть утвержденные администрацией учреждения инструкции по радиационной безопасности, предупреждению и ликвидации аварий (пожара) и нештатных ситуаций, в которых должны быть отражены следующие положения:

- прогноз возможных аварийных ситуаций и аварий (пожара) и меры по их предупреждению;
- прогноз радиационной обстановки в случае возникновения радиационной аварии или другой нештатной ситуации;
- технологии обнаружения радиационных аварий;
- действия персонала при радиационной аварии и при штатных ситуациях, в том числе и при пожаре;
- порядок ликвидации последствий радиационных аварийных ситуаций;
- порядок информирования о возникновении радиационной аварии, пожара и нештатной ситуации;
- план мероприятий по защите пациентов и персонала при аварийных ситуациях;
- ответственность администрации за проведение мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий аварий;
- показатели ликвидации аварии и завершения аварийной ситуации;
- план подготовки и обучения персонала действиям при аварийных ситуациях.

Действия персонала при типичных радиационных авариях:

- потеря контроля или утрата радионуклидного источника — на основе действующей системы инвентаризации и прослеживания траектории его перемещения в подразделении лучевой терапии определить тип и активность пропавшего источника и достоверно установить последнее место его пребывания; поиск источника следует производить совместно со службой радиационной безопасности медицинского учреждения как визуально, так и с использованием высокочувствительной аппаратуры радиационного контроля;
- заклинивание радионуклидного источника в транспортных каналах аппарата — произвести попытку возвращения источника в положение хранения; если повторная попытка вернуть источник в нерабочее положение не приводит к положительному результату, то следует больного немедленно вывести из каньона или вынуть из его тела эндостат с источником, после чего принять меры по устранению последствий радиационной аварии;
- разгерметизация закрытого радионуклидного источника — после удаления источника из рабочего положения, в том числе из тела больного, необходимо принять меры по дезактивации загрязненных поверхностей, в том числе по дезактивации кожных покровов и слизистых оболочек тела больного, а также по недопущению дальнейшего распространения радиоактивных загрязнений в другие помещения.

Глава 12.

Обеспечение радиационной безопасности пациентов

Терапевтическое облучение проводится только при наличии клинических показаний по назначению лучевого терапевта и с согласия больного.

При проведении терапевтического облучения пациента должны использоваться защитные приспособления для экранирования наиболее радиочувствительных органов от прямого и рассеянного излучения.

При проведении лучевой терапии не допускается облучение частей тела пациента, не предусмотренных при дозиметрическом планировании. Должны быть предприняты все возможные меры по предотвращению возникновения лучевых осложнений у пациента.

Любая лучевая терапия беременных женщин должна проводиться только по жизненным показаниям при минимально возможном облучении плода.

В инструкции по радиационной безопасности должен быть план мероприятий по защите пациента при возникновении аварийной ситуации, предусматривающий срочную эвакуацию пациента, определение полученной им незапланированной дозы облучения, оценку его общего состояния и необходимые медицинские меры по предупреждению возникновения незапланированных лучевых повреждений и реакций. Обеспечение радиационной безопасности больного при лучевой терапии определяется

системой мероприятий, используемой в данном медицинском учреждении.

Требования к точности подведения дозы облучения должны определяться в зависимости от цели облучения. К детальному планированию облучения в больших терапевтических дозах, близких к толерантным дозам для нормальных тканей, предъявляются повышенные требования. При этом наибольшая точность необходима при облучении большими дозами мишеней, соседних с критическими по радиочувствительности нормальными тканями. При паллиативном облучении применяются меньшие дозы, и требования по точности дозирования могут быть несколько снижены.

При внешнем облучении дозы облучения в опорных точках при нормальных условиях должны быть измерены с погрешностью не более $\pm 3\%$. Измерения глубинных доз, коэффициентов ослабления клиновидных фильтров и подставок для блоков должны выполняться с погрешностью не более $0.5-1.0\%$. При этом дозиметры для контроля заданной дозы в объеме мишени следует калибровать через определенные интервалы по вторичному эталону, который, в свою очередь, калибруется по национальному или международному первичному эталону.

При внутритканевом или внутрисполостном облучении погрешность измерений мощности дозы не должна превышать $\pm 5\%$. Активность следует измерять при получении нового источника. Если имплантируется группа источников небольшой активности, например, при внутритканевом облучении рака предстательной железы титановыми гранулами с изотопом йода, общую активность нужно знать с погрешностью не более $\pm 5\%$, а активности отдельных источников не должны отличаться более чем на 10% .

При дистанционном облучении больного его укладка на ложе радиационно-терапевтического аппарата должна

соответствовать укладке на симуляторе облучения и быть воспроизводимой в последующих сеансах облучения. Больной должен находиться в удобном положении и должен быть в максимально возможной степени неподвижным при облучении.

С этой целью следует использовать специальные приспособления для иммобилизации больного, которые могут быть изготовлены в индивидуальном порядке по данным топографии. Если положение больного изменяется, облучение должно быть немедленно прервано, и позиционирование больного нужно выполнить заново.

Дозы облучения пациента в результате проведения лучевой терапии должны быть внесены в персональный лист учета доз медицинского облучения, который является обязательным приложением к амбулаторной карте пациента.

Глава 13.

Обеспечение радиационной безопасности персонала

К непосредственной работе с источниками излучения должны допускаться лица, отнесенные администрацией к персоналу группы А, в соответствии с допуском к такой работе и со специальной подготовкой, дающей право на работу в отделении лучевой терапии.

К персоналу группы А в подразделениях лучевой терапии относятся все штатные сотрудники, работающие с источниками излучения, включая лиц, осуществляющих радиационный контроль. Перечень этих лиц утверждается администрацией медицинского учреждения.

Сотрудники учреждения, не работающие с источниками излучения, но находящиеся по условиям труда в сфере воздействия ионизирующих излучений, относятся к персоналу группы Б. Лица, поступающие на работу, должны проходить предварительный, а персонал группы А — периодические ежегодные медицинские осмотры с обязательным заполнением медицинской документации установленной формы.

При выявлении отклонений в состоянии здоровья персонала, препятствующих продолжению работы с источником излучения, вопрос о временном или постоянном переводе на работу вне контакта с излучением решается администрацией в каждом отдельном случае.

Обучение персонала приемам безопасной работы и проверка знаний техники общей и радиационной безопасно-

сти должны проводиться по программам, утвержденным администрацией учреждения.

Персонал группы А отделений лучевой терапии должен проходить инструктаж по технике безопасности:

- вводный — при поступлении на работу;
- первичный — на рабочем месте;
- повторный — не реже одного раза в год;
- внеплановый — при изменении условий труда, нарушений требований безопасности, несчастных случаях и т.д.

Лица, проходящие стажировку и специализацию в кабинетах и отделениях, должны допускаться к работе с источниками излучений только после прохождения инструктажа по технике безопасности.

Регистрация проведенного инструктажа персонала по технике безопасности должна отражаться в специальном журнале.

При терапевтическом облучении основными мерами по обеспечению радиационной безопасности персонала являются:

- правильный выбор расположения в радиологическом корпусе каньонов с радиационно-терапевтическими установками, конфигурации и размеров каждого каньона, материала и толщины их защитных стен, геометрии и размеров защитного лабиринта в каньоне;
- правильная организация технологических процессов предлучевой подготовки и терапевтического облучения больных;
- предотвращение попадания лиц из персонала в каньон в ходе терапевтического облучения больного, а также регламентных работ по ремонту, наладке, испытаниям и калибровке аппаратуры и оборудования, находящихся в каньоне, когда включен пучок гамма-излучения;
- предотвращение аварийного облучения в ходе указанных работ при случайном или ошибочном включении пучка излучения;

- использование известных принципов защиты временем, расстоянием и экранированием при работе с гамма-терапевтическими аппаратами для внутритканевого и внутритростного облучения;

- строгое соблюдение правил работы с закрытыми радионуклидными источниками;

- обеспечение достаточной информацией о радиационной обстановке в производственных помещениях подразделения лучевой терапии;

- соблюдение не превышения установленных контрольных уровней профессионального облучения персонала;

- выполнение радиационного контроля уровней внешнего облучения персонала.

В подразделении лучевой терапии должны применяться следующие коллективные средства радиационной защиты:

- собственная радиационная защита гамма-терапевтических аппаратов;

- стационарные защитные ограждения (стены, перекрытия, лабиринты и т.п.);

- радиационно-защитное технологическое оборудование (защитные ширмы, экраны, боксы, сейфы, контейнеры, дистанционный инструментарий);

- устройства контроля уровней вредных производственных факторов, в том числе и радиационных факторов;

- различные системы блокировок и сигнализации.

При проведении контактного терапевтического облучения радионуклидными источниками с низкой мощностью дозы должны быть выполнены следующие требования:

- каждый источник должен иметь ясно различимые метки, позволяющие достоверно определить вид радионуклида, активность источника и его инвентарный номер;

- регулярные проверки (не реже 1 раза в год) каждого источника на наличие поверхностного радиоактивного

загрязнения; при обнаружении нефиксированного («снимаемого») загрязнения свыше 2 кБк следует считать источник негерметичным; немедленно должны быть приняты меры по ремонту или списанию источника, а загрязненные поверхности должны подвергнуться дезактивации;

- обеспечение жесткого контроля места нахождения источника (хранилище, устройство системы транспортирования или тело больного);

- в помещениях, смежных с процедурным кабинетом (каньоном), необходим периодический контроль мощности дозы гамма-излучения;

- хранилище источников должно быть обеспечено соответствующими устройствами, позволяющими определить, сколько источников и какие именно из них находятся на хранении в настоящий момент;

- при отсутствии работ с источниками хранилище должно быть постоянно закрыто и находиться под охранной сигнализацией;

- после каждой терапевтической процедуры контактного облучения и удаления источников из тела больного его следует подвергнуть радиационному контролю с помощью переносного измерителя мощности дозы, чтобы убедиться, что внутри тела не осталось источника излучения.

При проведении контактного терапевтического облучения радионуклидными источниками с высокой мощностью дозы по технологии последовательного введения источников (*afterloading*) должны быть выполнены следующие требования:

- после каждого использования источника необходимо визуально проинспектировать его состояние с использованием установки промышленного телевидения или защитной камеры с просвинцованным стеклом;

- на защитном сейфе, где хранятся такие источники, должна быть ясная схема их размещения внутри сейфа,

чтобы нужный источник можно было найти и забрать в минимально короткий интервал;

- для перемещения источников обязательно использовать дистанционные манипуляторы типа шпатовых держателей;

- транспортирование источников из хранилища в каньон производится только в защитных контейнерах на транспортной тележке;

- после удаления из тела больного источники должны быть подвергнуты процедуре стерилизации; так как при этом они могут быть повреждены вследствие нагревания, абразивного истирания, химических реакций или механического воздействия, их следует снова визуальнo проконтролировать;

- окраска поверхности источника должна быть яркой, чтобы его можно было легко найти при потере;

- раковина для слива сточных вод после стерилизации или дезактивации поверхности источника должна быть снабжена защитной решеткой, размеры отверстий на которой меньше минимального габаритного размера источника;

- транспортировочные шланги и их сопряжения с другими элементами конструкции гамма-терапевтического аппарата необходимо регулярно контролировать с целью предотвращения застревания в них источников.

Глава 14.

Методы контроля обеспечения радиационной безопасности

Контроль радиационной безопасности в кабинетах и отделениях лучевой терапии осуществляется централизованной службой радиационной безопасности медицинского учреждения (ответственным лицом) или аккредитованной организацией, привлекаемой для проведения инструментального радиационного контроля.

Служба радиационной безопасности создается с учетом объема и характера работ учреждения. Положение о работе службы радиационной безопасности (ответственного за радиационный контроль лица) утверждается администрацией учреждения.

Объектами радиационного контроля в подразделениях лучевой терапии являются:

- помещения и рабочие места;
- радиационно-защитное, технологическое и медицинское оборудование;
- технологические процессы лучевой терапии.

В зависимости от характера проводимых работ и используемых источников излучения радиационный контроль должен включать:

- индивидуальный дозиметрический контроль персонала группы А;

- измерение и оценку мощностей доз гамма-излучения на рабочих местах персонала групп А и Б, а также в смежных помещениях и на прилегающей территории;
- контроль возможного радиоактивного загрязнения от закрытых источников излучения (проверка герметичности);
- контроль эффективности средств радиационной защиты, включая защиту радиационной головки аппарата для дистанционной терапии, транспортных и защитных контейнеров, сейфов и др.

План проведения производственного контроля радиационной обстановки определяется для каждого подразделения, согласовывается с органами Роспотребнадзора и утверждается администрацией учреждения.

План проведения радиационного контроля должен включать объем, периодичность, конкретные точки проведения измерений, указанные на схеме помещений подразделения лучевой терапии. При необходимости (ремонт, реконструкция помещений и оборудования, новые технологии, аварийные ситуации и др.) в план проведения производственного радиационного контроля по согласованию с администрацией учреждения вносятся соответствующие изменения.

Должностные лица, осуществляющие производственный контроль, вправе временно приостанавливать работы с источниками ионизирующих излучений при выявлении нарушений настоящих указаний и должностных инструкций в области обеспечения радиационной безопасности до устранения обнаруженных нарушений.

Радиационный контроль должен проводиться как планомерно, так и выборочно, в том числе при отклонениях от установленного технологического процесса, при наличии подозрений на нарушение ведения работ и при аварийных ситуациях.

При внедрении новых методов, технологий и средств лучевой терапии радиационный контроль должен проводиться ежедневно в течение первых 2–3 недель.

Приборы радиационного контроля должны ежегодно подвергаться государственной метрологической поверке.

Дозовые нагрузки на персонал и пациентов должны определяться с учетом особенностей технологических процессов лучевой терапии в соответствии с единой государственной системой контроля и учета индивидуальных доз облучения.

Регистрация доз облучения персонала осуществляется:

- от внешнего облучения — с использованием индивидуальных дозиметров;
- от возможного внутреннего облучения при радиационных авариях с разгерметизацией закрытого радионуклидного источника — методами прямой радиометрии всего тела или радиометрии проб крови и экскретов *in vitro*.

Регистрация доз облучения пациентов осуществляется:

- расчетным методом при дозиметрическом планировании терапевтического облучения;
- средствами и методами дозиметрического контроля *in vivo*.

Для регистрации внешнего облучения персонала используются индивидуальные дозиметры, закрепленные на уровне нагрудного кармана медицинского халата. При работе по технологии метода последовательного введения источников целесообразно использовать два дозиметра — на уровнях нагрудного и нижнего карманов халата.

Администрация учреждения обеспечивает свободное перемещение сотрудников, осуществляющих контроль, по всем контролируемым помещениям (территории). Радиационный контроль проводится в присутствии администрации учреждения или лица, ею уполномоченного.

Результаты всех видов радиационного контроля должны регистрироваться в журнале, в котором приведен план

помещений подразделения лучевой терапии с указанием размещения источников излучения и точек измерений.

Результаты индивидуального дозиметрического контроля должны фиксироваться в карточке индивидуального учета, которая хранится в течение 50 лет в учреждении, и копия ее передается в случае перехода сотрудника в другое учреждение. Данные об индивидуальных дозах прикомандированных лиц должны сообщаться по месту постоянной работы.

Результаты радиационного контроля должны сопоставляться со значениями основных пределов доз по НРБ-99 и с контрольными уровнями профессионального облучения.

В случае регистрации доз, превышающих контрольные уровни, администрация учреждения обязана проанализировать ситуацию и информировать о превышении соответствующий орган Роспотребнадзора.

Рекомендации по измерению и оценке уровней мощности дозы на рабочих местах и смежных помещениях, а также по индивидуальному и групповому дозиметрическому контролю приведены в приложении.

14. 1. Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внешнего облучения проводится для ограниченного числа работников — персонала группы А и части персонала группы Б, для которых по результатам ГДК внешнего облучения оказалось превышено значение уровня введения индивидуального контроля УВК, а также для всех лиц, работающих с источниками ионизирующего излучения в условиях планируемого повышенного облучения и для определения доз аварийного облучения.

Результат проведения ИДК внешнего облучения дает значения индивидуальной годовой эффективной или эквивалентной дозы для каждого конкретного работника.

Дозиметр для индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения располагается на теле человека в кармане или поверх одежды в районе органа, для которого предполагается определение эквивалентной дозы. Для определения значения эффективной дозы дозиметр располагают в нагрудном кармане спецодежды или поверх его. Все используемые средства измерений должны иметь действующее свидетельство о государственной метрологической поверке.

Операционной величиной для индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения является эквивалент индивидуальной дозы $H_p(d)$. Рекомендуемая единица эквивалента индивидуальной дозы — мЗв. Значение параметра d , мм, определяющего требования к индивидуальному дозиметру внешнего облучения, а также положение дозиметра на теле работника, определяются тем, для определения какой нормируемой величины используется ее эквивалент. Соответствие между нормируемыми и операционными величинами, используемыми в индивидуальном дозиметрическом контроле, представлено в табл. 3. Конструкция средства измерения, используемого для ИДК внешнего облучения, должна удовлетворять общей физической схеме, приведенной на рис.1.

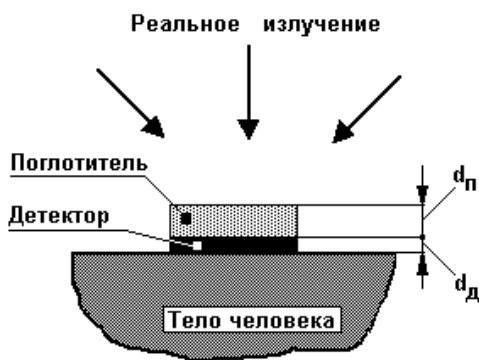


Рис.1. Физическая схема прибора для ИДК внешнего облучения

Таблица 3

Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при ИДК внешнего облучения

Нормируемая величина	Операционная величина: Эквивалент индивидуальной дозы		
	положение индивидуального дозиметра	d , мм	условное обозначение
Эквивалентная доза внешнего облучения кожи	непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи	0.07	$H_F(0.07)$
Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза	на лицевой части головы	3	$H_F(3)$
Эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщины	на соответствующем месте поверх спецодежды	10	$H_F(10)$
Эффективная доза внешнего облучения	на нагрудном кармане спецодежды либо внутри него	10	$H_F(10)$

Основными элементами конструкции средства измерения является поглотитель из тканеэквивалентного материала толщиной $dП$ (мм при плотности 1 г/см^2) и детектор из материала, близкого по свойствам к тканеэквивалентному с толщиной $dД$ (мм при плотности 1 г/см^2). Значения $dП$ и $dД$ для различных операционных величин приведены в табл. 4.

Результаты ИДК внешнего облучения заносятся в учетную карточку работника и хранятся в течение 50 лет.

Таблица 4

Соотношение между параметрами конструкции средств измерения и соответствующими величинами, определяемыми при ИДК внешнего облучения

Определяемая величина	Вид излучения	Параметры конструкции дозиметра	
		толщина поглотителя, $dП$, мм	толщина детектора, $dД$, мм
$H_p(10)$	фотоны, нейтроны	10	15
$H_p(0,07)$	фотоны, нейтроны, электроны	0.05	0.05
$H_p(3)$	фотоны, электроны	3	0.5–0.8

Для проведения ИДК внешнего облучения в настоящее время рекомендуется применять термолюминесцентные дозиметры. Они обладают достаточной точностью измерений, удобны в эксплуатации, не требуют работы с химическими реактивами. Термолюминесцентный дозиметр после отжига может быть использован повторно.

Помимо термолюминесцентных дозиметров возможно применение для целей индивидуальной дозиметрии внешнего облучения радиофотолюминесцентных, фотографических и прямопоказывающих ионизационных или полупроводниковых дозиметров.

14. 2. Радиационно-дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала

Источником внутреннего облучения персонала являются радионуклиды, содержащиеся внутри тела человека. Расчет

годовых доз внутреннего облучения является более сложной задачей по сравнению с определением доз внешнего облучения, поскольку индивидуальные параметры человека в данном случае играют более существенную роль. Также при проведении радиационно-дозиметрического контроля внутреннего облучения необходимо учитывать воздействие непроникающих излучений — альфа- и бета-, поскольку при внутреннем облучении нет барьеров, препятствующих воздействию частиц непроникающего излучения на органы тела человека.

Прямое определение индивидуальных доз внутреннего облучения невозможно и для целей ДК эта задача решается в два этапа:

- проведение измерений активности радионуклидов либо во всем теле человека или отдельных его органах, либо в выделениях или других пробах биологического происхождения, либо на фильтрах стационарных и индивидуальных пробоотборников;
- интерпретация результатов указанных измерений, т.е. восстановление величин поступления радионуклидов за год и ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм данных радионуклидов, с использованием соответствующих моделей и методик выполнения расчетов.

Поступление радионуклидов из внешней среды внутрь тела человека может происходить при дыхании через дыхательные пути, с продуктами питания и через кожные покровы. Для персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, основным путем поступления является ингаляционный путь — через органы дыхания. При этом скорость поступления будет зависеть не только от объемной концентрации радионуклидов в воздухе рабочего помещения, но и от частоты дыхания и объема легких ра-

ботника, т.е. от его индивидуальных параметров. Поэтому при проведении дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала для определения ожидаемой годовой эффективной дозы внутреннего облучения принимаются для рассмотрения различные модели работника.

14. 3. Групповой дозиметрический контроль

Для оценки радиационной обстановки в учреждениях, где используются методы лучевой терапии, необходимо проводить групповой дозиметрический контроль. Целью группового контроля является определение мощности амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$. По консервативной оценке, т.е. с коэффициентом, равным единице, можно считать, что $H(10)$ соответствует значению мощности эффективной дозы.

Измерения $H^*(10)$ проводятся на рабочих местах персонала в помещениях, смежных по вертикали и горизонтали с помещениями, где находятся или ведутся работы с источниками ионизирующих излучений. В этих помещениях и на территории учреждения прежде всего определяется мощность дозы от радиационного фона, при этом источники излучения должны находиться в положении «хранение». В дальнейшем значения фона вычитаются из величины измеренной мощности дозы, если компенсация фона не предусмотрена средством измерения.

В помещениях, где находятся аппараты для дистанционной, внутритканевой и внутритростной терапии, проводятся измерения мощности амбиентного эквивалента дозы на расстоянии 1 м во всех направлениях от поверхности защитного блока с источником излучения, находящемся в положении «хранение». Измеренное значение $H^*(10)$ не должно превышать 20 мкЗв/ч.

Для проведения измерений в помещениях, смежных с каньоном, где находится аппарат для дистанционной гамма-терапии, необходимо использовать тканеэквивалентный (водный) фантом размерами: $300 \times 300 \times 300$ мм. При проведении измерений фантом размещают в изоцентре пучка излучения, при этом устанавливаются максимальные размеры поля облучения с условием, что пучок излучения полностью перекрывается габаритами фантома. При использовании ротационных методов облучения пациентов измерения проводят при углах ротации $0, 90, 180, 270^\circ$ и более.

В кабинетах для внутриполостной и внутритканевой терапии при измерениях используют штатные фантомы, входящие в комплект оборудования. При отсутствии штатных фантомов измерения выполняют в процессе проведения лечебной процедуры при нахождении источников в теле пациента. Все используемые средства измерений должны иметь действующее свидетельство о государственной метрологической поверке.

В помещениях, смежных с процедурной, измерения мощности амбиентного эквивалента дозы проводятся:

- над процедурной, на высоте 80 см от пола в точках прямоугольной сетки с шагом 1–2 м;
- под процедурной, на высоте 120 см от пола в точках прямоугольной сетки с шагом 1–2 м;
- по горизонтали на расстоянии 10 см от стены, на высоте 80–120 см по всей длине стены с шагом 1–2 м.

Измерения проводятся также на стыках защитных ограждений, у дверных проемов и отверстий технологического назначения.

На территории учреждения измерения проводят на расстоянии 10 см от наружной стены помещения процедурной на высоте 80 и 120 см от отмостки здания.

При размещении кабинетов лучевой терапии в пристройке к основному лечебному корпусу необходимо проводить измерения в помещениях основного лечебного корпуса, расположенных в непосредственной близости к процедурной кабинетов лучевой терапии. Значение мощности эффективной дозы E рассчитывается по формуле

$$E = \frac{1}{2} [H^*(10)_{80} + H^*(10)_{120}] \text{ мкЗв/ч},$$

где $H^*(10)_{80}$, $H^*(10)_{120}$ — мощность амбиентного эквивалента дозы, измеренная на высоте 80 и 120 см соответственно.

Значения мощности эффективной дозы, рассчитанные по этой формуле, приводятся к установленной рабочей нагрузке или временному режиму работы аппарата по формулам:

а) для аппаратов контактного облучения:

$$E_n = E \frac{t_{об}}{T_{см}},$$

где E_n — мощность эффективной дозы в точке измерения, приведенная: иму работы аппарата, мкЗв/ч; E — мощность эффективной дозы; $t_{об}$ — время работы аппарата в режиме облучения за смену, ч; $T_{см}$ — продолжительность смены, 6 ч.

По этой формуле рассчитываются значения мощности эффективной дозы в помещениях, смежных с хранилищем, радиоманипуляционной, операционной, радиологическими палатами и другими помещениями, где ведутся работы и находятся источники ионизирующего излучения. В качестве значения принимается реальное время работы с источником излучения или время нахождения источника в данном помещении.

б) для аппаратов дистанционного облучения:

$$E_n = E \frac{W \cdot r^2}{T_{нед} \cdot H_1 \cdot 60},$$

где E_n — мощность эффективной дозы в точке измерения, приведенная: иму работы аппарата, мкЗв/ч; E — мощность

эффективной дозы; H_1 — мощность дозы на 1 м от источника во время облучения, Гр · м²/мин; W — рабочая нагрузка, суммарная доза облучения пациентов за неделю, Гр/нед; r — расстояние от источника до изоцентра, м; $T_{\text{нед}}$ — продолжительность работы за неделю, для двухсменной работы $T_{\text{нед}} = 60$ ч, для односменной работы $T_{\text{нед}} = 30$ ч; 60 — число минут в 1 ч.

На рабочих местах персонала, находящихся в непосредственной близости от источников излучения, при выполнении ряда ручных операций (работа в хранилище, радиоманипуляционной, операционной, радиологической палате и др.) измерения $H^*(10)$ проводят на трех высотах 80, 120 и 160 см от уровня пола. При этом за величину мощности эффективной дозы E принимается максимальное измеренное значение мощности дозы $H^*(10)$, ($i = 80, 120, 160$ см).

Рассчитанные с учетом рабочей нагрузки или временного режима работы аппарата значения мощности эффективной дозы не должны превышать следующих значений допустимой мощности дозы ДМД:

1. Помещения постоянного пребывания персонала группы А (все помещения, входящие в состав отделений, кабинетов лучевой терапии) — 12 мкЗв/ч.

2. Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии, имеющие постоянные рабочие места персонала группы Б — 2.5 мкЗв/ч.

3. Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии, без постоянных рабочих мест (холл, гардероб, лестничная площадка, коридор, комната отдыха, уборная, кладовая и др.) — 10 мкЗв/ч.

4. Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б (технический этаж, подвал, чердак и др.) — 40 мкЗв/ч.

5. Палаты стационара (не радиологические), смежные по вертикали и горизонтали с отделениями, кабинетами лучевой терапии — 1,2 мкЗв/ч.

6. Территория, прилегающая к наружным стенам отделений, кабинетов лучевой терапии — 2,4 мкЗв/ч.

Литература

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.96 № 3-ФЗ.
2. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.99 № 52-ФЗ.
3. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.02 № 184-ФЗ.
4. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.95 № 170-ФЗ;
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): СП 2.6.1.758–99. Минздрав России, 1999.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): СП 2.6.1.799–99. Минздрав России, 2000.
7. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002): СП 2.6.6.1168–02. М.: Минздрав России, 2002.
8. Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров: СанПиН 2.1.3.1375–03.
9. Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: СП 1.1.1058–01.
10. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ): СанПиН 2.6.1.1281–03;

11. Правила организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 11.10.97 № 1298).
12. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при лучевой терапии закрытыми радионуклидными источниками: Методические указания МУ 2.6.1.2135–06
13. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов. Методические указания МУ 2.6.1.1892–04
14. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками ионизирующего излучения. Серия изданий МАГАТЭ № 115, 1996.
15. Костылев В.А., Наркевич Б.Я. «Радиационная безопасность в медицине», Москва: Изд. «Тровант», 2014, 202 с.