

Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях

В.Ю. Голиков, Л.А. Чипига, А.В. Водоватов, С.С. Сарычева

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе обоснованы и представлены изменения и дополнения, планируемые к введению в новую редакцию Методических указаний «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (МУ 2.6.1.2944-11). Приведены как измененные в связи с появившимися новыми данными расчеты и экспериментов значения коэффициентов перехода от измеряемых на практике дозиметрических характеристик (входная доза, произведение дозы на площадь) к эффективной дозе, так и новые значения коэффициентов перехода для ряда медицинских исследований пациентов. Определение новых значений коэффициентов перехода было основано как на собственных расчетных и экспериментальных исследованиях, согласно протоколам проведения процедур, так и на опубликованных литературных данных. Были изменены значения коэффициентов перехода от измеряемых на практике значений к эффективной дозе для следующих видов медицинских исследований: рентгеноскопических исследований желудочно-кишечного тракта с контрастом для взрослых и детей; интервенционных исследований взрослых пациентов; компьютерно-томографических исследований для взрослых и детей; денальных внутриворотных исследований. Впервые обсуждаются и приводятся значения коэффициентов перехода для следующих видов медицинских исследований: компьютерно-томографического сканирования всего тела, конечностей и других зон, включающих несколько анатомических областей; ангиографических исследований сосудов сердца у детей различного возраста; рентгенографических исследований с помощью сканирующего щелевого пучка излучения; костной денситометрии.

Ключевые слова: медицинские рентгенологические исследования, пациенты, эффективная доза, коэффициенты перехода.

Введение

Введенная в действие в 2011 г. и используемая до настоящего времени третья редакция Методических указаний МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»¹ к настоящему времени не охватывает целый ряд вновь накопившихся вопросов медицинской практики, связанных с оценкой доз пациентов в рентгеновской диагностике.

Цель исследования – обоснование и представление измененных и новых значений коэффициентов перехода (КП) от измеряемых дозиметрических характеристик (входная доза, произведение дозы на площадь) к эффективной дозе для ряда исследований педиатрических и взрослых пациентов. Эти изменения существующих зна-

чений КП и оценка новых значений основаны на результатах собственных экспериментальных исследований, модельных расчетов и данных, опубликованных в литературе. Эти значения КП планируются к введению в новую редакцию МУ 2.6.1.2944-11.

Внедрение представленных здесь значений КП в практику отечественной рентгенологии расширит выполнение требований закона № 3-ФЗ и НРБ-99/2009 в отношении оценок доз пациентов при использовании ионизирующего излучения в медицинских целях.

Методика оценки эффективной дозы

Напомним, что в качестве исходных данных для оценки эффективной дозы у пациентов используют как непосредственно измеряемые в ходе проведения рентгено-

¹ МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [Methodical guidelines 2.6.1.2944-11 "Control of the patient effective doses from medical X-ray examinations". Moscow, Rosпотребнадзор, 2011, 40 p.]

Голиков Владислав Юрьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

радиологического исследования, так и дополнительные физико-технические параметры:

- при проведении рентгенодиагностических исследований общего назначения, интервенционных исследований, стоматологических исследований, маммографии, костной денситометрии:
 - R – радиационный выход рентгеновского излучателя, (мГр×м²)/(мА×с);
 - значение мАс процедуры (исследования);
 - произведение дозы на площадь (Ф), сГр×см²;
- при проведении рентгеновской компьютерной томографии:
 - объемный взвешенный компьютерно-томографический индекс дозы $CTDI_i$ (мГр);
 - произведение дозы на длину сканирования при выполнении i -го сканирования $DLP_i = CTDI_{vol} \cdot L_i$, мГр·см, где L_i – длина i -й области сканирования.

В качестве дополнительной исходной информации используют:

- физико-технические измеряемые параметры, определяющие характеристики поля рентгеновского излучения во время проведения рентгенологической процедуры:
 - значение высокого напряжения на рентгеновской трубке (кВ);
 - толщину и материал дополнительного фильтра (мм Al, мм Cu);
- геометрические параметры рентгенологического исследования:
 - область исследования (легкие, череп, и т.п.);
 - вид проекции (прямая – передне-задняя или задне-передняя, боковая);
 - размеры поля облучения на приемнике изображения;
 - фокусное расстояние (расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения).

Значение эффективной дозы E оценивают с использованием коэффициентов перехода от измеряемых на практике величин с помощью выражений (МУ 2.6.1. 2944-11):

$$E = R \cdot i \cdot t \cdot K_e \text{ или } E = \Phi \cdot K_g(1)$$

где: i – ток рентгеновской трубки в мА; t – время проведения исследования в с; K_e – дозовый 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×м²); K_g – дозовый коэффициент перехода от значения произведения дозы на площадь 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×см²).

Для КТ-исследований эффективная доза является производным расчетным параметром от значения DLP . Для расчета эффективной дозы используется выражение:

$$E = \sum_i DLP_i \cdot e_{DLP}^i, \text{ мЗв (2)}$$

где: DLP_i – произведение дозы на длину за i -е сканирование (индицируется на консоли томографа), мГр·см; e_{DLP}^i – дозовый коэффициент для i -й анатомической области, мЗв/(мГр·см).

Ниже представлены измененные и новые значения КП для ряда медицинских диагностических технологий.

Рентгеноскопические исследования

Рентгеноскопические исследования желудочно-кишечного тракта с бариевым контрастированием широко распространены и выполняются практически в каждом медицинском учреждении. К наиболее распространенным исследованиям относятся:

- рентгеноскопия пищевода;
- рентгеноскопия желудка;
- рентгеноскопия кишечника (ирригоскопия).

Оценка доз пациентов при выполнении рентгеноскопических исследований затруднена по следующим причинам:

- в рамках одного исследования используются различные геометрии облучения пациента (прямая, боковая, косая проекции);
- исследование включает в себя как собственно просвечивание (рентгеноскопию пациента), так и рентгеновские снимки;
- рентгеноскопические исследования не являются стандартизованными, т.е. точное расположение области исследования, размер поля облучения, время просвечивания и количество этапов исследования определяются исключительно состоянием и диагнозом пациента, а также квалификацией и опытом работы персонала, выполняющего исследование;
- как правило, в рамках исследования одного органа (например, желудка) одновременно проводятся исследования и сопутствующих органов (пищевод, тонкий кишечник).

Использование существующих значений КП из МУ 2944-11 на практике ограничено, т.к. они представлены для одного размера поля и одной проекции (задне-передней), а также для узкого диапазона напряжений на трубке. Данные условия облучения пациента были актуальны для устаревших протоколов проведения исследований и рентгеноскопических аппаратов, у которых рентгеновский излучатель находился под декой стола, а приемник изображения – над столом. В настоящее время более 70% аппаратов для проведения рентгеноскопий оснащены телеуправляемыми столами-штативами с расположением рентгеновской трубки над столом, а приемником излучения под столом.

Расчет КП для рентгеноскопии пищевода, желудка и толстого кишечника для взрослых пациентов был выполнен с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [1]. Для этого были разработаны модели облучения пациентов при проведении типовых рентгеноскопических исследований, основанные на сборе данных в медицинских организациях г. Санкт-Петербурга в период 2015–2019 гг. Детальная методика расчета значений КП от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для взрослых пациентов представлена в работе [2]. При этом КП для всех типов исследований были определены как для рентгеновских аппаратов с расположением трубки над столом, так и для аппаратов с расположением трубки под столом (табл. 1). Коэффициенты перехода для детей различных возрастных групп были оценены по литературным данным [3–6] (табл. 2).

Таблица 1

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе для взрослых пациентов для рентгеноскопических исследований пищевода, желудка и толстого кишечника

[Table 1

Conversion coefficients from measured DAP to effective dose for adult patients for barium swallow, barium meal and barium enema examinations]

| Вид исследования [Type of examination] | K_d , мЗв/(Гр×см ²) [K_d , mSv/(Gy×cm ²)] | | Размер поля, см×см [Field size, cm×cm] |
|--|---|--|---|
| | Расположение рентгеновской трубки над столом [Over couch X-ray tube] | Расположение рентгеновской трубки под столом [Under couch X-ray tube] | |
| Рентгеноскопия пищевода [Barium swallow] | 2,3 | 1,7 | 28×28 |
| Рентгеноскопия желудка и двенадцатиперстной кишки [Barium meal] | 2,4 | 2,0 | 28×28 |
| | 3,8 | 2,5 | 15×40 |
| Рентгеноскопия толстого кишечника [Barium enema] | 2,6 | 2,1 | 28×28 |

Коэффициенты перехода определены для анодного напряжения 90 кВ.
[Conversion coefficients are established for the 90 kV tube voltage]

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе для детей для рентгеноскопических исследований пищевода, желудка и толстого кишечника

[Table 2

Conversion coefficients from measured DAP to effective dose for pediatric patients for barium swallow, barium meal and barium enema examinations]

| Вид исследования [Type of examination] | Возрастная группа, год [Age group, year] | | | | |
|--|---|-------|-----|------|-------|
| | 0–0,5 | 0,5–2 | 2–7 | 7–12 | 12–17 |
| Рентгеноскопия пищевода [Barium swallow] | –* | – | 5,9 | 4,5 | 3,1 |
| Рентгеноскопия желудка и двенадцатиперстной кишки [Barium meal] | 27,7 | 14,1 | 6,6 | 4,8 | 3,5 |
| Рентгеноскопия толстого кишечника [Barium enema] | – | – | 5,3 | 4,3 | 3,1 |

*Для данной возрастной категории следует использовать значение КП для рентгеноскопии желудка.
[*The corresponding conversion coefficient for barium meal examination should be used for that age group]

Следует отметить, что особенности проведения рентгеноскопических исследований (изменение напряжения и анодного тока в режиме реального времени) не позволяют производить достоверную оценку эффективной дозы на основе радиационного выхода рентгеновского аппарата. Необходимость оснащения всех рентгеноско-

пических аппаратов клиническими дозиметрами (проходными ионизационными камерами) указана в п. 3.2.5 СанПиН 2.6.1.2891-11 «Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения»².

² СанПиН 2.6.1.2891-11 «Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения». Онлайн-ресурс: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120132/ (Дата обращения: 14.05.2019) [SanPiN 2.6.1.2891-11 "Requirements on the radiation safety for the production, use and decommissioning of the medical equipment with sources of ionizing exposure". – Available on: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120132/ (Accessed: 14.05.2019)]

Компьютерно-томографические исследования

Значения e_{DLP}^i и дополнительные множители для детей, представленные в МУ 2.6.1.2944-11, основаны на литературных данных конца 1990-х гг. [7]. При их определении использованы расчеты методом Монте-Карло, проведенные с устаревшими математическими моделями тела человека MIRD-5 [8]. Более того, существующие значения КП из МУ 2.6.1.2944-11 не в полной мере учитывают специфику современных протоколов КТ-исследований.

В работах Deak и др. [9], Huda и др. [10] и Shrimpton и др. [11] на основе современных параметров проведения КТ-исследований были рассчитаны методом Монте-Карло новые значения КП для оценки эффективных доз. Также к настоящему времени разработано множество специализированных компьютерных программ для оценки органических и эффективной дозы у пациентов при проведении КТ-исследований (CT-Expo [12], VirtualDoseCT

[13], NCICT [14], XCATdose [15]). Эти программы позволяют рассчитывать органические дозы при КТ-исследовании, основываясь на параметрах протокола сканирования и учитывая при выполнении расчета специфику модели томографа. В качестве модели тела пациента различного возраста используют различные специфические математические и воксельные фантомы, позволяющие оценивать индивидуализированные дозы [16].

В результате анализа вышеупомянутых современных расчетных данных и результатов собственных фантомных измерений органических доз при проведении КТ-исследований [17] был получен расширенный и уточненный набор значений дозовых коэффициентов e_{DLP}^i , соответствующих современным протоколам и методикам проведения КТ-исследований в России (табл. 3). Коэффициенты перехода предложены для стандартных дозиметрических фантомов диаметрами 16 и 32 см.

Таблица 3

Значения дозовых коэффициентов перехода e_{DLP}^i , мЗв/(мГр·см) в зависимости от области КТ-исследования и возраста пациента

Table 3

The corresponding conversion coefficients, e_{DLP}^i , mSv/(mGy·cm) for different anatomic areas of CT examinations and age groups]

| Область исследования [Anatomic area] | Возрастная группа, лет [Age group, year] | | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0-0,5 | 0,5-2 | 2-7 | 7-12 | 12-17 | > 17 |
| Фантом 16 см [16 cm phantom] | | | | | | |
| Голова [Head] | 0,0059 | 0,0048 | 0,0035 | 0,0027 | 0,0018 | 0,0014 |
| Шея [Neck] | 0,022 | 0,018 | 0,013 | 0,011 | 0,0073 | 0,0060 |
| Голова/шея [Head/Neck] | 0,0078 | 0,0066 | 0,0051 | 0,0043 | 0,0030 | 0,0025 |
| Грудная клетка [Chest] | 0,026 | 0,020 | 0,014 | 0,011 | 0,0069 | - |
| Брюшная полость [Abdomen] | 0,031 | 0,024 | 0,017 | 0,013 | 0,0079 | - |
| Таз [Pelvis] | 0,034 | 0,027 | 0,019 | 0,014 | 0,0087 | - |
| Нижние конечности [Extremities] | 0,0015 | 0,00099 | 0,00055 | 0,00036 | 0,00016 | - |
| Грудная клетка /брюшная полость [Chest/Abdomen] | 0,028 | 0,022 | 0,016 | 0,012 | 0,0073 | - |
| Брюшная полость/таз [Abdomen/Pelvis] | 0,032 | 0,026 | 0,018 | 0,014 | 0,0083 | - |
| Грудная клетка/брюшная полость/таз [Chest/ Abdomen/Pelvis] | 0,030 | 0,024 | 0,017 | 0,013 | 0,0078 | - |
| Все тело [Whole body] | 0,019 | 0,016 | 0,013 | 0,012 | 0,0087 | - |
| Фантом 32 см [32 cm phantom] | | | | | | |
| Грудная клетка [Chest] | 0,059 | 0,047 | 0,033 | 0,026 | 0,016 | 0,012 |
| Брюшная полость [Abdomen] | 0,072 | 0,056 | 0,039 | 0,030 | 0,018 | 0,014 |
| Таз [Pelvis] | 0,077 | 0,060 | 0,042 | 0,033 | 0,020 | 0,015 |
| Нижние конечности [Extremities] | 0,0027 | 0,0018 | 0,0010 | 0,00068 | 0,00030 | 0,00020 |
| Грудная клетка /брюшная полость [Chest/Abdomen] | 0,065 | 0,051 | 0,036 | 0,028 | 0,017 | 0,013 |
| Брюшная полость/таз [Abdomen/Pelvis] | 0,075 | 0,059 | 0,041 | 0,031 | 0,019 | 0,015 |
| Грудная клетка /брюшная полость/таз [Chest/ Abdomen/Pelvis] | 0,069 | 0,054 | 0,038 | 0,029 | 0,018 | 0,014 |
| Все тело [Whole body] | 0,043 | 0,038 | 0,031 | 0,027 | 0,020 | 0,017 |

Интервенционные исследования

К интервенционным исследованиям относят рентгенологические исследования, характеризующиеся сложностью проведения или введением в организм дополнительных веществ и приспособлений. Как правило, это хирургические вмешательства с использованием специальных инструментов и рентгеновской визуализации. Эти исследования можно подразделить на два класса: диагностические и терапевтические.

По сравнению с другими рентгенологическими исследованиями интервенционные исследования характеризуются значительно большими уровнями облучения пациентов. При проведении некоторых интервенционных исследований существует риск возникновения детерминированных эффектов кожи (эритема, эпиляция). Порог возникновения временной эритемы составляет 2 Гр поглощенной дозы излучения в коже, а порог постоянной эпиляции – 7 Гр [18]. 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.

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

Ниже в этом разделе приведены уточненные значения КП при проведении интервенционных исследований различных отделов организма взрослых пациентов (табл. 4–9), а также новые значения КП при проведении интервенционных исследований сосудов сердца у детей различного возраста (табл. 10). Эти значения были получены на основе изучения протоколов проведения исследований [19] и последующего расчетного моделирования выполнения процедур с использованием компьютерной программы РСМХС 2.0 [1]. Также уточнены контрольные значения произведения дозы на площадь для предотвращения детерминированных эффектов в коже (табл. 11).

Таблица 4

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов головного мозга

[Table 4

| The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for cerebral interventional examination] | |
|---|---|
| Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV] | K_{d^S} , мЗв/(Гр×см ²) [K_{d^S} , mSv/(Gy×cm ²)] |
| 60–80 | 0,03 |
| 80–90 | 0,04 |
| 90–100 | 0,05 |
| 100–110 | 0,06 |

Таблица 5

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для интервенционных исследований брюшной полости

[Table 5

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for abdominal interventional examination]

| Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV] | K_{d^S} , мЗв/(Гр×см ²) [K_{d^S} , mSv/(Gy×cm ²)] |
|--|---|
| 70 | 0,16 |
| 80 | 0,18 |
| 90 | 0,19 |
| 100 | 0,23 |
| 110 | 0,24 |

Таблица 6

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для интервенционных исследований малого таза

[Table 6

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for pelvic interventional examinations]

| Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV] | K_{d^S} , мЗв/(Гр×см ²) [K_{d^S} , mSv/(Gy×cm ²)] |
|--|---|
| 70 | 0,20 |
| 80 | 0,25 |
| 90 | 0,26 |
| 100 | 0,32 |
| 110 | 0,34 |

Таблица 7

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований сосудов сердца

[Table 7

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for coronary angiography]

| Вид исследования [Type of examination] | K_{d^S} , мГр/(Гр×см ²) [K_{d^S} , mGy/(Gy×cm ²)] |
|--|---|
| Ангиография сосудов сердца [Heart angiography] | 4,2 |
| Ангиопластика сосудов сердца [Heart angioplastic] | 10 |

Таблица 8

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

[Table 8]

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for the cerebral and carotid zones examinations]

| Вид исследования [Type of examination] | K_{gr}^S , мГр/(Гр×см ²) [K_{gr}^d , mGy/(Gy×cm ²)] |
|--|---|
| Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон [Cerebral and carotid zones angiography] | 5,0 |
| Эмболизация сосудов головного мозга [Cerebral embolization] | 6,0 |

Таблица 9

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

[Table 9]

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for the examinations of the abdomen and pelvis]

| Вид исследования [Type of examination] | K_{gr}^S , мГр/(Гр×см ²) [K_{gr}^d , mGy/(Gy×cm ²)] |
|---|---|
| Диагностика и лечение органов брюшной полости и малого таза [Diagnostics and treatment of the pelvic and abdomen organs] | 5,0 |

Таблица 10

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у детей различного возраста при исследовании сосудов сердца

[Table 10]

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for pediatric patients for cardiac angiography]

| Напряжение (кВ) на рентгеновской трубке (фильтр 3мм Al +0,1 мм Cu) [Tube voltage, kV] [Filtration, 3mm Al+0.1mm Cu] | Возрастная группа, год [Age group, year] | | | | |
|--|---|-------|------|------|-------|
| | 0–0,5 | 0,5–2 | 2–7 | 7–12 | 12–17 |
| | K_{gr}^S , мЗв/(Гр×см ²) [K_{gr}^d , mSv/(Gy×cm ²)] | | | | |
| 60 | 1,70 | 1,08 | 0,57 | 0,36 | 0,14 |
| 70 | 1,90 | 1,25 | 0,67 | 0,43 | 0,18 |
| 80 | | | 0,75 | 0,49 | 0,21 |

Таблица 11

Контрольные значения произведения дозы на площадь для предотвращения детерминированных эффектов в коже

[Table 11]

The values of dose area product to prevent the deterministic effects in the skin]

| Вид исследования [Type of examination] | Контрольные значения произведения дозы на площадь, Гр×см ² [Dose area product values, Gy×cm ²] |
|---|---|
| Ангиография сосудов сердца [Coronary angiography] | 700 |
| Ангиопластика сосудов сердца [Coronary angioplastic] | 300 |
| Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон [Cerebral and carotid zones angiography] | 600 |
| Эмболизация сосудов головного мозга [Cerebral embolization] | 500 |
| Интервенционные исследования органов брюшной полости и малого таза [Interventional examinations of the abdomen and pelvis] | 600 |

Рентгеновские дентальные исследования являются одним из наиболее распространенных видов рентгенологических исследований населения и имеют тенденцию к постоянному и неуклонному росту со временем. В последние десятилетия в России ежегодно проводится более 30 млн рентгенограмм зубов, челюстей и других костей лицевого черепа, что составляет более 20% от всех видов снимков и около 40% рентгенограмм костно-суставной системы. В случае выполнения прицельных снимков отдельных зубов значения эффективных доз малы и, как правило, меньше 10 мкЗв [20].

Существующие в МУ 2.6.1.2944-11 значения КП для этого вида исследований были оценены расчетным путем. За прошедшее время появились результаты экспериментальных исследований, показавшие, что эти коэффициенты для прицельных снимков ряда зубов оказались серьезно завышенными [21, 22]. Исправленные значения КП приведены в таблице 12. При этом значения КП для двух других дентальных технологий исследования зубов с помощью ортопантомографов и компьютерных томографов не изменились.

Таблица 12
Значения дозовых коэффициентов K_e и K_d для расчета эффективной дозы при дентальных внутриротовых исследованиях

[Table 12
The coefficients K_e and K_d for calculation of the effective dose for dental intraoral examinations]

| Исследование [Type of examination] | U, кВ [U, kV] | K_e , мкЗв/ (мГр×м ²) [K_e , μSv/ (mGy×m ²)] | K_d , мкЗв/ (сГр×см ²) [K_d , μSv/ (cGy×cm ²)] |
|--|------------------|--|--|
| | | Верхняя челюсть [Upper jaw] | |
| Резцы [Incisor] | 50–70 | 3 | 0,1 |
| Премоляры [Premolar] | 50–70 | 3 | 0,1 |
| Моляры [Molar] | 50–70 | 20 | 0,9 |
| Съемка прикуса [Bitewing] | 50–70 | 35 | 1,0 |
| Нижняя челюсть [Lower jaw] | | | |
| Резцы [Incisor] | 50–70 | 3 | 0,1 |
| Премоляры [Premolar] | 50–70 | 4 | 0,2 |
| Моляры [Molar] | 50–70 | 30 | 0,9 |
| Съемка прикуса [Bitewing] | 50–70 | 40 | 1,0 |

Расчет эффективной дозы для рентгенографических исследований на установках с использованием сканирующего щелевого пучка излучения

Такого рода установки (например, МЦРУ «Сибирь-Н», АРСЦ-02-«Н») предназначены для проведения широкого круга медицинских рентгенодиагностических исследований, в том числе с профилактической целью. Их основной особенностью является существенное снижение доз облучения пациентов по сравнению с обычными системами, в основном за счет резкого уменьшения рассеянного излучения и использования цифровых приемников изображения.

Так, установка МЦРУ «Сибирь-Н» сканирующего типа регистрирует рентгеновское излучение с высокой эффективностью с помощью многоканальной ионизационной камеры (МИК). Рентгеновская трубка, работающая при анодном напряжении от 40 до 100 кВ, щелевой коллиматор и МИК во время съемки одновременно и равномерно перемещаются в вертикальном направлении вдоль тела пациента. Коллиматор с шириной щели 1 мм формирует тонкий веерообразный пучок рентгеновского излучения, который, проходя через тело пациента, попадает во входное окно МИК.

Рентгенологические исследования на установке МЦРУ «Сибирь-Н» выполняются при 2 скоростях сканирования $V_{скан}$, 35 мм/с и 70 мм/с. При скорости сканирования $V_{скан}$ (мм/с) тела пациента узким рентгеновским пучком шириной H (мм) эффективное время экспозиции

$t_{эксп}$ (время воздействия на пациента рентгеновского излучения) определяется следующим образом:

$$t_{эксп} = \frac{H}{V_{скан}}, (с) \quad (3)$$

Данный параметр характеризует эффективное время облучения пациента, так как его облучение осуществляется послойно, в отличие от обычной рентгенографии, когда облучение осуществляется широким пучком одновременно всей заданной анатомической области.

Расчет эффективной дозы облучения пациента при проведении рентгенологического исследования с помощью этого типа аппаратов производится так же, как и для обычных аппаратов, т.е. согласно выражению (1). При этом в качестве времени экспозиции используют значение, зависящее от скорости сканирования и размера щелевого пучка, определяемое согласно выражению (3).

Пример

Пациенту в возрасте 30 лет провели рентгенографию грудной клетки в прямой передней проекции со скоростью сканирования $V_{скан} = 35$ мм/с, шириной пучка $H = 1$ мм. Параметры рентгенологического исследования: размер поля 30×40 см², расстояние источник – приемник – 100 см, $U = 90$ кВ, $i = 45$ мА, $R = 0,056$ мГр×м²/(мА×с). Согласно выражению (3), значение эффективного времени экспозиции $t_{эксп}$ будет равно:

$$t_{эксп} = \frac{1 \text{ мм}}{35 (\text{мм} / \text{с})} = 0,03 \text{ с}$$

Учитывая соответствующее значение дозового коэффициента из таблицы 1.6. МУ 2.6.1.2944-11, рассчитываем значение эффективной дозы: $E = 0,056$ [мГр×м²/(мА×с)] × 45 мА × 0,03 с × 240 [мкЗв/(мГр×м²)] = 18 мкЗв, при типичных значениях для обычных аппаратов 70–80 мкЗв.

Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении костной денситометрии

Для диагностики остеопороза и прогнозирования увеличения риска возникновения переломов используют технологии неинвазивной оценки плотности костной ткани скелета тела человека, в том числе основанные на использовании рентгеновского излучения (рентгеновская костная денситометрия). Рентгенологические исследования выполняются методом сканирования исследуемой области костно-суставной системы при различных скоростях сканирования. Могут проводиться диагностические исследования следующих отделов костно-суставной системы: предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела. Рентгеновская трубка располагается под столом-штативом. Пациент (кроме исследования предплечья) располагается на поверхности стола-штатива на спине или на боку, в зависимости от проекции. Условия проведения исследований строго стандартизированы. Рентгеновский аппарат может быть оборудован проходной камерой для измерения значения произведения дозы на площадь за исследование.

Для оценки значения эффективной дозы у пациента при проведении костной денситометрии в качестве исходных данных используется значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента D_a . Численные значения коэффициентов перехода соответствуют значениям эффективной

дозы при проведении исследования данной области тела, нормированным на значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента ($k_{a,d}$, мкЗв/мкГр).

Расчет эффективной дозы облучения пациентов E при проведении костной денситометрии производится по формуле:

$$E = k_{a,d} \cdot D_a, \text{ мкЗв} \quad (4)$$

где: $k_{a,d}$ – коэффициент перехода от значения поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе с учетом сканируемого отдела костно-суставной системы, проекции, размеров зоны сканирования и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/мкГр; D_a – значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента, мкГр.

Значение поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента для сканирующего рентгеновского аппарата можно оценить следующими способами:

1. Измеряется доза в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента (т.е. на поверхности стола-штатива) за одно сканирование при заданном значении анодного напряжения. Измерения проводятся путем сканирования датчика измерительного прибора так, чтобы при сканировании облучался весь чувствительный объем датчика. Результат измерения приводится к значению анодного тока 1 мА (D_a^N , мкГр/мА). При наличии нескольких скоростей сканирования измерения проводятся для каждой скорости сканирования отдельно. Тогда D_a для данного типа исследования определяется по формуле:

$$D_a = D_a^N \cdot I, \text{ мкГр} \quad (5)$$

где: I – значение анодного тока при проведении исследования, мА.

2. Измеряется мощность дозы в воздухе при заданном значении анодного напряжения на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента (т.е. на поверхности стола-штатива). Измерения проводятся путем сканирования датчика измерительного прибора так, чтобы при сканировании облучался весь чувствительный объем датчика. Результат измерения приводится к значению анодного

тока 1 мА (D_a^N , мкГр/мАс). Далее, используя данные изготовителя, приведенные в документации на рентгеновский аппарат, определяется значение скорости сканирования для данного типа исследования следующим образом:

$$V_{\text{скан}} = \frac{S_{\text{скан}}}{t_{\text{скан}}}, \text{ см}^2/\text{с}, \quad (6)$$

где: $S_{\text{скан}}$ – площадь зоны сканирования, см²; $t_{\text{скан}}$ – время сканирования, с.

При скорости сканирования $V_{\text{скан}}$ (см²/с) тела пациента рентгеновским пучком площадью $S_{\text{пучка}}$ (см²) эффективное время экспозиции t^{eff} (эффективное время воздействия на пациента рентгеновского излучения) определяется следующим образом:

$$t^{\text{eff}} = \frac{S_{\text{пучка}}}{V_{\text{скан}}}, \text{ с} \quad (7)$$

Данный параметр характеризует эффективное время облучения пациента, так как его облучение осуществляется послойно, в отличие от обычной рентгенографии, когда облучение осуществляется широким пучком одновременно всей заданной анатомической области. После этого значение D_a для данного типа исследования определяется по формуле:

$$D_a = D_a^N \cdot I \cdot t_{\text{эксп}}^{\text{эфф}}, \text{ мкГр} \quad (8)$$

где I – значение анодного тока при проведении исследования, мА.

Если рентгеновский аппарат оборудован проходной ионизационной камерой, то по результатам измерений значения произведения дозы на площадь за исследование D_a определяется следующим образом:

$$D_a = \frac{10^4 \cdot \Phi}{S_{\text{скан}}}, \text{ мкГр} \quad (9)$$

где: Φ – значение произведения дозы на площадь за исследование, сГр×см²; $S_{\text{скан}}$ – площадь зоны сканирования, см².


Значения коэффициентов перехода от поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе с учетом сканируемого отдела костно-суставной системы, проекции и анодного напряжения на рентгеновской трубке ($k_{a,d}$, мкЗв/мкГр) были рассчитаны с помощью программы EDEREX [23] и приведены ниже в таблице 13.




Таблица 13


Значения коэффициентов перехода от поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе $k_{a,d}$, мкЗв/мкГр

[Table 13]

The values of conversion factors from the entrance absorbed dose in air to the effective dose $k_{a,d}$, μSv/μGy

| Область сканирования [Scan area] | Позиционирование пациента [Patient positioning] | $k_{a,d}$, мкЗв/мкГр [$k_{a,d}$, μSv/μGy] |
|--|---|---|
| Поясничный отдел позвоночника (облучение со спины) [Lumbar spine, PA projection] |  | 1)0,04/0,05/0,06 |

| Область сканирования [Scan area] | Позиционирование пациента [Patient positioning] | $k_{a,d}$ мкЗв/мкГр [$k_{a,d}$ μ Sv/ μ Gy] |
|--|---|--|
| Поясничный отдел позвоночника (облучение сбоку) [Lumbar spine, Lateral projection] |  | 0,05/0,07/0,075 |
| 2) Бедро (облучение со спины) [Hip, PA projection] |  | 0,03/0,04/0,045 |
| Предплечье [Forearm] |  | 0,005/0,008/0,009 |

| Область сканирования [Scan area] | Позиционирование пациента [Patient positioning] | $k_{a,d}$, мкЗв/мкГр [$k_{a,d}$, $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$] |
|---|---|--|
| Все тело (облучение со спины) [Whole body, PA projection] |  | 0,5/0,6/0,7 |

¹⁾ – первая цифра соответствует напряжению на трубке 80 кВ, вторая – 100 кВ, третья – 120 кВ; ²⁾ при исследовании двух бедер значение эффективной дозы будет в два раза больше.
[Note: ¹⁾ – the first figure corresponds to the tube voltage 80 kV, the second – 100 kV, the third – 120 kV; 2) in the examination of two hips the value of the effective dose will be twice as much].

Пример 1

Проведено измерение плотности костной ткани проксимальных отделов двух бедренных костей с помощью рентгеновского костного денситометра.

Параметры проведения исследования: напряжение на трубке – 76 кВ, значение анодного тока во время исследования $I = 3\text{мА}$, площадь сканирования $S_{\text{скан}} = 2 \times (15 \times 12)\text{ см}^2 = 360\text{ см}^2$, время сканирования $t_{\text{скан}} = 60\text{ с}$, площадь пучка рентгеновского излучения $S_{\text{пучка}} = 2 \times 0,3\text{ см}^2 = 0,6\text{ см}^2$. Измеренное на поверхности стола-штатива значение нормированной мощности дозы составило $\dot{D}_a = 150\text{ мкГр/мАс}$.

Рассчитываем $V_{\text{скан}}$ по формуле (6): $V_{\text{скан}} = \frac{S_{\text{скан}}}{t_{\text{скан}}} = \frac{15 \times 12 \times 2}{60} = 6 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$,

далее рассчитываем по формуле (7): $t^{\text{eff}} = \frac{S_{\text{пучка}}}{V_{\text{скан}}} = \frac{2 \times 0,3}{6} = 0,1\text{ с}$;

далее рассчитываем D_a по формуле (8): $D_a = \dot{D}_a \cdot I \cdot t^{\text{eff}} = 150 \cdot 3 \cdot 0,1 = 45\text{ мкГр}$.

Значение коэффициента $k_{a,d}$ берем из таблицы 10, оно равно 0,03 мкЗв/мкГр для напряжения 80 кВ. После этого рассчитываем значение эффективной дозы по формуле (4):

$$E = k_{a,d} \cdot K_{a,e} = 0,03 \cdot 45 = 1,4\text{ мкЗв}$$

Пример 2

Проведено измерение плотности костной ткани всего тела с помощью рентгеновского костного денситометра. Рентгеновский аппарат оборудован проходной ионизационной камерой.

Параметры проведения исследования: напряжение на трубке – 100 кВ, площадь сканирования $S_{\text{скан}} = 196 \times 67\text{ см}^2$

= 13 132 см². Значение Φ , измеренное в ходе проведения исследования, составило 22 сГр×см².

Рассчитываем D_a по формуле (9):

$$D_a = \frac{10^4 \cdot \Phi}{S_{\text{скан}}} = \frac{10^4 \cdot 22}{13132} = 16,8\text{ мкГр}$$

Значение коэффициента $k_{a,d}$ берем из таблицы 10, оно равно 0,6 мкЗв/мкГр для напряжения 100 кВ. После этого рассчитываем значение эффективной дозы по формуле (4):

$$E = k_{a,d} \cdot K_{a,e} = 0,6 \cdot 16,8 = 10,1\text{ мкЗв}$$

Заключение

В статье обоснованы и представлены измененные и новые значения КП от измеряемых на практике величин (входная доза, произведение дозы на площадь) к значению эффективной дозы у пациентов различного возраста, подвергающихся медицинским диагностическим исследованиям. Эти изменения планируются к введению в новую редакцию Методических указаний «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (МУ 2.6.1.2944-11).

Обращаем внимание, что новые значения КП возможно использовать на практике уже сейчас, тогда как изменения к действующим в настоящее время в МУ 2.6.1.2944-11 значениям КП можно будет применить только после их утверждения Роспотребнадзором.

Литература

1. Tapiovaara, M. and Siiskonen, T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical

- x-Ray Examinations, second edn. (Helsinki, Finland: Stateilyturvakeskus) (2008) STUK-A 231.
- Водоватов, А.В. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов / А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, И.Г. Камышанская, К.В. Зинкевич, К. Бернхардссон // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 93-100. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100>
 - Yakoumakis [et al.] Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. *Rad. Prot. Dos.*, 2015; 163(2): 202-209.
 - Damilakis J. [et al.] Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants. *Medical Physics* 33, 1033 (2006); doi: 10.1118/1.2181297.
 - Livingstone [et al.] Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. *Radiography* (2008) 14, 17-23.
 - Weir [et al.] Radiation doses to children during modified barium swallow studies. *Pediatr. Radiol.* (2007) 37:283–290.
 - European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 – Luxembourg, 1999, Shrimpton P.C. Reference doses for paediatric computed tomography. Shrimpton P.C. and Wall B.F. *Radiat. Prot. Dosim.*, 2000, Vol. 90(1), pp. 249-252.
 - Snyder W.S., Fisher H.L., Ford M.R., Warner G.G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *Journal of Nuclear Medicine*, 1969, Vol 3, pp. 7–52.
 - Deak P.D., Smal Y., Kalender W.A. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. *Radiology*, 2010, Vol. 257(1), pp. 158-166.
 - Huda W., Magill D., He W. CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. *Med. Phys.*, 2011, Vol. 38(3), pp. 1261-1265.
 - Shrimpton PC, Jansen JTM, Harrison JD. Updated estimates of typical effective doses for common CT examinations in the UK following the 2011 national review. *Br. J. Radiol.*, 2016; 89: 20150346.
 - Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
 - Ding A., Gao Y., Liu H., [et al.] Virtual Dose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. *Phys. Med. Biol.*, 2015, Vol. 60, pp. 5601–5625.
 - Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *J. Radiol. Prot.*, 2015, Vol. 35, pp. 891-909.
 - Sahbaee P., Segars W.P., Samei E. [et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. *Medical Physics*, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1-10.
 - Чипига, Л.А. Сравнение расчетных методов определения эффективной и органных доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях / Л.А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10. - № 1. – С. 56-64.
 - Чипига, Л.А. Оценка коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для КТ всего тела путем фантомных экспериментов / Л.А. Чипига, В.Ю. Голиков, Е.Н. Шлеенкова, А.В. Поздняков // Медицинская физика. – 2016. – Т. 72, № 3. – С. 55-62.
 - ICRP, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. *Ann. ICRP* 30(2).
 - Сарычева, С.С. Радиационная защита пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований: дис. канд. биол. наук: защищена 19.12.13: утв. 16.06.14. / Сарычева С.С. – СПб., 2013. – 207 с.
 - European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
 - Loe H. K., Eenboom, F., Chofor, N., Pfaffenberger, A., Steinhoff, M., Poplawski, A., Willborn, K., and Poppe, B. Conversion coefficients for the estimation of effective doses in intraoral and panoramic dental radiology from dose-area product values. *Radiation Protection Dosimetry* (2008), Vol. 131, No. 3, pp. 365–373.
 - Ebba Helmrot and Gudrun Alm Carlsson. Measurement of radiation dose in dental radiology. *Radiation Protection Dosimetry* (2005), Vol. 114, Nos 1-3, pp. 168–171.
 - V. Golikov, A. Barkovsky, E. Wallström, Å. Cederblad. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 178, No. 2, 2018, pp. 223-234.

Поступила: 15.05.2019 г.

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

Чипига Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Сарычева Светлана Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Сарычева С.С. Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 120-132. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-120-132

Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients

Vladislav Yu. Golikov, Larisa A. Chipiga, Aleksandr V. Vodovatov, Svetlana S. Sarycheva

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The current study was aimed at the justification and proposal of the supplements and corrections that are planned for the implementation in the updated version of the Methodical guidelines "Control of the effective doses of the patients from the X-ray examinations" (MU 2.6.1.2944-11). This study included estimation and/or update of the values of the conversion coefficients from measurable dose characteristics (entrance-surface dose, dose-area product) to the effective dose for various X-ray examinations. Estimation of the updated conversion coefficients was based both on the home analytical and experimental studies based on the modern protocols of the X-ray examinations, and the results of the published data. Updated values of the conversion coefficients were presented for: fluoroscopic examinations of the gastro-intestinal tract with barium media for adult and pediatric patients; interventional examinations of the adult patients; computed tomography examinations for adult and pediatric patients; dental intraoral examinations. For the first time, the methods of the estimation of the effective dose and corresponding conversion coefficients were presented for: computed tomography of the extremities, whole body, scan of several anatomic regions; angiographic examinations of the heart vessels of the pediatric patients of different age categories; slot-scanning X-ray examinations; bone densitometry

Key words: X-ray examinations, patients, effective dose, conversion coefficients.

References

1. Tapiovaara, M. and Siiskonen, T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical x-Ray Examinations, second edn. (Helsinki, Finland: Stateilyturvakeskus) (2008) STUK-A 231.
2. Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kamyshanskaya I.G., Zinkevich K.V., Bernhardsson C. Determination of the conversion factors from the dose area product to the effective dose for fluoroscopic examination of the stomach with barium contrast for adult patients. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol.11, №1, pp. 93-100. (In Russian)
3. Yakoumakis [et al.] Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. Rad. Prot. Dos., 2015; 163(2): 202-209.
4. Damilakis J. [et al.] Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants. Medical Physics 33, 1033 (2006); doi: 10.1118/1.2181297.
5. Livingstone [et al.] Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. Radiography (2008) 14, 17-23.
6. Weir [et al.] Radiation doses to children during modified barium swallow studies. Pediatr. Radiol. (2007) 37:283-290.
7. European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 – Luxembourg, 1999, Shrimpton P.C. Reference doses for pediatric computed tomography. Shrimpton P.C. and Wall B.F. Radiat.Prot.Dosim., 2000, Vol. 90(1), pp. 249-252.
8. Snyder W.S., Fisher H.L., Ford M.R., Warner G.G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Journal of Nuclear Medicine, 1969, Vol 3, pp. 7-52.
9. Deak P.D., Smal Y., Kalender W.A. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. Radiology, 2010, Vol. 257(1), pp. 158-166.
10. Huda W., Magill D., He W. CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. Med. Phys., 2011, Vol. 38(3), pp. 1261-1265.
11. Shrimpton PC, Jansen JTM, Harrison JD. Updated estimates of typical effective doses for common CT examinations in the UK following the 2011 national review. Br. J. Radiol., 2016; 89: 20150346.
12. Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
13. Ding A., Gao Y., Liu H., [et al.] Virtual Dose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. Phys. Med. Biol., 2015, Vol. 60, pp. 5601-5625.
14. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. J. Radiol. Prot., 2015, Vol. 35, pp. 891-909.
15. Sahbaeea P., Segars W.P., Samei E. [et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. Medical Physics, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1-10.
16. Chipiga, L.A. Comparison of calculation methods for evaluation of effective and organ doses in patients undergoing CT examinations. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, № 1, pp. 56-64. (In Russian)
17. Chipiga L.A., Golikov V.Yu., Shleenkova E.N., Pozdnyakov A.V. Estimation of conversion factors from DLP to effective dose for whole body CT examination using phantom experiments. Medical Physics, 2016, Vol. 72, № 3, pp. 55-62. (In Russian)
18. ICRP, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).

Vladislav Yu. Golikov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101; E-mail: sg235@rambler.ru

19. Sarycheva, S.S. Radiation protection of patients during interventional radiological examination: Dissertation (biological sciences): Saint Petersburg, 2013, 207 p. (In Russian)
20. European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
21. Looe, H.K., Eenboom, F., Chofor, N., Pfaffenberger, A., Steinhoff, M., Poplawski, A., Willborn, K., and Poppe, B. Conversion coefficients for the estimation of effective doses in intraoral and panoramic dental radiology from dose-area product values. *Radiation Protection Dosimetry* (2008), Vol. 131, No. 3, pp. 365–373.
22. Ebba Helmrot and Gudrun Alm Carlsson. Measurement of radiation dose in dental radiology. *Radiation Protection Dosimetry* (2005), Vol. 114, Nos 1-3, pp. 168–171.
23. V. Golikov, A. Barkovsky, E. Wallström, Å. Cederblad. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 178, No. 2, 2018, pp. 223-234.

Received: May 15, 2019

For correspondence: Vladislav Yu. Golikov – Senior Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sg235@rambler.ru)

Larisa A. Chipiga – Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Aleksandr V. Vodovatov – Head of Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Svetlana S. Sarycheva – Senior Scientific Researcher of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Golikov V.Yu., Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Sarycheva S.S. Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 120-132. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-120-132