

Содержание

СОКРАЩЕНИЯ

СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	9
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО КАБИНЕТА.....	11
2.1. Размещение рентгеновского кабинета и общие требования к его помещениям.....	18
2.2. Гигиенические требования к техническому обеспечению рентгеновского кабинета.....	21
2.3. Документация, необходимая при организации и функционировании рентгеновского кабинета.....	25
Глава 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	28
3.1. Определения и термины.....	28
3.2. Система обеспечения радиационной безопасности.....	41
3.3. Обеспечение радиационной безопасности пациентов.....	48
3.4. Обеспечение радиационной безопасности персонала.....	54
3.5. Обеспечение радиационной безопасности населения.....	57
3.6. Стационарные средства радиационной защиты. Допустимая мощность дозы в воздухе.....	58
3.7. Передвижные и индивидуальные средства радиационной защиты.....	61
Глава 4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ.....	64
4.1. Организация радиационного контроля.....	64
4.2. Дозиметрический контроль облучения персонала.....	67
4.3. Измерение мощности дозы на рабочих местах и групповой дозиметрический контроль.....	67
4.4. Индивидуальный дозиметрический контроль.....	71
4.5. Определение эффективных доз облучения пациентов.....	73
4.6. Характерные эффективные дозы облучения персонала рентгеновских кабинетов.....	85
4.7. Характерные дозы облучения пациентов при рентгеновских исследованиях.....	86
4.8. Связь радиационного риска (ущерба) с дозой облучения.....	88
4.9. О восприятии риска от облучения в малых дозах.....	90
4.10. Опосредованное (сравнительное) представление радиационного риска.....	92
4.11. Информирование пациентов и персонала о дозах облучения.....	93
4.12. Регистрация и хранение результатов радиационного контроля.....	95
4.13. Отчетность по результатам радиационного контроля.....	97
4.12. Компьютерные программы для ведения учета и отчетности по результатам радиационного контроля.....	99
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	102

Глава 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Определения и термины

В радиационной безопасности применяются термины, отражающие физические характеристики взаимодействия излучений с веществом, биологические эффекты облучения и регламентацию облучения персонала, пациентов и населения.

Центральное место в терминологии радиационной безопасности занимает понятие доза. В словаре Вебстера доза определяется как количество чего-либо, действующего на человека, особенно чего-то неприятного. В радиационной защите термин доза применяется как составная часть ряда терминов, обозначающих принципиально различные величины, применяемые как мера воздействия ионизирующего излучения. Доза может определяться через физические параметры излучения, доступные теоретическому расчету и измерению, например, экспозиционная и поглощенная дозы. С другой стороны, в области радиационной защиты понятие доза может включать оценку ожидаемого биологического эффекта. К подобным показателям относятся *эквивалентная и эффективная дозы*, отражающие допущения об относительной биологической эффективности различных излучений (*эквивалентная доза*) и о вкладе отдельных органов в суммарный ущерб для здоровья человека от отдаленных эффектов облучения (*эффективная доза*). Такая доза не может быть непосредственно измерена, ее определение требует дополнительных расчетов.

Поэтому, говоря о дозе, всегда требуется определить, какую именно дозу Вы имеете в виду. Подробнее эти и другие применяемые в радиационной безопасности понятия рассматриваются ниже.

Физические характеристики облучения организма

Доза экспозиционная, Э — исторически первая мера воздействия фотонных излучений, равная отношению суммарного электрического заряда образованных в воздухе ионов одного знака к его массе, $E = dQ/dm$. Ее единица в системе СИ — кулон на килограмм, К/кг; специальная единица — рентген (Р) — соответствует образованию в 1 см³ воздуха ионов одного знака с суммарным зарядом в одну электростатическую единицу

количества электричества; $1Р=2,58 \cdot 10^{-4}$ К/кг. Экспозиционной дозе 1Р соответствует поглощенная доза в воздухе ~ 0,9 рад. Экспозиционная доза отражает интенсивность излучения в воздухе в точке измерения; она широко использовалась для контроля полей излучения (мощности дозы в точке измерения, мР/ч); дозиметрические приборы, с этой целью выпущенные до 80-х годов (включительно), проградуированы в Р, реже — в рад и достаточно широко применяются вплоть до настоящего времени.

Доза поглощенная, D — количество поглощенной энергии излучения на единицу массы вещества, что выражается формулой

$$D = de/dm \text{ (Дж/кг)},$$

где de — энергия, переданная элементарному объему вещества, а dm — масса вещества в этом объеме. Поглощенная доза отражает поглощения энергии в тканях тела; это — *основопологающая дозиметрическая величина*. Ее единица — 1 джоуль на килограмм — имеет специальное наименование **грей (Гр)**. Часто употребляются дольные единицы: сантигрей (сГр), миллигрей (мГр), микрогрей (мкГр) а также внесистемная единица поглощенной дозы **рад** (100 эрг на грамм). 1 рад = 1 сантигрей (10^{-2} Гр).

Поглощенная доза в воздухе D_v (рад, р), наряду с экспозиционной дозой, применяется для контроля полей излучения. Размерность — Дж/кг, единица — Гр, внесистемная единица рад (р): $D_v \text{ (рад)} \approx 0,9 \text{ Э (Р)}$. На практике коэффициентом 0,9 часто пренебрегают, полагая $D_v = \text{Э}$.

Керма в воздухе, K_v — отношение суммарной энергии заряженных частиц, создаваемых незаряженными частицами (здесь — фотонами) в элементарном объеме воздуха, к массе этого объема. Размерность — Дж/кг, единица — Гр численно близка к поглощенной дозе в воздухе, но не включает энергию от рассеянного излучения.

Доза, поглощенная в органе или ткани, D_T (*средняя поглощенная доза в органе*) — часто непосредственно используется для регламентации облучений органа, например, щитовидной железы, как в отношении ближайших последствий (при радиотерапии), так и в отношении отдаленных последствий облучения (при возможной ингаляции иода-131). Рассчитывается путем усреднения поглощенных доз в точках ткани (органа):

$$D_T = \frac{1}{M_T} \sum_{M_T} D_m = \frac{1}{M_T} \int_{M_T} D_m \cdot dm, \text{ Гр}$$

где M_T — масса ткани или органа, T , D_m — поглощенная доза в элементе массы органа dm .

Дозиметрический фантом. Физическая или математическая тканеэквивалентная модель тела человека, применяемая для измерений или

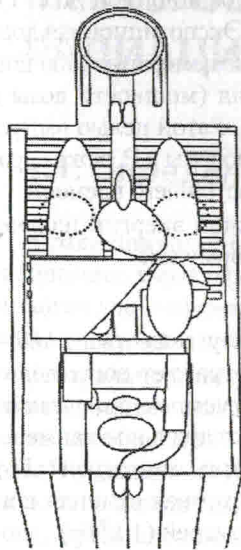


Рис. 2. Слева — схема математического фантома человека; справа — плексигласовый цилиндрический фантом, применяемый для дозиметрии при компьютерной томографии

расчетов поглощенных доз в теле или органах человека. Фантомы могут моделировать тело человека с различной степенью детализации, отражать только гомогенную массу тела или его гетерогенное строение (рис. 2).

Поглощенные дозы в органах могут быть измерены датчиками в физических фантомах тела человека. Поглощенные дозы в органах также могут быть рассчитаны методом Монте-Карло применительно к облучению математического фантома тела человека.

Показатели экспозиции пациента при рентгеновском исследовании — *здесь*: измеримые величины, пропорциональные переносимой к телу пациента энергии излучения, в т.ч. произведение дозы на площадь, произведение анодного тока на время экспозиции и произведение дозы на длину (при КТ).

Биологические эффекты облучения

Биологические эффекты, определяющие критерии нормирования облучения, обусловлены радиационными повреждениями ДНК клеток. Они включают: а) функциональные и структурные лучевые реакции

тканей и органов, б) последствия изменения генетической информации отдельных клеток. С этим связано наличие двух типов биологических эффектов радиации.

Детерминированные эффекты облучения

Это эффекты (напр., поражения кожи), для которых существует дозовый порог, ниже которого эффект отсутствует, а выше — клиническая выраженность проявления зависит от дозы (*детерминирована дозой*). Это обусловлено тем, что с увеличением дозы возрастает число (доля) пораженных (погибших) клеток ткани, вплоть до проявления нарушений ее функции. Поэтому МКРЗ предлагает называть такие эффекты **пороговыми реакциями** на облучение. К детерминированным эффектам, в частности, относятся острые лучевые поражения (общие и местные) — *острые* или *ближайшие эффекты облучения*. Примеры детерминированных эффектов: первичная реакция, эритема, лучевая болезнь, бесплодие, аномалии развития плода, катаракта. В зависимости от того, является ли облучение однократным или протяженным (в течение ряда лет), определяют **порог дозы** или **порог мощности дозы** возникновения детерминированного эффекта (табл. 5).

Таблица 5

Пороги некоторых детерминированных эффектов фотонного облучения (Публикация МКРЗ № 60)

Наименование эффекта облучения	Однократное облучение, Гр	Протяженное облучение, Гр/год
Временная стерильность мужчин	0,15	0,4
Постоянная стерильность мужчин	3,5–6	2
Постоянная стерильность женщин	2,5–6	0,2
Катаракта с ослаблением зрения	2–10 *	Выше 0,15
Клинически определяемое подавление кроветворения	0,15	0,4
Пороки развития плода при облучении в утробе в период органогенеза, в том числе умственная отсталость ребенка в результате облучения на 8–15-й неделе беременности	~ 0,1	~ 0,1 (практический порог)

* Признаки помутнения хрусталика могут появляться после доз порядка 1 Гр.

Как видно из таблицы 5, наиболее опасными представляются *пороки развития плода* при облучении беременных женщин (в период органогенеза плода), с чем связано введение специальных ограничений лиц этой категории.

Пороговая доза для возможного легкого поражения кожи (в т.ч. выпадения волос) составляет около 2 Гр. Именно эта доза на коже указывается в мировой литературе как лимитирующая возникновение местных детерминированных эффектов у пациентов при рентгенологических исследованиях.

При работе в штатном режиме пороговые эффекты у персонала практически не возникают, т.к. установленные пределы облучения значительно ниже порогов их возникновения. Поэтому для нормирования профессиональных облучений в основном используются оценки риска от стохастических эффектов.

Стохастические (т.е. вероятностные) эффекты облучения

Это эффекты, не имеющие дозового порога возникновения. Стохастические эффекты могут возникать, если облученная клетка с повреждением генетической информации ДНК сохранила жизнеспособность. Измененная соматическая клетка может положить начало клональному росту — опухолевому заболеванию, неотличимому от других неоплазий, половая клетка может вызвать наследственные заболевания. Вероятность возникновения рака или наследственного дефекта тем выше, чем выше доза, но клиническая тяжесть любого возникшего заболевания не зависит от дозы. Поскольку защитные механизмы организма не абсолютно эффективны, отдельные случаи рака возможны при сколь угодно малых дозах (порог отсутствует). При дозах однократного облучения менее 1 Гр (и хронического облучения — менее 2 Гр) возможное сокращение продолжительности жизни людей обусловлено смертностью от неопластических заболеваний («раков»), которые занимают центральное место в оценке и регламентировании радиационного риска. Поскольку стохастические эффекты могут проявляться спустя длительное время после облучения, этот термин часто употребляется как синоним понятия «отдаленные эффекты» облучения (однако надо иметь в виду, что некоторые детерминированные эффекты, напр., катаракта, также могут проявляться отсроченно).

Беспороговость генетических изменений клеток связана с квантовым характером взаимодействия излучения с молекулой ДНК. Это делает невозможным путь нормирования, включающий определение пороговых доз и коэффициентов безопасности. На смену ему приходит путь определения радиационного риска (ущерба) от эффектов облучения, выбора приемлемого риска и оптимизация радиационной защиты по критериям польза-вред от применения радиации. С целью применения в радиаци-

онной защите МКРЗ ввела понятия эквивалентной и эффективной доз облучения, учитывающих ожидаемые стохастические эффекты при различных вариантах облучения человека.

Эквивалентная и эффективная дозы облучения человека

Эквивалентная и эффективная дозы — это расчетные величины, которые, в отличие от физических доз излучения, включают параметры и дозирования, введенные конвенционально для учета медицинских отдаленных эффектов облучения человека. Подобные величины раньше называли биологическими дозами. Они предназначены для использования исключительно в области радиационной защиты.

Эквивалентная доза облучения органа (ткани), H_T — поглощенная доза в органе (ткани), умноженная на взвешивающий коэффициент для данного излучения, учитывающий его биологическую эффективность по вызываемым отдаленным эффектам. H_T равна дозе «стандартного» гамма-излучения на орган, эквивалентного по отдаленным эффектам рассматриваемому излучению. Вычисляется как сумма компонентов дозы облучения сложного состава, умноженных на взвешивающие коэффициенты W_R для соответствующих видов излучения:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}, \text{ Зв}, \quad (1)$$

где H_T — эквивалентная доза в ткани T; $D_{T,R}$ — поглощенная доза в органе (ткани) вида T, создаваемая излучением вида R; w_R — весовой множитель для излучения R, отражающий конвенционно принятые значения ОБЭ излучения R. Единица эквивалентной дозы — зиверт (Зв), размерность — Дж/кг. Взвешивающие коэффициенты w_R для различных видов излучения узаконены МКРЗ (табл. 6).

Таблица 6
Взвешивающие коэффициенты w_R для видов излучения (НРБ-99)

Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Коэффициенты W_R (Зв/Гр) используются в радиационной защите для перехода от поглощенной к эквивалентной дозе облучения органа, ткани. Они учитывают ОБЭ различных видов излучения по индукции отдаленных эффектов в клетках человека. Поэтому они резко отличаются от $K_{ОБЭ}$ по острым эффектам облучения.

Для фотонных излучений $w_R=1$, поэтому в рентгенологии эквивалентная доза, Зв, равна поглощенной дозе, Гр.

Эффективная доза облучения человека, E -величина, введенная как мера ущерба для здоровья человека от отдаленных эффектов в результате общих или местных облучений. Она представляет собой оценку дозы равномерного гамма-облучения человека, по ущербу равноэффективного рассматриваемому облучению. Вычисляется как сумма эквивалентных доз в органах человека, умноженных на взвешивающие коэффициенты W_T для соответствующих органов (тканей):

$$E = \sum_T w_T H_T, \text{ Зв}$$

где E — эффективная доза облучения; H_T — эквивалентная доза в органе или ткани T ; w_T — весовой множитель для ткани T (безразмерный). Единица E -зиверт (Зв), размерность — Дж/кг (как и у H_T).

Однако по смыслу эффективная доза отличается от H_T тем, что она относится не к органу, а к организму в целом. E — это попытка учесть специфический вклад различных органов в суммарный радиационный риск для всего организма. Благодаря этому эффективная доза позволяет проводить сравнение рисков рентгенодиагностических процедур при различных локализациях исследований. Заметим, что эффективная доза — не физическая величина, она включает условную модель радиационного канцерогенеза и параметры пациента и предназначена для использования именно в радиационной защите.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов, w_T — узаконенные коэффициенты, характеризующие вклад эквивалентной дозы облучения органа в полный ущерб из-за облучения всего тела (табл. 7). При их определении использованы эпидемиологические данные о частоте индуцируемых облучением человека раков разной локализации и о связанной с ними потере продолжительности жизни. Это позволяет производить взвешенное суммирование доз облучения различных органов. Используются для перехода от эквивалентных доз облучения органов, тканей к эффективной дозе облучения всего организма.

Таблица 7

Взвешивающие коэффициенты w_T для тканей и органов (НРБ-99)

Щитовидная железа	0,20
Красный костный мозг	0,12
Тонкая кишка (нисходящая ободочная, сигмовидная, прямая)	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Молочные железы	0,05
Печень	0,05
Щитовидная железа	0,05
Почки	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Поверхность костей	0,01
Остальные органы*	0,05

*Включают надпочечники, головной мозг, экстракортакальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку. Если в одном из этих органов доза выше, чем в любом из 12, для которых указаны взвешивающие коэффициенты, то ему следует приписать весовой множитель 0,025, а для средней дозы в оставшихся органах этого списка также использовать 0,025 (ОСПОРБ-99).

Коллективная доза (эффективная или, реже, эквивалентная) — расчетная величина, введенная для характеристики суммарного радиационного ущерба здоровью людей в группе (популяции); единица — человекозиверт (чел.Зв). Коллективная доза S определяется как сумма индивидуальных доз ΣE_i в группе из N людей или как сумма произведений средних доз \bar{E}_k на числа людей n_k в соответствующих дозовых интервалах k в популяции:

$$S = \bar{E} \cdot N = \Sigma \bar{E}_k \cdot n_k \text{ (чел.Зв)}$$

Коллективная доза может накапливаться в течение длительного времени (например, доза, связанная с загрязнением среды в результате единичного выброса радионуклидов).

Неприменимость величин эквивалентной и эффективной дозы к оценке острых эффектов облучения. Взвешивающие коэффициенты w_R — для излучений и w_T — для тканей и органов, отражают оценки, соответственно, ОБЭ и ущерба, полученные по выраженности отдаленных эффектов облучения человека. Оценки острых лучевых поражений резко отличаются, и для них понятия эквивалентной и эффективной доз и единицы Зв не применимы. Применительно к острым эффектам облучения следует использовать величину поглощенной дозы, Гр.