2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований

Методические указания
МУ 2.6.1.2944—11

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны Федеральным бюджетным учреждением науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. профессора П. В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ФГУН НИИРГ) (В. Ю. Голиков, С. А. Кальницкий, С. С. Сарычева, А. А. Братилова).

2. Рекомендованы к утверждению Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол от 02.06.2011 № 1).

3. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 19 июля 2011 г.

4. Введены взамен МУК 2.6.1.1797—03 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях.

Содержание

1. Область применения 74
2. Нормативные ссылки 75
3. Общие положения 75
4. Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований общего назначения 76
5. Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических стоматологических исследований 79
6. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении исследований на рентгеновском компьютерном томографе 80
7. Определение эффективной дозы и максимальной поглощенной дозы в коже у пациентов при проведении интервенционных исследований 84
8. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении маммографии 86
9. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении ударно-волновой литотрипсии 87
Приложение 1. Значения коэффициентов K_e и K_d для рентгенологических процедур общего назначения 89
Приложение 2. Значения коэффициентов K_e и K_d для рентгенологических стоматологических исследований 97
Приложение 3. Значения коэффициентов перехода от ПДП к эффективной дозе и максимальной поглощенной дозе в коже у пациентов при проведении интервенционных исследований 98

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Федеральной службы
по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека,
Главный государственный санитарный врач
Российской Федерации
Г. Г. Онищенко
19 июля 2011 г.
Дата введения: 19 июля 2011 г.

2.6.1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований

Методические указания
МУ 2.6.1.2944—11

1. Область применения

1.1. Методические указания «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (далее – методические указания или МУ) являются документом, развивающим основные положения СанПиН 2.6.1.2523—09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», СП 2.6.1.2612—10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)», СанПиН 2.6.1.1192—03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

1.2. Настоящими МУ должны руководствоваться в своей деятельности органы и организации Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, службы радиационной безопасности (радиационного контроля), организации, аккредитованные в установленном порядке на право проведения радиационного контроля.

1.3. Методические указания распространяются на следующие виды медицинских рентгенологических исследований:

- общего назначения (рентгенография, рентгеноскопия);
- стоматологические;
- компьютерную томографию;
- интервенционные;
- маммографию;
- ударно-волновую литотрипсию.

1.4. В целях обеспечения единства методических подходов к дозиметрическому контролю облучения граждан в рамках ЕСКИД настоящие методические указания устанавливают:

- перечень исходных данных, необходимых для определения эффективных доз облучения пациентов;
- алгоритмы с таблицами параметров для расчета эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований, указанных

в п. 1.3, а в случае интервенционных исследований и максимальной поглощенной дозы в коже.

1.5. Настоящие МУ должны использоваться при подготовке радиационно-гигиенических паспортов организаций и статистической формы 3-ДОЗ.

2. Нормативные ссылки

2.1. Федеральный закон от 09.01.96 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

2.2. Федеральный закон от 30.03.99 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

2.3. СанПиН 2.6.1.2523—09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

2.4. СП 2.6.1.2612—10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».

2.5. Приказ МЗ РФ от 24.07.97 № 219 «О создании единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан».

2.6. СанПиН 2.6.1.1192—03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

3. Общие положения

3.1. При проведении медицинского исследования с использованием ионизирующего излучения необходимо оценить значение эффективной дозы облучения пациента.

3.2. Эффективная доза – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Определение значения эффективной дозы на практике представляет значительные сложности, так как она не может быть непосредственно измерена и требует проведения сложных расчетов. Исходные данные для расчета эффективной дозы облучения пациентов должны включать:

- технические характеристики рентгеновской аппаратуры (напряжение на аноде рентгеновской трубки, толщина и материал фильтра);
- геометрические характеристики рентгенологического исследования (область исследования, размеры поля облучения, геометрия облучения);
- дозиметрические характеристики рентгенологического исследования (радиационный выход рентгеновского излучателя и экспозиция (количество электричества) или значение произведения дозы на площадь (ПДП), измеренное с помощью проходной ионизационной камеры).

3.3. Значения эффективных доз рассчитывались с помощью компьютерной программы EDEREX (Effective Dose Estimation at Roentgen Examinations), разработанной в Федеральном радиологическом центре ФБУН НИИРГ. Программа позволяет в режиме реального времени рассчитать значения средних поглощенных доз в более чем 20 органах и тканях тела человека и эффективную дозу с учетом параметров рентгенологической процедуры, возраста и телосложения пациента.

Расчеты эффективной дозы в соответствии с ее определением (публикация № 60 МКРЗ) проводились для условного человека, имеющего полный набор мужских и женских органов. В качестве моделей были использованы антропоморфные гетерогенные фантомы тела взрослого человека, а также детей в возрасте: новорождённого, 1, 5, 10 и 15 лет, рекомендованные в качестве «стандартных» для проведения такого рода расчетов (табл. 3.1).

3.4. В настоящих МУ приведены алгоритмы и значения коэффициентов перехода, позволяющие рассчитать эффективные дозы облучения пациентов различного возраста для наиболее часто встречающихся на практике рентгенологических процедур. Численные значения коэффициентов перехода соответствуют значениям эффективной дозы при проведении данного рентгенологического исследования, полностью определяемого набором технических, геометрических и дозиметрических параметров (п. 3.2), нормированным на значение поглощенной дозы в воздухе на расстоянии 1 м от фокуса трубки – K_e, мкЗв/(мГр · м^2), либо на значение ПДП, измеренное за время проведения исследования, – K_d, мкЗв/(сГр · см^2).

Таблица 3.1

Параметры телосложения «стандартного» человека, использованные в расчетах

Возраст, лет	Вес, кг	Рост, см	Размеры торса, см	
			Передне-задний	Боковой
0	3,5	51,5	9,8	12,7
1	9,3	75	13	17,6
5	19	109	15	22,9
10	31,9	138,6	16,8	27,8
15	54,4	164	19,6	34,5
Взрослый	71,1	174	20	40

4. Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований общего назначения

4.1. Определение эффективной дозы облучения пациентов при рентгенологических исследованиях общего назначения (рентгенография, рентгеноскопия) основано на использовании одной из двух измеряемых на практике величин: ПДП (сГр · см^2) или радиационного выхода рентгеновского излучателя (мГр · м^2/(мА · с)).

4.2. Для расчета эффективной дозы необходима следующая дополнительная информация, характеризующая:

- поле рентгеновского излучения во время проведения рентгенологической процедуры:
  - значение анодного напряжения на рентгеновской трубке, кВ;
  - толщину и материал общего фильтра (в настоящих МУ принято значение общего фильтра рентгеновского излучения, эквивалентное 3—5 мм Al);
  - значение количества электричества, мА · с;
- параметры проведения рентгенологической процедуры:
  - область исследования (легкие, череп и т. п.);
  - проекцию (переднее-задняя, заднее-передняя, боковая);
  - размеры поля излучения (ширина и высота поля излучения на приемнике изображения), см × см;
  - фокусное расстояние (расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения (РИП)), см;
- пациента:

- возраст: 0—0,5 года; 0,5—3 года, 3—8 лет, 8—13 лет, 13—19 лет, старше 19 лет.

4.3. Определение эффективной дозы облучения пациентов на основе результатов измерения произведения дозы на площадь.

4.3.1. Значение ПДП при проведении рентгенологического исследования определяется по результатам измерений дозиметрами, использующими в качестве детектора проходную ионизационную камеру, устанавливаемую на выходе излучения из рентгеновской трубки. Измеритель произведения дозы на площадь работает в режиме реального времени, поэтому его показания отражают временные изменения в параметрах генерирования рентгеновского излучения, что обеспечивает достоверность результатов измерений и позволяет контролировать стабильность параметров рентгеновского аппарата в период его эксплуатации. В связи с этим, метод оценки эффективных доз облучения пациентов с помощью показаний проходной камеры является приоритетным.

4.3.2. Использование измерителей произведения дозы на площадь обязательно при проведении рентгенологических медицинских исследований общего назначения методом рентгеноскопии.

4.3.3. Значение эффективной дозы E облучения пациента данного возраста при проведении рентгенологического исследования определяется с помощью выражения:

$$E = \Phi \cdot K_d, \text{ мкЗв, где} \qquad (4.1)$$

Φ – измеренная величина произведения дозы на площадь, сГр · см^2;

K_d – коэффициент перехода от значения ПДП к эффективной дозе у пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/(сГр · см^2).

Пример 1.

Взрослому пациенту провели рентгеноскопию кишечника. Параметры рентгенологического исследования: размер поля (30 × 30) см^2, фокусное расстояние 60 см, U = 90 кВ. Измеренное значение произведения дозы на площадь Φ = 1 500 сГр · см^2.

Находим в табл. 1.6 прилож. 1 значение дозового коэффициента, соответствующее выбранному режиму исследования пациента, K_d = 2,2 мкЗв/(сГр · см^2). Подставляем значения Φ и K_d в формулу (4.1) и рассчитываем значение эффективной дозы:

$$E = 2{,}2 \text{ мкЗв/(сГр} \cdot \text{см}^2) \cdot 1\,500 \text{ сГр} \cdot \text{см}^2 = 3\,300 \text{ мкЗв} = 3{,}3 \text{ мЗв}.$$

Пример 2.

Рентгеновский аппарат оборудован проходной ионизационной камерой.

Проведено рентгенографическое исследование грудной клетки в прямой и боковой проекции 16-летнего пациента. Значение ПДП при снимке в прямой проекции составило 25 сГр · см^2, а при снимке в боковой проекции – 20 сГр · см^2.

Находим в табл. 1.5 прилож. 1 значение дозовых коэффициентов, соответствующих выбранным режимам исследования пациента, K_d = 1,7 мкЗв/(сГр · см^2) и K_d = 1,5 мкЗв/(сГр · см^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

E = 1,7 мкЗв/(сГр · см^2) · 25 сГр · см^2 + 1,5 мкЗв/(сГр · см^2) · 20 сГр · см^2 = 72,5 мкЗв = 0,073 мЗв.

4.4. Определение эффективной дозы облучения пациентов на основе результатов измерения радиационного выхода рентгеновского излучателя.

4.4.1. Если рентгеновский аппарат не оборудован измерителем произведения дозы на площадь, определение эффективной дозы облучения пациента проводят с использованием периодически измеряемых значений радиационного выхода рентгеновского излучателя.

4.4.2. Под радиационным выходом рентгеновского излучателя в (мГр · м^2)/(мА · с) понимается отношение мощности поглощенной дозы в воздухе в мГр/с, измеренной на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки на оси первичного пучка рентгеновского излучения при заданных значениях анодного напряжения, к значению анодного тока.

4.4.3. Для целей определения эффективных доз у пациентов значения радиационного выхода рентгеновского излучателя должны измеряться не реже одного раза в год во всем диапазоне рабочих значений анодного напряжения рентгеновской трубки. Кроме того, измерения радиационного выхода должны проводиться каждый раз после ремонта, замены или изъятия комплектующих изделий рентгеновского аппарата, настройки или регулировки их технических параметров, влияющих на генерирование рентгеновского излучения. Измерения проводятся организациями, аккредитованными в установленном порядке на техническую компетентность и независимость.

4.4.4. Значение эффективной дозы E облучения пациента данного возраста при проведении рентгенологического исследования определяется с помощью выражения:

$$E = R \cdot i \cdot t \cdot K_e \text{, мкЗв, где} \qquad (4.2)$$

R – радиационный выход рентгеновского излучателя, (мГр · м^2)/(мА · с);

i – ток рентгеновской трубки, мА;

t – время проведения исследования, с;

K_e – коэффициент перехода от значения радиационного выхода рентгеновского излучателя к эффективной дозе облучения пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/(мГр · м^2).

4.4.5. Значение радиационного выхода R для данного значения анодного напряжения на рентгеновской трубке U определяется с помощью линейной интерполяции с использованием двух измеренных величин радиационного выхода R_k и R_{k+1} для ближайших значений анодного напряжения U_k и U_{k+1} ($U_k < U < U_{k+1}$) с использованием выражения:

$$R = R_k + (R_{k+1} - R_k)\frac{U - U_k}{U_{k+1} - U_k} \qquad (4.3)$$

Пример.

Пациенту в возрасте 30 лет провели рентгенографию грудной клетки в заднепередней проекции.

Параметры рентгенологического исследования: размер поля (30 × 40) см^2, фокусное расстояние 150 см, U = 90 кВ, количество электричества (экспозиция) $i \cdot t$ = 25 мА · с.

В соответствии с протоколом испытаний эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата радиационный выход для анодных напряжений U_k = 80 кВ и U_{k+1} = 100 кВ, составил R_k = 0,059 мГр · м^2/(мА · с) и R_{k+1} = 0,08 мГр · м^2/(мА · с) соответственно. Подставляя эти значения в формулу (4.3), рассчитываем значение радиационного выхода для U = 90 кВ: R = 0,059 + (0,08 – 0,059) · [(90—80)/(100—80)] = = 0,07 мГр · м^2/(мА · с).

Находим в табл. 1.6 прилож. 1 значение дозового коэффициента, соответствующее выбранному режиму K_e = 100 мкЗв/(мГр · м^2). Подставляем значения R, $i \cdot t$ и K_e в формулу (4.2) и рассчитываем значение эффективной дозы: E = 0,07 · 25 · 100 = = 175 мкЗв = 0,18 мЗв.

4.5. Средние значения коэффициентов перехода K_e и K_d для рентгенологических процедур общего назначения приведены в прилож. 1. В табл. 1.1—1.6 приведены зна-

чения коэффициентов перехода к эффективной дозе для следующих возрастных групп пациентов:

- от новорождённого до полугода (табл. 1.1);
- от полугода до трех лет (табл. 1.2);
- от трех до восьми лет (табл. 1.3);
- от восьми до тринадцати лет (табл. 1.4);
- от тринадцати до девятнадцати лет (табл. 1.5);
- старше девятнадцати лет (табл. 1.6).

В табл. 1.7 приведены значения коэффициентов перехода K_e и K_d для рентгенологических процедур при исследовании конечностей вне зависимости от возраста пациента.

4.6. Приведенные в табл. 1.1—1.6 значения коэффициентов перехода K_e могут быть пересчитаны от значений расстояния от источника до приемника РИП^{таб}, указанных в таблицах, к другим значениям РИП$'$ с помощью соотношения:

$$K_e' = K_e \cdot \frac{(РИП^{таб})^2}{(РИП')^2}, \text{ мкЗв/(мГр} \cdot \text{м}^2) \qquad (4.4)$$

Значения коэффициентов перехода K_d практически не зависят от значений РИП, используемых при проведении рентгенологических процедур общего назначения.

4.7. Относительная погрешность значений дозовых коэффициентов K_e и K_d, рассчитанных для «стандартного» фантома, составляет ± 10 %. Усреднение значений дозовых коэффициентов K_e и K_d по возрасту (росту и весу) пациентов вносит дополнительную погрешность не более ± 20 %. Усреднение значений дозовых коэффициентов K_e и K_d по напряжению на рентгеновской трубке вносит дополнительную погрешность не более ± 20 %. Таким образом, приведенные в прилож. 1 значения дозовых коэффициентов K_e и K_d имеют относительную погрешность ± 30 %.

5. Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических стоматологических исследований

5.1. Рентгенологические стоматологические исследования (РСИ) являются одними из наиболее распространенных видов рентгенологических исследований населения. Стоматологические рентгеновские аппараты и, соответственно, технологии проведения РСИ разделяются на следующие группы:

- рентгеновские аппараты для контактной съемки зубов. В этом случае пучок излучения выходит из рентгеновской трубки находящейся снаружи от пациента, а приемник излучения располагается в полости рта. Эта технология предназначается в основном для получения снимков отдельных зубов верхней и нижней челюстей;
- пантомографические (ортопантомографические) рентгеновские аппараты предназначены для получения развернутого (панорамного) изображения слоя, включающего всю зубочелюстную систему или отдельные ее части;
- дентальные компьютерные томографы, дающие возможность выявить положение, форму, размеры, строение и получить цифровое трехмерное изображение всей зубочелюстной системы, челюстно-лицевой области, верхнечелюстных пазух и височно-нижнечелюстных суставов пациента за одно исследование.

5.2. Для рентгеновских аппаратов, предназначенных для контактной съемки отдельных зубов, расчет эффективной дозы облучения пациента, подвергающегося диагностическому исследованию на этом типе аппаратов, проводится либо с помощью формулы 4.1 с использованием измеренного значения ПДП, либо с помощью формулы

4.2 с использованием значения радиационного выхода аппарата. Значения коэффициентов K_d и K_e для перечня исследований, проводимых на этом типе рентгеновских стоматологических аппаратов, приведены в прилож. 2 (табл. 2.1).

5.3. На ортопантомографических рентгеновских аппаратах проводится панорамная съемка зубов и цефалография. Расчет эффективной дозы облучения пациента, подвергающегося диагностическому исследованию на этом типе аппаратов, проводится либо с помощью формулы 4.1, либо с помощью формулы 4.2. Значения коэффициентов K_d и K_e для перечня исследований, проводимых на этом типе рентгеновских стоматологических аппаратов, приведены в прилож. 2 (табл. 2.2).

5.4. Дентальный компьютерный томограф позволяет провести построение 3D-объемного изображения всей сканируемой области и отдельных зон зубочелюстной системы в различных режимах визуализации костных и мягких тканей. Расчет эффективной дозы облучения пациента, подвергающегося исследованию на этом типе аппаратов, проводится либо с помощью формулы 4.1, либо с помощью формулы 4.2. Значения коэффициентов K_d и K_e для исследований, проводимых на этом типе рентгеновских стоматологических аппаратов, приведены в прилож. 2 (табл. 2.3).

Пример 1.

Сделан снимок резцов верхней челюсти при напряжении на трубке 60 кВ и значении количества электричества мАс = 1,6. В соответствии с протоколом испытаний эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата радиационный выход для напряжения $U = 60$ кВ составил $R = 0{,}036$ мГр · м^2/(мА · с). Находим в табл. 2.1 прилож. 2 значение дозового коэффициента, соответствующее выбранному режиму $K_e = 55$ мкЗв/(мГр · м^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

$$E = 0{,}036 \text{ (мГр} \cdot \text{м}^2\text{)/(мА} \cdot \text{с)} \cdot 1{,}6 \text{ мАс} \cdot 55 \text{ (мкЗв/(мГр} \cdot \text{м}^2\text{))} = 3 \text{ мкЗв}.$$

Пример 2.

Проведена панорамная съемка зубов при напряжении на трубке 64 кВ. Значение ПДП составило 15 сГр · см^2.

Находим в табл. 2.2 прилож. 2 значение дозового коэффициента, соответствующее выбранному режиму $K_d = 0{,}8$ мкЗв/(сГр · см^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

$$E = 15 \text{ сГр} \cdot \text{см}^2 \cdot 0{,}8 \text{ мкЗв/(сГр} \cdot \text{см}^2\text{)} = 12 \text{ мкЗв}.$$

Пример 3.

Проведено исследование зубов на дентальном компьютерном томографе 3D Accuitomo при напряжении на трубке 80 кВ, времени экспозиции 17 с и токе 4 мА. Зона облучения 60 × 60 мм. В соответствии с протоколом испытаний эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата радиационный выход для напряжения $U = 80$ кВ составил $R = 0{,}04$ мГр · м^2/(мА · с).

Находим в табл. 2.3 прилож. 2 значение дозового коэффициента, соответствующее выбранному режиму $K_e = 29$ мкЗв/(мГр · м^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

$$E = 0{,}04\text{(мГр} \cdot \text{м}^2\text{)/(мА} \cdot \text{с)} \cdot 68 \text{ мАс} \cdot 29 \text{ (мкЗв/(мГр} \cdot \text{м}^2\text{))} = 79 \text{ мкЗв}.$$

6. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении исследований на рентгеновском компьютерном томографе

6.1. Распределение поглощенной дозы рентгеновского излучения в теле пациента при проведении медицинского исследования методом компьютерной томографии

существенно отличается от такового при использовании традиционных методов рентгенографии или рентгеноскопии. В случае компьютерной томографии (КТ) распределение поглощенной дозы в исследуемом объеме более однородно за счет ротационной геометрии облучения. Перепад дозы от края к центру облучаемого объема (для средних размеров тела человека) составляет 2—3 раза, в то время как для традиционных методов рентгенографии или рентгеноскопии перепад дозы в передне-задней геометрии облучения пациента в 5—10 раз больше.

6.2. Основными дозиметрическими параметрами при проведении КТ являются:

- компьютерно-томографический индекс дозы (Computed Tomography Dose Index, далее – *CTDI*) – интеграл профиля дозы за один оборот рентгеновской трубки, нормализованный к ширине рентгеновского луча. Служит мерой поглощенной дозы излучения за один оборот рентгеновской трубки. Является единственным непосредственно измеряемым дозиметрическим параметром при КТ. Единица измерения – мГр. Величина *CTDI* определяется техническими параметрами протокола КТ-исследования (сила тока и напряжение рентгеновской трубки, время ротации, коллимация среза), конструктивными особенностями сканера (геометрическая эффективность детектора, фильтрация рентгеновского излучения) и не зависит от характеристик пациента;
- произведение дозы на длину (Dose Length Product, далее – *DLP*) – является мерой поглощенной дозы излучения за все КТ-исследование с учетом длины сканируемой области и количества сканирований. Является производным расчетным параметром от *CTDI*. Единица измерения – мГр · см;
- эффективная доза является производным расчетным параметром от значения *DLP*.

6.3. Метод оценки эффективной дозы при проведении КТ-исследования основан на измерениях поглощенной дозы в физических фантомах, имитирующих тело пациента. Измерения проводятся в соответствии со специальной методикой в гомогенных цилиндрических фантомах, изготовленных из полиметилметакрилата. Для моделирования в этих целях тела детей (0—15 лет) фантомы должны иметь диаметр 16 см. Тело взрослого человека разбивается на две анатомические части (голова + шея и туловище), которые моделируются цилиндрами диаметром 16 и 32 см соответственно. Измерения производятся в четырех точках на глубине 1 см и в центре фантома. По результатам измерений определяется взвешенное значение $CTDI_w$ в сканируемом слое, являющееся оценкой средней поглощенной дозы в этом слое за один оборот рентгеновской трубки:

$$CTDI_w = \frac{1}{3} \cdot CTDI_c + \frac{2}{3} \cdot CTDI_p \text{, мГр, где} \qquad (6.1)$$

$CTDI_c$ – результат измерения в центре фантома (мГр);

$CTDI_p$ – среднее значение результатов измерений в четырех точках на глубине 1 см в фантоме (мГр).

Значение $CTDI_w$ зависит от физико-технических характеристик аппаратуры (напряжения на трубке, фильтрации, толщины скана и др.) и пропорционально значению количества электричества (мАс) за один скан.

6.4. При технологии последовательного сканирования для характеристики исследования определяют значение произведения дозы на длину сканирования при исследовании соответствующей анатомической секции (индекс '*i*') DLP_i (мГр · см):

$$DLP_i = CTDI_w^n \cdot d \cdot N \cdot I \text{, мГр} \cdot \text{см, где} \qquad (6.2)$$

$CTDI_w^n$ – нормированное на единицу мАс значение взвешенного компьютерно-томографического индекса дозы (мГр/мАс);

d – толщина скана, см;

N – число сканов;

I – значение мАс на один скан.

6.5. При спиральной и многосрезовой технологиях сканирования часто увеличивают скорость движения стола пациента, что приводит к пропорциональному снижению дозы его облучения. Для характеристики скорости движения стола пациента используют такой технический параметр, как питч. Питч – это отношение сдвига стола за полную (360°) ротацию рентгеновской трубки к общей коллимации пучка рентгеновского излучения. Питч (далее – p, отн. ед.) рассчитывают по формуле:

$$p = \frac{\Delta d}{N \cdot T}, \text{ где} \qquad (6.3)$$

Δd – сдвиг стола за полную ротацию, см;

N – число каналов сбора информации (количество сканируемых за одну ротацию срезов);

T – толщина среза, определяемая физической коллимацией, см.

Дозиметрическим параметром, учитывающим влияние питча на дозу облучения, является объемный взвешенный индекс – $CTDI_{vol}$, который рассчитывают по формуле:

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{p}, \text{ мГр, где} \qquad (6.4)$$

$CTDI_w$ – взвешенное значение компьютерно-томографического индекса дозы;

p – значение питча.

6.6. Для характеристики поглощенной дозы излучения за i-е сканирование значение DLP_i рассчитывают по формуле:

$$DLP_i = CTDI_{vol} \cdot L_i, \text{ мГр} \cdot \text{см, где} \qquad (6.5)$$

L_i – длина i-й области сканирования.

Значение DLP_{tot}, характеризующее поглощенную дозу излучения за все КТ-исследование, рассчитывают по формуле:

$$DLP_{tot} = \sum_i DLP_i, \text{ мГр} \cdot \text{см, где} \qquad (6.6)$$

DLP_{tot} – произведение дозы на длину за все КТ-исследование, мГр · см;

i – количество сканирований.

Символ Σ означает, что суммируется вклад в дозу облучения всех i-х сканирований в рамках данного КТ-исследования (например, при сканировании нескольких анатомических областей или при исследовании до и после внутривенного введения контрастного вещества). Значения DLP_{tot} и DLP_i отображаются на консоли компьютерных томографов, произведенных после 2002 г. Если полное КТ-исследование состоит из одного сканирования, то $DLP_{tot} = DLP_i$.

6.7. Эффективная доза является производным расчетным параметром от значения DLP. Для расчета эффективной дозы используется формула:

$$E = \sum_i DLP_i \cdot e^i_{DLP}, \text{ мЗв, где} \qquad (6.7)$$

DLP_i – произведение дозы на длину за i-е сканирование, мГр · см;

e^i_{DLP} – дозовый коэффициент для i-й анатомической области (табл. 6.1), мЗв/(мГр · см).

Изменение значения коэффициента e^i_{DLP} в зависимости от области исследования обусловлено распределением радиочувствительных органов в теле человека. Значения коэффициента e^i_{DLP} для взрослых пациентов представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения дозового коэффициента e^i_{DLP} в зависимости от области исследования для взрослых пациентов

Область исследования	Значение дозового коэффициента, e^i_{DLP}, мЗв/(мГр · см)
Голова	0,0023
Шея	0,0054
Грудная клетка	0,017
Брюшная полость	0,015
Малый таз	0,019

Если сканированию во время КТ-исследования подвергалась только одна из частей тела (табл. 6.1), то расчет эффективной дозы упрощается:

$$E = DLP \cdot e_{DLP}, \text{ мЗв, где} \qquad (6.8)$$

e_{DLP} – дозовый коэффициент для соответствующей анатомической области, мЗв/(мГр · см).

Очевидно, что при использовании тех же параметров процедуры значение эффективной дозы у детей будет выше из-за меньшего размера тела. В табл. 6.2 приведены значения дозовых коэффициентов e^i_{DLP} для детей различного возраста в виде соответствующих множителей по отношению к коэффициентам для взрослого пациента.

Таблица 6.2

Относительное увеличение коэффициентов e^i_{DLP} у детей различного возраста по отношению к взрослым

Возраст пациента	Область исследования		
	Голова и шея	Грудная клетка	Брюшная полость и таз
Взрослые	1,0	1,0	1,0
От тринадцати до семнадцати лет	1,1	1,1	1,1
От восьми до тринадцати лет	1,3	1,4	1,5
От трех до восьми лет	1,7	1,6	1,6
От полугода до трех лет	2,2	1,9	2,0
От новорожденных до полугода	2,6	2,2	2,4

Пример 1.

Проведено КТ-исследование грудной клетки у взрослого пациента. Значение $DLP = 210$ мГр · см. Определим значение эффективной дозы по формуле 6.8:

E = 210 мГр · см · 0,017 = 3,6 мЗв. При таком же значении *DLP* значение эффективной дозы у ребенка 10 лет будет равно: E = 210 мГр · см · 0,017 · 1,4 = 5,0 мЗв.

Пример 2.

В ходе КТ-исследования было выполнено сканирование шеи и грудной клетки у взрослого пациента. При сканировании шеи значение DLP_i составило 470 мГр · см, а при сканировании грудной клетки – 400 мГр · см. Определим значение эффективной дозы по формуле 6.7:

$$E = 470 \text{ мГр} \cdot \text{см} \cdot 0{,}0054 + 400 \text{ мГр} \cdot \text{см} \cdot 0{,}017 = 9{,}3 \text{ мЗв}.$$

7. Определение эффективной дозы и максимальной поглощенной дозы в коже у пациентов при проведении интервенционных исследований

7.1. К интервенционным исследованиям относят рентгенологические исследования, характеризующиеся сложностью проведения или введением в организм дополнительных веществ и приспособлений. Как правило, это хирургические вмешательства, проводимые чрескожным путем с использованием специальных инструментов под контролем рентгеновской визуализации. Эти исследования можно подразделить на два класса: диагностические и терапевтические. Терапевтические интервенционные исследования представляют собой рентгенологические исследования, совмещенные с хирургическими лечебными манипуляциями.

7.2. По сравнению с обычными рентгенологическими исследованиями интервенционные исследования характеризуются значительно бóльшими уровнями облучения пациентов. Риск возникновения стохастических эффектов вследствие облучения пациентов оценивают с помощью эффективной дозы. При проведении некоторых интервенционных исследований существует риск возникновения детерминированных эффектов кожи (эритема, эпиляция). Порог возникновения временной эритемы соответствует поглощенной дозе излучения в коже, равной 2 Гр, а порог постоянной эпиляции – 7 Гр. Таким образом, при проведении интервенционных исследований необходимо контролировать значения двух параметров: эффективной дозы – для оптимизации проведения исследования с целью снижения риска возникновения отдаленных последствий (стохастических эффектов), и максимальной поглощенной дозы в коже (МПДК) – для предотвращения возникновения детерминированных эффектов.

7.3. Определение эффективной дозы и МПДК пациентов при проведении диагностических и терапевтических интервенционных рентгенологических исследований основано на использовании результатов измерений произведения дозы на площадь ПДП с помощью проходной камеры за время исследования.

7.4. Значение эффективной дозы у взрослого пациента за время проведения интервенционных исследований определяется с помощью выражения (4.1). Значения коэффициента перехода K_d в зависимости от анодного напряжения на рентгеновской трубке приведены для различных видов интервенционных исследований в табл. 3.1—3.6 прилож. 3. Эти значения используют для расчета эффективной дозы у взрослых пациентов при проведении как диагностических, так и терапевтических интервенционных исследований. Значение K_d для промежуточного значения анодного напряжения на рентгеновской трубке определяется с помощью линейной интерполяции, как в п. 4.4.5.

7.5. Значение МПДК пациента $D^S_{\max}$ за время проведения интервенционного исследования определяется с помощью выражения:

$$D^S_{max} = \Phi \cdot K^S_d, \text{ мГр, где} \qquad (7.1)$$

Φ – измеренная величина ПДП, Гр · см^2;

K_d^S – коэффициент перехода от измеренного значения ПДП к максимальной поглощенной дозе в коже пациента, мГр/(Гр · см^2).

Значения K_d^S мало зависят от напряжения на аноде рентгеновской трубки (спектра излучения) и поэтому приведены в табл. 3.7—3.9 прилож. 3 вне зависимости от этого параметра. Для исследований сосудов сердца значения K_d^S существенно различаются для диагностических и терапевтических интервенционных исследований. Контроль МПДК пациента при проведении интервенционных исследований конечностей не проводится, так как ее значение при этом виде исследований не приближается к порогу детерминированных эффектов.

7.6. При превышении в ходе проведения интервенционных исследований контрольных значений ПДП, приведенных в табл. 7.1, возникает значительная вероятность возникновения кожной эритемы у пациента. При превышении контрольных значений ПДП следует наблюдать за состоянием кожи пациента в месте возможного переоблучения в течение 14 дней и при необходимости применять терапевтические меры.

7.7. В практике проведения интервенционных исследований следует использовать следующие основные пути снижения уровней облучения пациентов:

- минимальное время проведения рентгеноскопии, особенно с высокой мощностью дозы, и минимальное количество снимков за исследование;
- как можно меньший ток и как можно более высокое напряжение на аноде рентгеновской трубки;
- расположение рентгеновской трубки как можно дальше от пациента, а приемника изображения как можно ближе к пациенту;
- коллимация пучка излучения должна строго соответствовать размерам исследуемой области;
- уменьшение в режиме рентгенографии частоты съемки (количество кадров в секунду) до необходимого и достаточного уровня;
- по возможности периодически менять угол наклона рентгеновской трубки в ходе исследования;
- в основном работать в режиме низкой мощности дозы излучения, а режимы средней и высокой мощности дозы излучения использовать только для крупных пациентов.

Таблица 7.1

Контрольные значения ПДП для предотвращения детерминированных эффектов в коже

Вид исследования	Контрольные значения ПДП, Гр · см^2
Ангиография сосудов сердца	600
Ангиопластика сосудов сердца	300
Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон	300
Эмболизация сосудов головного мозга	300
Диагностика органов брюшной полости и малого таза	500
Лечение органов брюшной полости и малого таза	500

8. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении маммографии

8.1. К проведению маммографии предъявляются специальные требования:

- используются рентгеновские трубки с молибденовым, родиевым и вольфрамовым анодом;
- в качестве фильтров используют пластины из молибдена (толщиной 30 мкм), родия (25 мкм) или палладия (40 мкм);
- напряжение на аноде трубки должно быть низким (22—35 кВ);
- расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения не должно быть меньше 60 см.

Согласно современным международным критериям качества проведения маммографии входная доза на поверхности молочной железы (толщиной 5 см в состоянии компрессии) не должна превышать 10 мГр.

8.2. Процедура оценки эффективной дозы облучения пациента при проведении маммографии состоит из следующих этапов:

- определяют значение входной дозы в воздухе (без учета обратного рассеяния) на поверхности молочной железы;
- рассчитывают среднее значение поглощенной дозы в молочной железе;
- рассчитывают значение эффективной дозы.

8.3. Для определения значения входной поверхностной дозы $D_{пов.}$ используют:

- значение ПДП (сГр · см^2), измеренное с помощью проходной ионизационной камеры. Измерение ПДП необходимо производить вплотную к молочной железе на съемочном столике. Для получения значения входной дозы используют формулу:

$$D_{пов.} = 10 \cdot \frac{ПДП}{S}, \text{ мГр, где} \qquad (8.1)$$

S – площадь пучка излучения в плоскости проходной ионизационной камеры, см^2;

- значение радиационного выхода R рентгеновского излучателя, (мГр · м^2)/(мА · с). Для получения значения входной дозы используют формулу:

$$D_{пов} = \frac{10^4 \cdot R}{(L-l)^2} \cdot i \cdot t, \text{ мГр, где} \qquad (8.2)$$

L – расстояние от фокуса трубки до поверхности съемочного столика, см;

l – толщина молочной железы в состоянии компрессии, см;

i – ток рентгеновской трубки, мА;

t – время проведения исследования, с.

8.4. Для целей радиационной защиты необходимо определить среднее значение поглощенной дозы в молочной железе $D_Ж$. Так как при маммографии используется низкоэнергетическое фотонное излучение, его ослабление по объему молочной железы будет значительным. Коэффициент перехода от значения входной дозы на поверхности молочной железы к средней дозе в молочной железе $K_Ж$ был определен на основании расчетов и фантомных экспериментов. Его значение в диапазоне используемых комбинаций анодного напряжения и фильтрации излучения варьируется в пределах от 0,09 до 0,6 в зависимости от анодного напряжения на трубке U и толщины компрессированной груди. Значения коэффициента $K_Ж$ приведены в табл. 8.1. Таким образом, среднее значение поглощенной дозы в молочной железе рассчитывается следующим образом:

$$D_Ж = K_Ж \cdot D_{вх}, \text{ мГр} \qquad (8.3)$$

Таблица 8.1

Значения коэффициента $K_Ж$ для расчета средней поглощенной дозы в молочной железе

[1]Толщина груди в состоянии компрессии (l), см	Комбинация анод мишени + фильтр				
	Mo + 30 мкм Mo		Mo + 25 мкм Rh	W + 60 мкм Mo; Rh + 25 мкм Rh; Mo + 25 мкм Rh	W + 50 мкм Rh; W + 40 мкм Pd
	U = 25—29 кВ	U = 30—35 кВ	U = 30—35 кВ	U = 22—30 кВ	U = 22—30 кВ
2	0,43	0,47	0,51	0,47	0,54
4	0,24	0,26	0,29	0,26	0,32
6	0,15	0,17	0,19	0,17	0,21
8	0,11	0,13	0,14	0,13	0,15
10	0,09	0,10	0,11	0,10	0,12
[1] для промежуточных значений толщины груди следует пользоваться линейной интерполяцией табличных значений, как в п. 4.4.5					

8.5. Для оценки вклада в эффективную дозу облучения молочной железы необходимо значение средней эквивалентной дозы в молочной железе $H_Ж$ умножить на взвешивающий фактор w_T = 0,05. При оценке значения эффективной дозы вкладом облучения других органов от рассеянного излучения пренебрегают. Таким образом, с учетом того, что численное значение взвешивающего коэффициента w_R для фотонного излучения принято равным единице, значение эффективной дозы рассчитывается следующим образом:

$$E = 0{,}05 \cdot H_Ж = \frac{500 \cdot R \cdot K_Ж \cdot w_R}{(L-l)^2} \cdot i \cdot t, \text{ мЗв, гд} \qquad (8.4)$$

$$H_Ж = D_Ж \cdot w_R, \text{ мЗв;} \quad w_R = 1 \text{ Зв/Гр.}$$

Пример.

Дано: комбинация анод трубки/фильтр – Mo/Mo; напряжение на трубке – 28 кВ; значение экспозиции – 40 мАс; расстояние от фокуса трубки до поверхности съемочного столика равно 65 см; толщина компрессированной груди – 6 см.

Значение радиационного выхода берем из протокола испытаний эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата. Допустим, что оно равно 0,03 (мГр · м^2)/(мА · с). Значение коэффициента $K_Ж$ берем из табл. 8.1, оно равно 0,15 для l = 6 см. Рассчитываем E по формуле 8.4:

$$E = \frac{500 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}15 \cdot 40}{(65-6)^2} = 0{,}026 \text{ мЗв.}$$

9. Определение эффективной дозы облучения пациентов при проведении ударно-волновой литотрипсии

9.1. Дистанционная ударно-волновая литотрипсия – современный неинвазивный метод лечения мочекаменной болезни. Суть метода заключается в дроблении конкремента (камня) ударной акустической волной, проходящей через тело пациента. Дробление камней в почке (а также в мочеточниках и мочевом пузыре) проводится с помощью

специального аппарата – литотриптера. Аппарат генерирует ударную волну, фокусирует ее в узконаправленный пучок и, благодаря рентгеновскому или УЗИ–наведению, направляет его прямо на камень.

9.2. При проведении диагностики и лечения методом ударно-волновой литотрипсии могут быть использованы поля излучения разного диаметра (17, 22 и 33 см) с напряжением на трубке в диапазоне 70—100 кВ. Областью исследования являются почки, мочевой пузырь и прилегающие органы и ткани. Аппарат может работать как в рентгеноскопическом режиме, так и в режиме снимков.

9.3. Расчет эффективной дозы облучения пациента при проведении диагностики и лечения методом ударно-волновой литотрипсии проводится либо с помощью формулы 4.1, либо формулы 4.2. Средние (вне зависимости от диаметра поля излучения на приемнике изображения) значения коэффициентов перехода K_d и K_e для перечня режимов исследований приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Средние значения коэффициентов перехода K_d и K_e для расчета эффективной дозы у пациентов при проведении ударно-волновой литотрипсии

Напряжение на трубке, кВ	Область исследования – почки		Область исследования – мочевой пузырь	
	K_e, мкЗв/(мГр · м^2)	K_d, мкЗв/(сГр · см^2)	K_e, мкЗв/(мГр · м^2)	K_d, мкЗв/(сГр · см^2)
70	150	2,0	210	2,6
80	180	2,5	240	3,1
90	200	2,7	260	3,4
100	230	3,0	300	3,9

Пример 1.

Проведено исследование и лечение почек при напряжении на трубке 70 кВ. Значение ПДП за исследование составило 700 сГр · см^2. Находим в табл. 9.1 значение коэффициента перехода, соответствующее выбранному режиму, K_d = 2,0 мкЗв/(сГр · см^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

$$E = 700 \text{ сГр} \cdot \text{см}^2 \cdot 2{,}0 \text{ мкЗв/(сГр} \cdot \text{см}^2) = 1\,400 \text{ мкЗв} = 1{,}4 \text{ мЗв}.$$

Пример 2.

Проведено диагностическое исследование области мочевого пузыря при напряжении на трубке 100 кВ. Время исследования под пучком 1 мин 34 с = 94 с. Анодный ток – 3,1 мА.

Значение радиационного выхода берем из протокола испытаний эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата. Допустим, что при U = 100 кВ оно равно 0,02 (мГр · м^2)/(мА · с).

Находим в табл. 9.1 значение коэффициента перехода, соответствующее выбранному режиму, K_e = 300 мкЗв/(мГр · м^2).

Значение эффективной дозы у пациента будет равно:

$$E = 0{,}02 \text{ (мГр} \cdot \text{м}^2\text{)/(мА} \cdot \text{с)} \cdot 3{,}1 \text{ мА} \cdot 94 \text{ с} \cdot 300 \text{ мкЗв/(мГр} \cdot \text{м}^2) = 1\,748 \text{ мкЗв} = 1{,}75 \text{ мЗв}.$$

Приложение 1

Значения коэффициентов K_e и K_d для рентгенологических процедур общего назначения

Таблица 1.1

Возраст пациента от новорождённого до полугода						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ***(a × b)***, см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
Легкие (г)	ЗП	13 × 18	100	50—70	320	13
Легкие (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—70	470	20
Легкие (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	390	9
Легкие (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	570	13
Легкие (г)	Б	13 × 18	100	60—80	380	16
Легкие (г)	Б	18 × 24	100	60—80	490	11
Легкие (с)	ЗП	15 × 15	40	60	–	15
Череп (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—70	115	5
Череп (г)	Б	13 × 18	100	50—70	80	3
Позвоночник (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	620	14
Позвоночник (г)	Б	18 × 24	100	50—70	440	10
Плечо, ключица (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—60	370	15
Таз (г)	ПЗ	9 × 12	100	50—60	300	26
Тазобедренные суставы (г)	ПЗ	12 × 9	100	50—60	180	16
Бедро (г)	ПЗ	13 × 18	100	50	170	7
Брюшная полость (г)	ЗП	12 × 18	100	50—70	360	16
Брюшная полость (г)	Б	12 × 18	100	50—70	330	15
Урография (г)	ПЗ	12 × 18	100	50—70	560	25
Цистография (г)	ПЗ	12 × 18	100	50—70	380	17

Таблица 1.2

Возраст пациента – от полугода до трех лет						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ***(a × b)***, см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
Легкие (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	260	5,8
Легкие (г)	Б	18 × 24	100	60—80	290	6,8
Легкие (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	7,3
Череп (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—60	90	2,0
Череп (г)	Б	18 × 24	100	50—60	60	1,4
Шейный отд. позв. (г)	ЗП	9 × 13	80	50—70	35	1,8
Шейный отд. позв. (г)	Б	9 × 13	80	50—70	60	3,2
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	430	9,4
Грудн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	200	4,4
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	490	11
Поясн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	230	5,2
Плечо, ключица (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—60	200	7,9
Ребра, грудина (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	440	10
Таз, крестец (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	410	9,0
Тазобедр. суставы (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	310	6,9
Бедро (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—60	12	0,5
Брюшная полость (г)	ЗП	18 × 24	100	50—60	250	5,5
Брюшная полость (г)	Б	18 × 24	100	50—60	240	5,5
Желудок (с)	ЗП	15 × 15	40	60	–	6,0
Желудок (г)	ЗП	18 × 24	100	50—60	280	6,1
Желудок (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—60	400	8,9
Кишечник (с)	ЗП	13 × 18	40	60	–	8,4
Кишечник (г)	ЗП	18 × 24	100	50—60	240	5,2
Кишечник (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—60	400	8,6
Холецистография (г)	ЗП	13 × 18	100	50—60	180	7,7
Урография (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	510	11
Цистография (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—60	330	7,3

Таблица 1.3

Возраст пациента – от трех до восьми лет						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ***(a × b)***, см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
Легкие (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	170	3,7
Легкие (г)	Б	18 × 24	100	60—80	200	4,6
Легкие (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	4,5
Череп (г)	ПЗ	18 × 24	80	50—70	40	0,55
Череп (г)	Б	18 × 24	80	50—70	30	0,45
Шейный отд. позв. (г)	ЗП	15 × 15	80	50—60	23	0,56
Шейный отд. позв. (г)	Б	15 × 15	80	50—60	19	0,49
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	290	6,1
Грудн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	115	2,7
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	290	6,2
Поясн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	115	2,7
Плечо, ключица (г)	ПЗ	13 × 18	80	50—60	140	3,5
Ребра, грудина (г)	ПЗ	18 × 24	100	60—80	330	7,2
Таз, крестец (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	310	6,8
Таз, крестец (г)	Б	18 × 24	100	50—70	140	3,1
Тазобедр. суставы (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	280	5,9
Бедро (г)	ПЗ	13 × 18	100	50—60	4	0,12
Брюшная полость (г)	ЗП	24 × 30	100	50—70	250	3,2
Брюшная полость (г)	Б	18 × 24	100	50—70	150	3,5
Желудок (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	3,2
Желудок (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	150	3,2
Желудок (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	26	5,7
Желудок (г)	Б	18 × 24	100	50—70	160	3,8
Кишечник (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	4,4
Кишечник (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	170	3,8
Кишечник (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	300	6,4
Холецистография (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	200	4,1
Урография (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	200	4,3
Цистография (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	180	3,8

Таблица 1.4

Возраст пациента – от восьми до тринадцати лет						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ($a \times b$), см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
Легкие (г)	ЗП	24 × 30	100	50—70	200	2,6
Легкие (г)	Б	24 × 30	100	60—80	230	3,1
Легкие (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	3,5
Череп (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	17	0,36
Череп (г)	Б	18 × 24	100	50—70	14	0,31
Шейный отд. позв. (г)	ЗП	13 × 18	80	50—70	38	0,94
Шейный отд. позв. (г)	Б	13 × 18	80	50—70	18	0,53
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	50—70	320	4,2
Грудн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	76	1,8
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	50—70	290	3,8
Поясн. отд. позв. (г)	Б	18 × 24	100	50—70	65	1,5
Плечо, ключица (г)	ПЗ	13 × 18	80	50—60	35	0,86
Ребра, грудина (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—70	320	4,2
Таз, крестец (г)	ПЗ	18 × 24	100	50—70	265	5,8
Таз, крестец (г)	Б	18 × 24	100	50—70	90	2,1
Тазобедр. суставы (г)	ПЗ	24 × 30	100	50—70	265	3,6
Бедро (г)	ПЗ	13 × 18	80	50—60	2,3	0,1
Брюшная полость (г)	ЗП	24 × 30	100	60—80	220	2,8
Брюшная полость (г)	Б	24 × 30	100	60—80	150	2,1
Желудок (с)	ЗП	15 × 15	40	60—70	–	2,3
Желудок (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	92	2,0
Желудок (г)	Б	18 × 24	100	50—70	100	2,3
Кишечник (с)	ЗП	20 × 20	40	60—70	–	3,6
Кишечник (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	125	2,8
Холецистография (г)	ЗП	18 × 24	100	50—70	100	2,2
Урография (г)	ЗП	24 × 30	100	50—70	170	2,3
Цистография (г)	ЗП	24 × 30	100	50—70	170	2,2

Таблица 1.5

Возраст пациента – от тринадцати до девятнадцати лет						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ($a \times b$), см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
Легкие (г)	ЗП	30 × 40	100	60—80	210	1,7
Легкие (г)	Б	30 × 40	100	60—80	170	1,5
Легкие (с)	ЗП	30 × 30	40	70—80	–	2,3
Флюорография	ЗП	35 × 35	100	60—80	200	1,6
Череп (г)	ПЗ	24 × 30	100	50—70	23	0,3
Череп (г)	Б	24 × 30	100	50—70	18	0,23
Шейный отд. позв. (г)	ЗП	18 × 24	80	60—70	35	0,53
Шейный отд. позв. (г)	Б	18 × 24	80	60—70	22	0,36
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—80	210	2,8
Грудн. отд. позв. (г)	Б	15 × 40	100	60—80	70	1,1
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—80	210	2,9
Поясн. отд. позв. (г)	Б	15 × 40	100	60—80	64	1,1
Плечо, ключица (г)	ПЗ	18 × 24	80	50—70	13	1,8
Ребра, грудина (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—80	220	3
Таз, крестец (г)	ПЗ	30 × 24	100	60—80	170	2,5
Таз, крестец (г)	Б	24 × 30	100	60—80	85	1.2
Тазобедр. суставы (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—80	240	3,4
Бедро (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—80	6	0,1
Брюшная полость (г)	ЗП	24 × 30	80	60—80	210	1,9
Брюшная полость (г)	Б	24 × 30	80	60—80	140	1,2
Желудок (с)	ЗП	20 × 20	40	70—90	–	1,7
Желудок (г)	ЗП	18 × 24	100	70—90	80	1,8
Желудок (г)	Б	18 × 24	100	70—90	90	2,1
Кишечник (с)	ЗП	20 × 20	40	70—90	–	2,9
Кишечник (г)	ЗП	30 × 40	100	70—90	220	1,8
Холецистография (г)	ЗП	24 × 30	100	60—80	100	1,4
Урография (г)	ЗП	24 × 30	100	60—80	115	1,6
Цистография (г)	ЗП	24 × 30	100	60—80	140	1,9

Таблица 1.6

Возраст пациента – больше девятнадцати лет (взрослые)						
Тип процедуры	Проекция	Размер поля ***(a × b)***, см × см	РИП, см	Напряжение на трубке, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
1	2	3	4	5	6	7
Легкие (г)	ЗП	30 × 40	100	80—90	240	2,0
Легкие (г)	ЗП	30 × 40	150	80—90	100	1,9
Легкие (г)	Б	30 × 40	150	90—100	80	1,5
Легкие (с)	ЗП	30 × 30	60	80	–	2,1
Легкие (с) +УРИ	ЗП	30 × 30	60	60	370	1,4
Флюорография	ЗП	35 × 35	100	80	220	1,8
Череп (г)	ПЗ	24 × 30	100	60—70	50	0,7
Череп (г)	Б	24 × 30	100	60—70	23	0,3
Шейный отд. позв. (г)	ЗП	18 × 24	80	70—80	38	0,5
Шейный отд. позв. (г)	Б	18 × 24	80	70—80	85	1,3
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	80	160	2,2
Грудн. отд. позв. (г)	ПЗ	15 × 40	100	80	87	1,4
Грудн. отд. позв. (г)	Б	24 × 30	100	80	95	1,3
Грудн. отд. позв. (г)	Б	15 × 40	100	80	85	1,4
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	24 × 30	100	80	180	2,5
Поясн. отд. позв. (г)	ПЗ	15 × 40	100	80	126	2,1
Поясн. отд. позв. (г)	Б	24 × 30	100	90	71	1,0
Поясн. отд. позв. (г)	Б	15 × 40	100	90	65	1,1
Плечо, ключица (г)	ПЗ	24 × 18	100	70—80	37	0,9
Ребра, грудина (г)	ПЗ	30 × 40	100	80	310	2,5
Ребра, грудина (г)	ПЗ	24 × 30	100	80	180	2,4
Таз, крестец (г)	ПЗ	40 × 30	100	80—90	240	2,0
Таз, крестец (г)	Б	30 × 24	100	90—100	90	1,3
Тазобедр. суставы (г)	ПЗ	24 × 30	100	70—90	230	3,1
Бедро (г)	ПЗ	15 × 40	100	70—80	32	0,5
Пищевод (с)	ЗП	20 × 35	60	90—100	–	2,1
Пищевод (с) +УРИ	ЗП	20 × 35	60	60—70	265	1,4
Желудок (с)	ЗП	24 × 30	60	90—100	–	1,9
Желудок (с) +УРИ	ЗП	24 × 30	60	80	330	1,6
Желудок (г)	ЗП	18 × 24	100	70—80	70	1,6
Желудок (г)	Б	18 × 24	100	70—80	60	1,4

Продолжение табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7
Кишечник (с)	ЗП	30 × 30	60	90—100	–	2,2
Кишечник (г)	ЗП	30 × 40	100	90—100	250	2,0
Кишечник (г)	Б	30 × 40	100	100	160	1,3
Холецистография (г)	ЗП	18 × 24	100	90	57	1,3
Холецистография (г)	ЗП	24 × 30	100	90—100	115	1,6
Урография (г)	ЗП	40 × 30	100	80—90	160	1,4
Цистография (г)	ЗП	30 × 40	100	70—80	180	1,5

Примечания:
1) г – рентгенография, с – рентгеноскопия;
2) ПЗ – передне-задняя проекция, ЗП – задне-передняя проекция, Б – боковая проекция (в этом случае приведено среднее значение эффективной дозы из двух значений, рассчитанных для облучения слева и справа);
3) a – ширина поля, b – высота поля;
4) значения коэффициентов перехода Ke и Kd приведены для общего фильтра рентгеновского излучения, эквивалентного 3—5 мм Al

Таблица 1.7

Значения коэффициентов K_e и K_d для рентгенологических исследований конечностей

Область исследования	Проекция	РИП, см	U, кВ	K_e, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{мГр} \cdot \text{м}^2}$	K_d, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$
1	2	3	4	5	6
Верхние конечности					
Плечевой сустав	ПЗ	115	60	22	1,2
Плечевой сустав	Аксиальная	105	57	15	1,2
Плечо	ПЗ/Б	105	52	2/2	0,2/0,2
Локтевой сустав	ПЗ	105	52	1	0,1
Локтевой сустав	Б	105	52	1	0,1
Предплечье	ПЗ	105	52	1	0,1
Предплечье	Б	105	52	1	0,1
Запястье	Д.В.	105	52	1	0,1
Запястье	Б	105	52	1	0,1
Кисть	Б/Косая	105	52	1	0,1
Палец		105	52	1	0,1
Нижние конечности					
Шейка бедра	Аксиальная	105	70	[1]170/84	2,8/2,5
Бедренная кость	ПЗ/Б	115	70	80/14	2,0/1,3

Продолжение табл. 1.7

1	2	3	4	5	6
Коленный сустав	ПЗ	115	55	1	0,1
Коленный сустав	Б	115	55	1	0,1
Мениск Коленная чашечка Голень	ПЗ/Б/ Аксиальная	105	55	1	0,1
Голеностопный сустав	ПЗ	105	55	1	0,1
Голеностопный сустав	Б	105	52	1	0,1
Пяточная кость	Б	105	52	1	0,1
Пяточная кость	Аксиальная	105	55	1	0,1
Стопа	Б	105	52	1	0,1
Плюсна	Косая	105	52	1	0,1
Пальцы ноги		105	52	1	0,1
Примечание: [1] первая цифра соответствует размеру поля на приемнике 24 × 30 см, вторая – 18 × 24 см					

Приложение 2

Значения коэффициентов K_e и K_d для рентгенологических стоматологических исследований

Таблица 2.1

Значения коэффициентов K_e и K_d для контактной съемки зубов

Исследование	U, кВ	K_e, мкЗв/(мГр · м^2)	K_d, мкЗв/(сГр · см^2)
		Верхняя челюсть	
Резцы	50—70	55	2,0
Премоляры	50—70	40	1,5
Моляры	50—70	25	1,0
Съемка прикуса	50—70	75	2,2
		Нижняя челюсть	
Резцы	50—70	30	1,0
Премоляры	50—70	20	0,8
Моляры	50—70	15	0,5
Съемка прикуса	50—70	40	1,1

Таблица 2.2

Значения коэффициентов K_e и K_d для исследований на панорамных дентальных аппаратах

Исследование	K_e, мкЗв/(мГр · м^2)				K_d, мкЗв/(сГр · см^2)			
	60 кВ	70 кВ	80 кВ	90 кВ	60 кВ	70 кВ	80 кВ	90 кВ
Полная рентгенограмма	2,3				0,8			
Цефалостат	1,1	1,4	1,7	2,0	0,5	0,6	0,7	0,8

Таблица 2.3

Значения коэффициентов K_e и K_d для исследований на дентальных компьютерных томографах (3D Accuitomo (60 × 60 мм), i-CAT, NewTom 3G, Galileos)

Исследование	K_e, мкЗв/(мГр · м^2)			K_d, мкЗв/(сГр · см^2)		
Зубы + альвеолярные отростки верхней и нижней челюстей	60—70 кВ	80—90 кВ	100—120 кВ	60—70 кВ	80—90 кВ	100—120 кВ
	23	29	40	0,55	0,70	0,90

Приложение 3

Значения коэффициентов перехода от ПДП к эффективной дозе и максимальной поглощенной дозе в коже у пациентов при проведении интервенционных исследований

Таблица 3.1

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов сердца

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
70	0,19
80	0,22
90	0,24
100	0,27
110	0,29

Таблица 3.2

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов головного мозга

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
60	0,06
70	0,08
80	0,09
90	0,10
100	0,11
110	0,12

Таблица 3.3

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для каротидных исследований

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
60	0,09
70	0,12
80	0,14
90	0,15
100	0,17
110	0,18

Таблица 3.4

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для интервенционных исследований в абдоминальной области и области малого таза

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
60	0,12
70	0,16
80	0,19
90	0,21
100	0,24
110	0,26

Таблица 3.5

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов нижних конечностей

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
60	0,08
70	0,11
80	0,13
90	0,15
100	0,17
110	0,19

Таблица 3.6

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов верхних конечностей

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	K_d, мЗв/(Гр · см^2)
60	0,04
70	0,05
80	0,06
90	0,07
100	0,08
110	0,08

Таблица 3.7

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований сосудов сердца

Вид исследования	K_d^S, мГр/(Гр · см^2)
Ангиография сосудов сердца	3,5
Ангиопластика сосудов сердца	7,0

Таблица 3.8

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований сосудов головного мозга и каротидных зон

Вид исследования	K_d^S, мГр/(Гр · см^2)
Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон	7,0
Эмболизация сосудов головного мозга	7,0

Таблица 3.9

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований органов брюшной полости и малого таза

Вид исследования	K_d^S, мГр/(Гр · см^2)
Диагностика органов брюшной полости и малого таза	4,0
Лечение органов брюшной полости и малого таза	4,0

gost.e-ecolog.ru