

## Содержание

СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. ВИДЫ И МЕТОДЫ РАДИОТЕРАПИИ.....	14
Дистанционная терапия (телетерапия).....	15
Брахитерапия (контактная терапия).....	21
Радионуклидная терапия.....	24
Интраоперационная радиотерапия.....	28
Глава 2. СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	29
Руководящие документы.....	29
Физические и медико-биологические основы и термины.....	33
Нормативная база и принципы радиационной защиты.....	62
Основы радиационной защиты пациентов при радиотерапии.....	75
Классификация радиационных объектов, радионуклидов и работ по опасности.....	88
Глава 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ.....	92
Исходные положения.....	92
Структура и состав подразделения.....	94
Размещение и состав помещений.....	99
Требования к оснащению и радиационной защите помещений.....	104
Требования к организации работы.....	113
Предупреждение аварий и действия при их возникновении.....	120
Учет, хранение и использование радионуклидных источников излучений.....	129
Обращение с радиоактивными отходами.....	130
Глава 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ, ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ.....	135
Обеспечение радиационной безопасности пациента.....	135
Обеспечение радиационной безопасности персонала.....	138
Обеспечение радиационной безопасности населения.....	143
Обеспечение радиационной безопасности среды.....	145
Глава 5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ.....	146
Планирование и организация радиационного контроля.....	146
Учет и отчетность по результатам радиационного контроля.....	164
Глава 6. ИНФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА И ПАЦИЕНТОВ О ДОЗЕ И РАДИАЦИОННОМ РИСКЕ.....	172
Информирование персонала.....	173
Информирование пациентов о дозе и рисках при проведении радиотерапии.....	180
ЦИТИРУЕМЫЕ ССЫЛКИ.....	183
БИБЛИОГРАФИЯ.....	184
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	186

# Глава 1. ВИДЫ И МЕТОДЫ РАДИОТЕРАПИИ

Требования и пути обеспечения радиационной безопасности зависят от ее характера, особенностей используемых источников и видов ионизирующих излучений. Лучевая терапия может выступать в качестве:

- основной терапии (в том числе и с целью радикального излечения);
- как дополнительная к основной терапии (напр., к оперативному лечению); для снижения вероятности рецидива и метастазирования проводится после операции (адьювантная терапия); с той же целью и для уменьшения опухоли — перед операцией (неоадьювантная терапия);
- для уменьшения симптоматики и повышения качества жизни (паллиативная или симптоматическая терапия), напр., при неоперабельной опухоли.

Радиотерапия стремительно совершенствуется, появляются новые ее типы и источники излучения что затрудняет ее строгую классификацию. Источник излучения называется закрытым, если его устройство исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан; в противном случае источник считается открытым (ОСПОРБ-99). Методы радиотерапии различаются по виду используемого источника излучения (закрытый или открытый) и его расположению относительно организма и мишени (снаружи или внутри). По этим признакам можно выделить следующие группы методов радиотерапии:

- *дистанционная* или *телетерапия*, облучение внешним пучком излучения — терапия от закрытого, внешнего, более или менее удаленного, источника (греч. префикс *tele* — удаленный);
- *контактная* или *брахитерапия* (от греч. *brachios* — короткий) — терапия, при которой закрытый источник или источники излучения находятся в *непосредственной близости* к облучаемой ткани *или внутри* нее;
- *радионуклидная терапия*, т.е. терапия с применением открытых источников ионизирующих излучений (радиофармпрепаратов) — системная или локальная.

По отношению к условиям проведения можно выделить *интраоперационную* радиотерапию с применением различных методов.

При радиотерапии на человека могут воздействовать ионизирующие излучения от *внешних* и от *внутренних* источников. На молекулярном и клеточном уровне между этими двумя ситуациями облучения биоструктур различий нет, в том числе и в отношении связи эффекта с дозой облучения (с учетом его качества). Поэтому вопрос о том, *какое облучение опаснее для человека, внешнее или внутреннее*, — не имеет смысла.

## Дистанционная терапия (телетерапия)

Это наиболее распространенная форма радиотерапии, при проведении которой пучок ионизирующего излучения от внешнего источника, находящегося, как правило, на расстоянии более 0,3 м, направляют на определенную область тела пациента (очаг заболевания, мишень). Очень редко применяется облучение всего тела (при подготовке к пересадке костного мозга). Радиационная защита связана с видом и энергией излучения, конструкцией источника и режимом облучения. Обычно используются фотонные излучения (*рентгеновское*, в т.ч. тормозное, и *гамма излучение*). Корпускулярные излучения (пучки электронов, протонов и др. частиц) применяются реже. Характеристики терапии и радиационной защиты связаны с видом используемого излучения.

*Терапия фотонными (рентгеновским и гамма) излучениями.* Фотонные излучения подразделяют на группы по энергии квантов: сверхмягкие (рентгеновские) лучи Букки (5–20 кэВ), поверхностного действия (ниже 200 кэВ), ортовольтовые (200–500 кэВ), супервольтовые (500–1000 кэВ) и мегавольтовые (1–25 МэВ). Для рентгеновского и тормозного излучения средняя энергия спектра в МэВ составляет около 1/3 от максимальной (равной ускоряющему потенциалу в МВ). Излучения поверхностного действия и ортовольтовые получают на рентгенотерапевтических установках, гамма-излучение — с помощью радионуклидных установок с  $^{137}\text{Cs}$  (662 кэВ) и  $^{60}\text{Co}$  (1,17 и 1,33 МэВ), тормозное излучение (1–25 МэВ) — на линейных ускорителях электронов (ЛУЭ) с тормозящей мишенью. ЛУЭ постепенно заменяют другие установки фотонной терапии; в мире около 10 тыс центров оснащены ЛУЭ. Недавно появились материалы об использовании в радиотерапии малорасходящегося пучка фотонного моноэнергетического *когерентного синхротронного* излучения (от ед. эВ до  $\gg$  МэВ).

По техническим причинам при радиотерапии всегда в разной степени облучаются и здоровые ткани. Поэтому применяемая доза ограничи-

вается пределом толерантности облучаемой здоровой ткани. Для уменьшения дозы на здоровые ткани мишень облучают с разных направлений, что повышает требования к радиационной защите помещения.

Облучение обычно проводится пять дней в неделю, фракциями по ~2 Гр в день. Исторически использование фракционированного облучения невысокими дозами было обусловлено возможностью контролировать локальные и общие лучевые реакции в ходе терапии (до появления необратимых осложнений). Это уменьшает вероятность переоблучения и направлено на обеспечение радиационной безопасности пациента. В некоторых случаях фракционирование позволяет управлять процессом терапии (и даже определять достижение эффекта). Суммарные лечебные дозы на эпителиальную опухоль составляют 60–100 Гр при толерантных дозах для различных тканей порядка 30–60 Гр; доза на лимфомы — 20–50 Гр, дозы адьювантной терапии — 45–65 Гр. Применение фракционированного, а не однократного облучения часто объясняется тем, что здоровая ткань восстанавливается после радиационного воздействия быстрее, чем ткань опухоли. Поэтому путем фракционированного облучения мишени в течение нескольких недель достигают такого эффекта, что опухолевая ткань отмирает, в то время как прилегающая здоровая ткань по большей части выживает. Фактически важным аргументом в пользу фракционированного облучения являлась возможность корректировать дозу (и исключать ошибки) по ходу терапии. Изучается эффективность различных схем гипер- и гипо- фракционирования в связи с характером опухоли, однако их обоснование пока небесспорно. В то же время, с улучшением фокусировки излучений в объеме мишени и точности дозирования, получает распространение однократное воздействие для полного уничтожения опухоли — радиохирurgia.

**Традиционное «двумерное» облучение (2D, 1960-е гг.)** проводят через ограниченные на коже, обычно прямоугольные, поля с 2–4 направлений по данным рентгеновской визуализации опухоли. Планирование облучения проводится на основе поперечных срезов, построенных по данным снимков или КТ. В облучаемую область попадает много здоровых тканей. Для более точного облучения объема мишени стали использовать блоки и клинья. Дозиметрическое обеспечение проводится с помощью фантомов. Возможно облучение в режиме перемещения (вращения) источника вокруг мишени (подвижное облучение). Индивидуальное изготовление блоков, увеличение числа полей до 4–6 и формирование пучков по профилю мишени, *рассматриваемой с направления пучка* с помощью вспомогательных средств позволили начать **конформную**

**трехмерную 3D радиотерапию (1980-е гг.)**. Повышение конформности облучаемого объема к опухоли снижает облучение критических тканей и позволяет повысить суммарную очаговую дозу (СОД). При раке молочной железы такой подход может дать повышение 20-летней выживаемости на 2–4%.

**Трехмерная конформная радиотерапия (3DCRT, 1990-е гг.)**. Следующим шагом стало применение линейного ускорителя с автоматически управляемым компьютером многолепестковым коллиматором и различного, в т.ч. большого, числа окон («пучков»). 3DCRT становится стандартом радиотерапии.

**Терапия модулируемой интенсивности, IMRT.** Дополнительно к возможностям 3DCRT позволяет управление интенсивностью облучения отдельных сегментов поля в каждом направлении облучения мишени, что еще более повышает конформность облучения (особенно когда «вогнутая» опухоль «обертывает» жизненно важный орган, напр., сосуд). Современная технология конформной радиотерапии обеспечивается применением *стереотаксического метода* автоматического управления наведением пучков излучения на основе определения при сканировании координат патологического очага относительно зафиксированных на теле меток (стереотаксической рамки). Координаты мишени контролируются путем ее сканирования не только до, но и в процессе облучения (**радиотерапия, управляемая изображением — IGRT**).

**Томотерапия.** ЛУЭ с многолепестковым коллиматором может быть интегрирован в гентри со спиральным компьютерным томографом, что позволяет осуществлять круговую *спиральную* (томографическую) радиотерапию с текущим контролем анатомических изменений (похудение пациента, отеки, уменьшение опухоли) в ходе лечения. Излучение доставляется десятками тысяч тоненьких лучей. Это обеспечивает невозможную для конических пучков точность: так, можно облучать плевру не затрагивая легкое, или ткани, окружающие спинной мозг, без облучения спинного мозга.

IGRT также является необходимым элементом *радиохирургии*.

**Радиохирurgia** — это, как правило, однократное лучевое вмешательство, позволяющее обеспечить достижение радикального результата (гибели клеток объекта-мишени) за счет высокой (более 100 Гр) дозы излучения, точности его наведения (0,1–0,3 мм) и резкого спада дозы за пределами облучаемого объема (в 5 раз в миллиметрах от мишени). Для этого применяются специальные установки с компьютерным управлением и стереотаксическим наведением (напр., установки кибер-нож на

базе ЛУЭ; гамма-нож и др.). Разрабатываются приспособления для исключения влияния смещений опухоли в ходе облучения. Радиохирurgia применяется для лечения опухолей и метастазов, артериовенозных мальформаций, а также для нейрохирургических вмешательств при невралгии тройничного нерва, болезни Паркинсона, эпилепсии, идиопатическом треморе, обсессивно-компульсивных расстройствах. После лечебного сеанса пациент может вернуться домой. Эффективность метода подтверждена при более чем 100 000 вмешательствах. Особенно эффективно применение в этих целях протонов или ионов углерода (благодаря свойству выделять энергию на заданной глубине), но пока это ограничивается уникальностью установок.

Оборотной стороной высокой конформности облучения может быть вероятность рецидива из-за неопределимого инфильтрирующего прорастания опухоли за пределы мишени, или из-за физиологических смещений органа во время облучения. Поэтому традиционная радиотерапия менее чувствительна к ошибкам планирования и оператора и продолжает применяться и в настоящее время.

Фотонная терапия интенсивно развивается. Так, недавно появились сообщения о т.н. *гадолиниевой синхротронной стереотаксической терапии*, при которой тропная к Gd-препарату и насыщенная им опухоль облучается пучком моноэнергетических 51-кэВ фотонов с выделением в мишени высокоэффективных электронов Оже.

**Дистанционная терапия корпускулярными излучениями** охватывает лечебное применение потоков ускоренных частиц — электронов, протонов, ионов с высоким зарядом (углерод, неон, аргон, кремний), пимезонов и нейтронов.

**Электронная терапия** осуществляется путем облучения патологического очага пучком электронов с энергиями в диапазоне от 1 до 20 МэВ, генерируемых на тех же ЛУЭ, которые позволяют получать и тормозное излучение (редко — на ускорителях других типов). Распределение дозы таких электронов по глубине ткани характеризуется плавным максимумом с последующим более быстрым спадом. Глубина максимума дозы, выраженная в сантиметрах, приблизительно соответствует трети значения энергии электронов в МэВ. Электронный пучок с энергией до 5 МэВ используется при лечении поверхностных злокачественных новообразований; с энергией выше 20 МэВ — расположенных глубже. Современные ускорители дают возможность плавно регулировать энергию пучка электронов и глубину максимума дозы, осуществлять терапию конформную и модулируемой интенсивности. В случае генерализованного поражения

можно при злокачественной лимфоме иногда используют тотальное и субтотальное фракционированное облучение пучком электронов, при этом значимые лучевые реакции практически не возникают. В связи с малой массой электронов их пучки характеризуются значительным рассеянием в тканях и относительно невысокой биологической эффективностью; они применяются в основном при поверхностных опухолях.

**Протонная терапия** — с использованием протонов, ускоренных до больших энергий (50–1000 МэВ) на синхрофазотронах и синхротронах. По сравнению с фотонными излучениями и электронами протоны (1) меньше рассеиваются в ткани и (2) выделяют большую часть энергии на заданной глубине в теле (т.н. пик Брэгга). Это вместе со *стереотаксическим наведением* пучка создает возможность гомогенного облучения объема мишени с миллиметровой точностью и двукратным снижением дозы на здоровые ткани по сравнению с фотонным излучением. Протонная терапия показана для облучения четко ограниченных патологических очагов, расположенных вблизи жизненно важных структур, а также глубоко залегающих опухолей, когда в зону облучения попадает значительный объем нормальных тканей. Хорошо разработана техника облучения небольших по объему внутричерепных мишеней (гипофиза), опухолей глаза узкими пучками протонов с использованием стереотаксического метода. Мишень облучают одномоментно путем ротации или с многих (до 100) направлений, благодаря чему в очаге создается доза до 100 Гр. Распространение протонной терапии ограничивалось уникальностью установок (циклотронов и синхротронов) и устройств наведения. В мире имеется ~20 таких центров, в России — 3. Терапия проводится 3,5 тыс пациентов в год, пролечено 40 000 пациентов с очень хорошими результатами. В России ФИАН (Протвино) планирует производство компактных комплексов для протонной терапии. Аналогичными достоинствами обладает менее реализуемая терапия ядрами гелия.

**Ионная терапия** — качественный скачок в развитии радиотерапии. Известно, что в 10÷20% случаев злокачественные опухоли плохо поддаются лечению фотонными, электронными и протонными пучками. Такие опухоли называются резистентными. Резистентность обусловлена тканевой гипоксией, активностью ферментов репарации и генетическими особенностями клеток таких опухолей. Ее можно преодолеть путем использования излучений, вызывающих большую плотность ионизации по сравнению с протонами и ядрами гелия (с ЛПЭ 50÷100 КэВ/мкм). К ним относятся пучки ионов элементов тяжелее гелия (C, P, Ne, Si, Ar), имеющие два важных преимущества:

(1) распределение дозы с более крутым максимумом на глубине — по ком Брэгга, и с меньшим, чем у протонов, рассеиванием, что обеспечивает конформность терапии и снижает облучение здоровых тканей;

(2) по сравнению с фотонами, протонами и ядрами гелия — значительно более высокая ЛПЭ и биологическая эффективность (ОБЭ) в объеме мишени, особенно в отношении гипоксических клеток, клеток в резистентных фазах митоза и клеток радиорезистентных опухолей.

В 90-е годы было показано, что оптимальной является **терапия ионами углерода**. При ней здоровые ткани на входе повреждаются меньше, чем от более тяжелых ионов, а эффект в мишени столь же высокий. Её высокая эффективность подтверждена при лечении более тысячи пациентов с опухолевыми заболеваниями.

В связи со сложностью установок и затратами центры ионной лучевой терапии сейчас есть лишь в Японии (2) и Германии (2). В США, Японии и ЕС разрабатываются специализированные протон-ионные ускорители (протонов и ионов углерода) для медицинских применений, планируются региональные центры ионной радиотерапии. В России планируется создание центра протон-ионной терапии на 1000 пациентов в год в Протвино, на базе ГИЦ Институт физики высоких энергий.

**Пи-мезонная (пионная) терапия** основана на использовании отрицательных пи-мезонов — заряженных ядерных частиц с массой, величина которой занимает промежуточное место между массами электрона и протона, генерируемых на уникальных установках. Пи-мезоны обладают благоприятным дозным распределением с высокой биологической эффективностью. Лечебное применение пи-мезонов проводилось в США, Канаде и Швейцарии на нескольких сотнях пациентов, но пока не выявило решающих преимуществ перед менее затратными видами современной радиотерапии, и не получило распространения.

**Нейтронная дистанционная терапия** проводится с использованием быстрых нейтронов (6–15 МэВ), получаемых в результате ядерных реакций на циклотроне. Создаваемое в теле дозное распределение подобно распределению при фотонной терапии, но биологическая эффективность вторичных плотноионизирующих частиц выше, чем фотонов. Применяется при лечении больших и радиорезистентных опухолей и при паллиативной терапии неоперабельных опухолей (напр., рака слюнных желез; сарком; локально распространенного рака предстательной железы и др.).

**Нейтронзахватная терапия (NCT)** исходно основана на дистанционной нейтронной терапии внешним пучком нейтронов, получаемым

на малом реакторе или ускорителе. В этом случае терапевтический эффект усиливается в результате активного захвата замедленных в ткани тепловых или промежуточных нейтронов (энергия ниже 200 кэВ) ядрами предварительно накопленных в опухоли изотопов (например,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{199}\text{Au}$ ), испускающих в результате взаимодействия заряженные вторичные частицы с высокой биологической эффективностью. Это ведет к селективному уничтожению опухолевой ткани. Нейтронзахватная терапия возможна также при нейтронной брахитерапии (см. ниже).

**Ближкофокусная рентгенотерапия** внешним пучком (поверхностная или внутрисполостная, с коротким, как правило, — единицы см, фокусным расстоянием). Осуществляется мягкими рентгеновскими лучами поверхностного действия (в т.ч. Буки-терапия); рассматривается как разновидность контактной или брахитерапии — см. следующий раздел.

## Брахитерапия (контактная терапия)

Брахитерапия (от греч. brachios — близкий), — терапия, при которой источник излучения (как правило, закрытый) размещается в непосредственной близости к облучаемому объекту или внутри него. Это обеспечивает улучшение точности облучения очага и защиты здоровых тканей. При дистанционной терапии мегавольтные энергии излучений необходимы для достижения глубоко расположенного очага, в то время как брахитерапия может успешно достигать цели и при энергии фотонов ~20 кэВ (напр., у  $^{103}\text{Pd}$ ), а также при использовании альфа- и бета-активных радионуклидов. В случае использования фотонного излучения мощность дозы в тканях быстро падает не только в связи с поглощением излучения, но и пропорционально квадрату расстояния от источника. Одним из условий успешного применения терапии является участие физика в ее планировании и обеспечении. Брахитерапия стремительно развивается и в ней можно также выделить методы, ставшие традиционными, и более современные, основанные на использовании высокотехнологических методов визуализации в комплексе с компьютерными методами планирования терапии и контроля установки и удаления источников излучения. По расположению источника брахитерапия может быть контактной, внутрисполостной и интратканевой. По технике введения излучателя — ручной, аппаратной, с отдаленным контролем. По необходимости удаления источника — с временным облучением удаляемым источником и постоянным (до распада) облучением неудаляе-

# Глава 5. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

## Планирование и организация радиационного контроля

**Производственный контроль** в соответствии с санитарными правилами СП 1.1.1058-01 проводится администрацией с целью обеспечения безопасности людей от воздействия вредных производственных *радиационных и нерадиационных факторов*. Производственный контроль направлен на проверку выполнения необходимых контрольных исследований воздействия вредных факторов, наличия нормативных документов и санитарных правил, организации профподготовки, аттестации медицинских осмотров персонала, наличия лицензий, сертификатов, включений и других необходимых документов, подтверждающих безопасность работы и выполнение санитарных требований; ведения учета и отчетности по этим вопросам; информирования населения в случае угрозы санитарно-эпидемиологическому благополучию населения. Производственный контроль включает разработку и реализацию мер, направленных на устранение выявленных нарушений. Производственный контроль начинается с участия в разработке медико-технических заданий на проектирование отделения радиотерапии и включает осуществление контроля за проектированием, строительством, реконструкцией и эксплуатацией исправностью оборудования и систем обеспечения. Производственный контроль охватывает и мероприятия по техническому обеспечению и совершенствованию технологий, в том числе коррекция заявок на аппаратуру и оборудование, расходные материалы, а также контроль за профессиональной подготовкой и переподготовкой персонала. Особое место в производственном контроле занимает **контроль качества** — система организационных мероприятий, технических средств и технологических процедур для количественного определения, мониторингования и поддержания на оптимальных уровнях рабочих характеристик аппаратуры, технологий радиотерапии и параметров качества радиофармпрепаратов. Программы контроля качества включает в себя регулярную сверку аппаратуры с исходным ее состоянием на момент первоначальной установки и владки техники соответствующим специалистом.

Применительно к радиационным объектам важнейшей частью производственного контроля является радиационный контроль.

**Радиационный контроль** — получение информации о всех регламентированных величинах, характеризующих радиационную обстановку, и о фактах облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиационный контроль). Это необходимое звено системы РБ, обеспечивающее обратную связь и возможность управления. Его цель — получение информации для принятия решений по оптимизации радиационной безопасности, недопущению нарушений и организации аварийных мероприятий. Порядок проведения производственного радиационного контроля определяется администрацией в «Положении о службе (ответственном лице)», которое согласовывается с органами государственного надзора. Радиационный контроль осуществляет служба радиационной безопасности (служба РБ) или ответственное лицо, назначенное приказом. Объем, периодичность и места проведения контроля в подразделении определяется администрацией учреждения (ответственным лицом или службой РБ) и согласовывается с органами государственного надзора. При этом ответственное лицо опирается на руководящие документы и профилю подразделения (МУ 2.6.1.2135-06, СанПиН 2.6.1.2368-08, санитарно-гигиенические рекомендации по новым методикам радиотерапии). Штатная численность и техническое оснащение службы устанавливаются администрацией учреждения с учетом объема и характера работ с радионуклидными источниками. При выявлении нарушений радиационной безопасности, ответственные лица, осуществляющие радиационный контроль, вправе приостанавливать работы с источниками.

Радиационному контролю подлежат: радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде; уровни облучения пациентов, персонала и лиц из населения; радиационные характеристики используемых источников, выбрасываемых в атмосферу, жидких и твердых отходов. Объектами радиационного контроля являются помещения и рабочие места, персонал и пациенты; радиационно-защитное, технологическое и медицинское оборудование; технологические процессы лучевой терапии.

Контролируемыми параметрами являются годовая эффективная эквивалентная доза; поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме; мощность дозы внешнего излучения; интенсивность потока частиц и фотонов; активность радионуклидов в образце, пробе, мазке; объемная активность радионуклидов в воздухе; ради-

оактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей.

Используются предназначенные для этих измерений средства симметрии и радиометрии гамма- и бета-излучений, с погрешностью более  $\pm 20\%$ , внесенные в Государственный реестр средств измерений. Приборы радиационного контроля ежегодно должны проходить метрологическую поверку. Большой объем литературы по всем аспектам дозиметрического контроля, базы данных и компьютерные программы для его обеспечения на CD доступны (в т.ч. на коммерческой основе) на сайте [www.doza.ru](http://www.doza.ru).

В радиационном контроле можно выделить два направления.

### 1. Контроль радиационной обстановки

- измерения мощности поглощенной дозы фотонного и бета-излучения на рабочих местах персонала и в помещениях, в т.ч. и при работах с радиоактивными газами – измерения объемной активности радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений; измерения активности и радиационного выхода радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения;
- измерения уровней радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, одежды и кожных покровов работающих; контроль внешнего излучения от пациентов с введенными РФП на выходе из подразделения; контроль отсутствия источника в теле пациента после тактического облучения;
- 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.;
- контроль за сбором, хранением и удалением твердых радиоактивных отходов;
- радиометрический контроль сточных вод;
- радиометрический контроль фильтров вентиляционных систем.

### 2. Дозиметрический контроль облучения людей.

- индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала;
- индивидуальный радиометрический контроль уровня инкорпорации радионуклидов у персонала в случае радиационной аварии;
- групповой дозиметрический контроль облучения персонала;
- дозиметрический контроль облучения пациентов.

Некоторые виды измерений, напр., контроль радиационного выхода источников, радиометрический контроль активности радиофармпрепарата в ходе их фасовки и приготовления для введения, или измерения в ходе дозиметрического планирования и реализации процесса терапии рассматриваются как технологическая часть производственной деятельности персонала, а не собственно контроль. Тем не менее, эти результаты также иногда используются в целях дозиметрического контроля облучения пациентов и персонала.

Результаты всех видов радиационного контроля регистрируются в *специальных журналах*. Они сопоставляются со значениями пределов доз по НРБ-99 и контрольными уровнями. Превышения контрольных уровней анализируются службой РБ, которая информирует администрацию учреждения. О случаях превышения установленных в НРБ-99 пределов доз для персонала администрация учреждения сообщает в органы государственного надзора.

**Программа (план) радиационного контроля** составляется в письменной форме и должна включать следующие данные по радиационному контролю:

- перечень профильных нормативно-методических документов (санитарных правил и др. по радиационной безопасности);
- указание лиц, ответственных за проведение радиационного контроля;
- перечень объектов радиационного контроля с указанием помещений и рабочих мест, где необходимо проводить измерения уровней радиационных факторов;
- перечень должностей работников, подлежащих индивидуальному (ИДК) и групповому дозиметрическому контролю (для персонала групп А и Б);
- порядок проведения контроля радиационной обстановки на рабочих местах указанием мест, где необходимо проводить измерения мощностей доз фотонных излучений и радиоактивного загрязнения, и средств измерений;
- порядок проведения ИДК с указанием количества и мест ношения на теле работника индивидуальных дозиметров;
- перечень мероприятий по повышению радиационной безопасности в организации;
- перечень форм учета и отчетности по вопросам радиационной безопасности;

- перечень возможных аварийных ситуаций и мероприятий, проводимых в случае их возникновения.

### Контроль радиационной обстановки

Целью контроля радиационной обстановки является оценка ее соответствия нормам и требованиям безопасности. Он также является основой группового дозиметрического контроля облучения персонала (МЗ 2.6.1.2118-06). Радиационный контроль проводится в плановом порядке или в случаях изменения установленных технологических процессов при наличии подозрений на нарушения технологии работы с источниками и при аварийных ситуациях. При внедрении в подразделении нового метода радиационный контроль проводится в объеме и с периодичностью, достаточными для установления оптимального режима рутинного радиационного контроля. Для определения контролируемых величин (эффективной и эквивалентной доз), измеряются близкие к ним операционные величины (амбиентная доза и индивидуальный дозовый эквивалент, см. гл. 2). Вначале определяются показания фона в точках измерения при выключенном или находящемся положении хранения источника. Впоследствии они вычитаются из результатов измерений, выполненных во время работы с источником.

Места измерений отображаются на *схеме дозиметрического контроля* подразделения радионуклидной диагностики, в виде плана рабочих помещений с указанием размещения источников и пронумерованных точек измерения и легенды к нему в виде перечня точек измерения с указанием измеряемых величин (мощность ambiентного эквивалента дозы мкЗв/ч; активность, Бк; загрязнение, част./см<sup>2</sup> мин); объемная активность, Бк/м<sup>3</sup>). Результаты измерений фиксируются в журнале радиационного контроля, к которому прилагается схема дозиметрического контроля с расположением источников и точек измерений.

Измеренные значения, после приведения к рабочей нагрузке (режиму работы) аппарата, сравнивают с допустимыми и контрольными уровнями (гл. 2 и 5) для рабочих мест, помещений и территории.

Допустимые уровни радиационных факторов (дозы, мощности дозы, флюенсы, активности и др.) установлены в государственных руководящих документах (санитарных нормах и правилах, методических указаниях и др.). Контрольные уровни, в отличие от допустимых, устанавливаются администрацией учреждения на уровне *ниже* допустимых, в качестве оптимизации радиационной защиты. Их значения отражают достигнутый в учреждении уровень радиационной безопасности. Они ра-

батываются лицом (службой), ответственным за радиационную безопасность по результатам накопленных данных радиационного контроля в точках измерений, оформляются (напр., как табл. 13) и утверждаются администрацией учреждения.

Табл. 13. Контрольные уровни радиационных факторов

Помещение	Место и № точки измерения	Фактор (единица измерения)	Контрольный уровень радиационного фактора	Возможное время работы оператора	Максимальная доза за год, мЗв
	1	мкЗв/ч			
	2	част/(см <sup>2</sup> ·мин)...			
	3...				

Последний столбец табл. 13 Контрольные уровни радиационных факторов подтверждает неразрывную связь между контролем радиационной обстановки и групповым дозиметрическим контролем облучения персонала.

#### Контроль мощности дозы излучения на рабочих местах, в помещениях и на территории

Контроль мощности дозы излучения на рабочих местах, в помещениях и на территории является основой оценки радиационной безопасности в подразделении, а также инструментом группового контроля доз облучения персонала группы Б (см. ниже). Измерение мощностей доз на рабочих местах рекомендуется проводить 1 раз в год. Контролируемые (формируемые) величины — мощность эффективной дозы  $\dot{E}$  и мощность эквивалентных доз  $\dot{H}$  облучения хрусталика и кожи конечностей — не поддаются измерению. Поэтому в точке пространства измеряется соответствующая операционная величина, дающая консервативную (т.е. верхнюю) оценку контролируемой величины (гл.2). Такой величиной является — *мощность ambiентного эквивалента дозы («мощность ambiентной дозы»)*,  $\dot{H}^*(d)$ , мкЗв/ч Здесь  $d$ , мм, — параметр («заглубленность» точки измерения в ткань), определяющий контролируемую величину и свойства дозиметра. Величина  $d$  равна: для контроля мощности эффективной дозы облучения всего тела — 10 мм; мощности эквивалентной дозы облучения хрусталика — 3 мм и кожи — 0,07 мм (табл. 14).

**Контроль мощности эффективной дозы внешнего излучения  $\dot{E}$ .** В формировании эффективной дозы внешнего облучения персонала важную роль играет фотонное излучение. Операционной (*измеряемой*) величиной, характеризующей, с консервативными допущениями,